

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**



**DENDROQUÍMICA Y DENDROECOLOGÍA DE
ÁRBOLES
PINO-OYAMEL EN UNA ZONA DE TRANSICIÓN
DEL PARQUE NACIONAL ZOQUIAPAN**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGO
PRESENTA:
REBECA HERNÁNDEZ TAPIA**

**DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. GERMÁN CALVA
VÁSQUEZ**

MÉXICO, D. F.

30 DE ENERO DEL 2007



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.

DEDICATORIA

Primeramente dedico esta tesis a papá Dios, dador de la vida, que me da la oportunidad de concluir este objetivo y de conocer a las personas que compartieron conmigo este camino.

A mis padres

Margarita G. Tapia García y Juan H. Hernández Bernardino por su esfuerzo, amor y su propia vida en este trayecto, mil gracias, ustedes saben que esto es suyo.

A mis hermanos y cuñados

Por ser un gran apoyo moral en este tiempo, gracias por aguantarme, los quiero mucho.

A mis Amigas

Bety, Aminta, Nancy, Susana y Paola por la oportunidad de compartir grandes momentos y hermosas experiencias en esta carrera.

A Almita por ser una gran amiga y hermanita aunque nuestra relación de amistad no es usual es perfecta gracias por todo en verdad agradezco los momentos compartidos, los consejos y tu amistad sinceridad.

A mis Amigos

Jorge, Carlos, Manuel, Hugo, Azariel, Raúl y Daniel por enseñarme que la vida hay que vivirla al máximo.

A mis compañeros de Laboratorio; Ramón, Pedro, Ricardo, Gisela; Dulce, Paty, Manuel, Benito, Oswaldo, Maricela, Almita, Edgar y Ana Laura... son tantos que no sabría que decir, sin embargo la estancia y convivencia fue muy grata gracias chicas, chicos y grandes.

A todas aquellas personas que compartieron momentos agradables y no tan agradable en el transcurso de este proyecto, ustedes saben quienes son...gracias.

A todos mis profesores que contribuyeron con su conocimiento y experiencias a lo largo de la carrera. Y en especial a ellos que fueron más que maestros grandes amigos:

J. Salvador Hernández Aviles por su gran apoyo académico y por compartir su amistad conmigo.

Ángeles Galván Villanueva, por ser un gran ser humano y brindarme su apoyo académico y moral en mi trayectoria de estudiante

Y por ultimo a las personas que me formaron profesionalmente y que compartieron conmigo de su valioso tiempo en esta carrera. Al profesor Alberto Méndez Méndez

que más que un maestro es un excelente amigo, gracias por su amistad, apoyo y por ser un gran pilar de conocimiento y experiencia en mi carrera profesional.

A Germán Calva Vásquez, por enseñarme que el conocimiento es el arma más grande que se puede obtener, gracias por la paciencia, el apoyo y sus consejos que me ayudan a ser mejor. Este éxito es también suyo, ya que en él viene parte de su vida. Gracias que Dios lo bendiga

AGRADECIMIENTOS

A mis Revisores y Sinodales

- 1.- Arcadio Monroy Ata
- 2.- Efraín Ángeles Cervantes
- 3.- Gerardo Cruz Flores
- 4.- María de los Ángeles Galván Villanueva
- 5.- Germán Calva Vásquez

Por sus aportaciones que hacer mejor este trabajo así como su tiempo invertido gracias.

A la Maestra Alejandra Quintanar del Departamento de Biología UAM-Iztapalapa, por su apoyo en la técnica de tinción.

A la Maestra Josefina Barajas de la Xiloteca del Instituto de Biología de la UNAM, por sus comentarios y sugerencias.

A Yolanda Rodríguez Pagaza por su tiempo invertido en apoyo a este trabajo.

Al Proyecto DGAPA IN216903, por la beca otorgada mediante este proyecto.

Al Instituto de Física, por su contribución en esta investigación y la convivencia generada en su transcurso.

Al Doctor Luís Rodríguez Fernández, por el apoyo en el análisis de datos, por su tiempo y paciencia invertido en el proyecto.

Al Doctor Jose Luis Ruvalcaba Sil.

A Los Técnicos Karin López y Francisco Javier Jaimes

A la UNAM - Facultad de Estudios Superiores Zaragoza al que pertenece el Laboratorio de Contaminación Atmosférica. Por ser el espacio donde se genera el conocimiento y el desarrollo de habilidades inquietudes y actitudes, claro nada fuera sin sus líderes y compañeros que generan esta chispa y le dan vida.

INDICE GENERAL

I.-INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.-Problemática.....	4
1.2.- Hipótesis.....	5
II.- JUSTIFICACION.....	6
III.- OBJETIVOS.....	8
IV- MARCO TEÓRICO.....	9
4.1.- Ecología de coníferas.....	9
4.1.1.- Hábitat de las especies.....	9
4.2.- Biología de las especies.....	11
4.2.1.- Ciclo de reproducción.....	11
4.2.2.- Estructura de las poblaciones.....	11
4.3.- Factores Climáticos.....	12
4.3.1.- Radiación solar.....	12
4.2.2.- Temperatura y Humedad.....	13
4.3.3.- Humedad atmosférica y movimiento del aire.....	13
4.4.- Factores fisiográficos.....	13
4.4.1.- Pendiente.....	14
4.4.2.- Exposición.....	14
4.4.3.- Factor edáfico.....	14
4.5- Crecimiento del árbol.....	15
4.6.- Crecimiento de los anillos.....	15
4.7.- Estructura de la madera.....	17
4.7.1.- Duramen y Albura.....	19

4.8.- Bioindicadores.....	20
4.8.1.- Fuego.....	21
4.8.2.- Viento.....	21
4.8.3.- Heladas.....	21
4.8.4.- Resinación.....	21
4.8.5.- Enfermedades.....	22
4.8.6.- Insectos.....	22
4.8.7.- Animales.....	22
4.9.- Dendroecología.....	24
4.10.- Dendroquímica con PIXE	25
4.11.- Importancia de los nutrimentos.....	26
4.11.1.- Potasio.....	28
4.11.2.- Calcio.....	30
4.11.3.- Hierro.....	31
4.11.4.- Zinc.....	32
4.11.5.- Manganeso.....	33
4.11.6.- Cobre.....	34
V.- ANTECEDENTES.....	35
VI.- METODO.....	37
6.1.- Zona de muestreo.....	37
6.2.- Fase de campo.....	39
6.3.- Fase de laboratorio.....	41
VII.- RESULTADO S.....	44
7.1.- Crecimiento de la población arbórea.....	44
7.1.1.- Variación del grosor en los anillos respecto a la especie.....	44
7.1.2.-Variación del ancho respecto al gradiente de altitud.....	49
7.2.- Los elementos en Hardwood (duramen) y Sapwood (albura).....	53
7.3.- Variación elemental con respecto al gradiente de altitud.....	59

7.3.1.-Potasio.....	59
7.3.2.- Calcio.....	64
7.3.3.- Hierro.....	66
7.3.4.- Zinc.....	69
7.3.5.- Manganeso.....	72
7.3.6.- Cobre.....	75
7.3.7.- Comportamiento de la asociación de los elementos vinculados al Crecimiento en el gradiente altitudinal.....	78
VIII.-CONCLUSIONES.....	85
IX.- RECOMENDACIONES.....	88
IX.- BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- <i>Abies religiosa</i> en su hábitat.....	9
Figura 1.1.- <i>Pinus hartwegii</i> en su hábitat.....	10
Figura 1.2.- Estructura de la madera.....	18
Figura 1.3.- Zonificación de un tronco en un corte transversal	19
Figura 1.4.- Diagrama de emisión de rayos X.....	25
Figura 1.5.- Foto del Parque Nacional Zoquiapan.....	37
Figura 1.6.- Localización cartográfica de sitio de muestreo.....	38
Figura 1.7.- Análisis del sitio.....	39
Figura 1.8.- Introducción del taladro.....	39
Figura 1.9.- Extracción del núcleo.....	40
Figura 1.10. Perforación con taladro.....	40
Figura 1.11. Resaneamiento del árbol.....	40
Figura 1.12. Orientación de los anillos de crecimiento.....	41
Figura 1.13. Obtención de superficie plana.....	41
Figura 1.14. Conteo de años.....	42
Figura 1.15. Irradiación de PIXE en los anillos.....	42
Figura 1.16. Núcleo pigmentado.....	43
Figura 1.17. Tinción de la albura.....	43
Figura 1.14. Medición de las regiones.....	43
Figura 2.- Comportamiento de las muestras tomada por especie a través del tiempo.....	44
Figura 2.1.- Representación grafica de la temperatura y precipitación.....	46

Figura 2.2.- Dendograma general de las variables zona, especie y ancho, en los últimos treinta años.....	47
Figura 2.3.- Anillos anuales de <i>Pinus hartwegii</i>	48
Figura 2.4.- Comportamiento de los anchos en los anillos por especie y zona.....	49
Figura 2.5.- Anchos promedios para <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i> en zonas de diferente altitud.....	51
Figura 2.6.- Dendogramas <i>Abies religiosa</i> , en zonas de diferente altitud.....	52
Figura 2.7.- Dendogramas <i>Pinus hartwegii</i> , en zonas de diferente altitud.....	53
Figura 2.8.- Identificación de la albura y duramen mediante lugol en <i>Abies religiosa</i> , la línea separa las regiones de albura y duramen.....	53
Figura 2.9.- Comparación de los núcleos de <i>P. hartwegii</i> y <i>A. religiosa</i> de la albura y duramen.....	54
Figura 2.10.- Albura y duramen tratados con lugol.....	55
Figura 2.12.- Representación grafica de los años para cada una de las regiones.....	57
Figura 2.13.- Representación grafica de la proporción en anchos para cada una de las regiones.....	57
Figura 2.14.- Representación quinquenal de Potasio en las especies a trabajar en las diferentes zonas mediante la técnica PIXE.....	60
Figura 2.15.- Representación quinquenal de Calcio y los años de mayor concentración para ambas zonas y especies.....	64
Figura 2.16.- Representación del Hierro y los años de mayor concentración para ambas zonas y especies.....	67
Figura 2.17.- Representación del Zinc y su comportamiento a través, del tiempo, para ambas zonas y especies.....	69

Figura 2.18.- Representación quinquenal de Manganeso y los años de mayor concentración para ambas zonas y especies.....	72
Figura 2.19.- Representación quinquenal de Cobre y los años de mayor concentración para ambas zonas y especies.....	75
Figura 2.20.- Dendogramas de mayor concentración para <i>Abies religiosa</i>	78
Figura 2.21.- Dendogramas de mayor concentración para ambas <i>Pinus hartwegii</i> en ambas zonas	78
Figura 2.22.- Representación quinquenal de Hierro y los años de mayor concentración para ambas zonas y especies.....	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Especies de coníferas bioindicadoras y biocumuladoras del Valle de México...	23
Cuadro 1.1.- Reseña histórica de algunos estudios dendroecológicos realizados en los últimos años.....	35
Cuadro 2.- Promedios generales para la albura y duramen.....	55
Cuadro 2.1.- Composición elemental para “sapwood” y “heartwood” en coníferas.....	58

RESUMEN

La coexistencia de las poblaciones de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* han permitido un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo. Como sabemos la concentración adecuada de los elementos dentro del árbol, es el reflejo de la condición nutricional del mismo. Se pretende conocer el cambio químico y ecológico de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* a diferente altitud, en sitios donde cohabitan.

El parque Nacional Zoquiapan presenta pérdida del bosque específicamente en las zonas altas de los cerros y siendo esta zona una barrera forestal importante para la Ciudad de México. Partiendo de esto se postulo, que una mayor concentración de elementos en la zona baja (2900 m.s.n.m.), donde se concentran de los elementos (K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn) por acarreo hídrico de sedimentos es mayor repercutiendo en el grosor de los anillos crecimiento. También se espera encontrar una mayor concentración de elementos en la albura, con respecto al duramen.

Para lo cual se cuantificaron las anchuras de los últimos 30 anillos en 20 núcleos de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* así como la medición total para la determinación de duramen y albura mediante una técnica de tinción de almidones y en su análisis químico se utilizo la técnica PIXE. Destacando del trabajo que si existen cambios en la composición química de los anillos, por lo que las condiciones ecológicas son determinantes en la composición química. El postulado de Howard no se cumple para la zona de estudio como lo reporta.

I.- INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de la investigación científica, lo más difícil es delimitar lo correspondiente a cada ciencia o disciplina. La dendroecología y la dendroquímica son subdisciplinas en la Ecología, que se interesan en usar a los anillos de crecimiento para monitorear los bosques y su relación con los factores físicos de su medio ambiente. El sentido de ello, es obtener información sobre la dinámica de esa relación, permitiendo estimar los procesos de crecimiento y de productividad de las especies arbóreas, así como determinar la química que se interrelaciona entre los factores bióticos y abióticos (Copenheaver y Abrams, 2003).

En los pinos del norte de Arizona, se presentaron diferencias en el grosor de los anillos de crecimiento, en cada especie estudiada (Fritts *et al.*, 1965). Las diferencias en grosor de los anillos se debe a que la proporción de los componentes estructurales y no estructurales, varía con la especie, entre la misma especie (partes del propio árbol) y en la albura y duramen.

La aplicación dendroecológica, en Canadá, permitió entender el crecimiento anual en diversas especies y la correlación existente entre el sitio y las variables climáticas (temperatura y precipitación) a través del tiempo. Sugiriendo en estos estudios se tome en cuenta el gradiente de altitud (Fritts y Swetan, 1983).

Los estudios dendroecológicos permiten relacionar el crecimiento radial de *Nophofagus alpina* y *Nophofagus dombeyi*, con los disturbios naturales y antropogénicos, permitiendo reconstruir la historia en los últimos 400 años y en especial con los ocurridos por el Volcán *Llaima around* en Chile (Pollmann, 2003).

El potencial de los estudios dendroecológicos podría ejemplificarse con el realizado en Michigan, ya que al evaluar la dinámica de *Pinus banksiana* (dominancia, codominancia y supresión); se determinó la supresión a diferentes elevaciones, confirmando con ello el potencial y el campo tan versátil de la ecología, y su combinación con otras áreas, emergerán resultados muy interesantes (Copenheaver y Abrams, 2003).

Según Fengel y Wegener (1984), los parámetros atmosféricos influyen en la composición química de las diferentes maderas; en general todas poseen α y β -celulosa hemicelulosa, celulosa y holocelulosa (Rowell *et al.*, 2005).

Diversos estudios han concluido que la contaminación atmosférica es un factor de disturbio de los ecosistemas forestales; desde 1983, en Francia (Depérissement des Forêts atribué à la Pollution Atmosphérique), se comenzó a evaluar este fenómeno utilizando bioindicadores y/o bioacumuladores (monitoreo, transplante, aislamiento, presencia/ausencia, % de daño en la hoja, retención de hojas y anillos de crecimiento). Años más tarde ingresó a la República Federal Alemana, República Democrática Alemana y Suiza; en lo concerniente a los estudios dendroecológicos, estos permitieron determinar un

efecto de sequía sobre los bosques de los Vogos y la Selva Negra (Bonneau y Landmann, 1987). También surgieron las hipótesis de una alteración en el estado nutricional de los árboles producto del depósito ácido atmosférico. Se sabe que la dinámica de los elementos es diferente según el origen geoquímico de los suelos, sin embargo, todos llegan a la atmósfera en algún momento del ciclo y se retorna al gran reactor químico que es el suelo.

Para el caso de los Bosques de la Cuenca de la Ciudad de México se hace necesario conocer la dinámica de los árboles, para poder recuperar las condiciones ecológicas y posteriormente biológicas de los bosques de coníferas *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham. y *Pinus hartwegii* Lndl., que se han ido perdiendo excesivamente en estos últimos años, como así nos transmite la experiencia europea.

Por eso, escoger una especie arbórea como bioindicadora del medio y de los sucesos ocurridos a través del tiempo va en función a los objetivos del autor, es por ello que las especies arbóreas seleccionadas son *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham. y *Pinus hartwegii* Lndl., coníferas que generan riqueza en los hábitat de la meseta central y que se están perdiendo. Es imprescindible determinar la presencia y concentración de K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn para conocer la condición nutrimental de los árboles, utilizando PIXE (Inducción de Partículas por Rayos X).

1.1 – PROBLEMÁTICA

Del total de la superficie forestal de la Cuenca de México, 96 mil hectáreas, Zoquiapan posee 19, 418 ha aproximadamente (el 2.69 %) y para el Parque Nacional Iztapopocatepetl es de 2.94 % (PROFEPA 2005). Zoquiapan es una zona que ha sido poco estudiada, debido a que el Parque Nacional Iztapopocatepetl gana toda la atención por su ecología y a las políticas ambientales. Actualmente Zoquiapan está siendo afectado por cercanía a la Ciudad de México, por una actividad turística, recreativa, diversas actividades agrícolas de las poblaciones cercanas, como Río Frío y diversos municipios. Esta región contribuye a la recarga acuífera y posibilita a la población de una microeconomía (Castro, 2003).

El deterioro de los bosques de oyamel y pino en el Parque Nacional Zoquiapan se expresa en clorosis, necrosis de las hojas, baja retención de hojas (menor a tres años), pérdida de copa y muerte en pie; éste fenómeno, podría ser producido por un déficit nutrimental.

El diagnóstico de este fenómeno, esta en relación con los factores ecológicos: gradiente de altitud, sitio, especie y comportamiento elemental. Para las plantas el requerimiento mínimo de 50 ppm (Pais y Joves, 1997), en los elementos a diagnosticar (K, Ca, Mn, Fe, Ni, Zn), expresaría su condición nutrimental, reflejado en el grosor de los anillos de crecimiento y responsables del crecimiento del árbol.

1.2- HIPÓTESIS

La distribución de *Abies religiosa* en un gradiente de altitud va de 2, 800 m. a 3,200.m. (Manzanilla, 1974) cohabitando con el y *Pinus hartwegii*, en las cañadas y lomeríos a partir de los 3,000 m.s.n.m. Al observar su vigor y que conforman un multiestrato, planteo la siguiente interrogante:

Si hay una mayor concentración de elementos en la parte baja (2900 m.s.n.m. donde se concentran por acarreo hídrico de sedimentos) de la pendiente, **entonces** la concentración de los elementos (K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn) será mayor, repercutiendo en un mayor grosor de los anillos crecimiento.,

También se espera encontrar una mayor concentración de elementos en el “sapwood” (albura), con respecto al “heartwood” (duramen).

II.- JUSTIFICACIÓN

La pérdida de los bosques del Valle de México por efecto del estrés atmosférico podría alterar el equilibrio ecológico de las poblaciones del oyamel y pino; aunado con los fenómenos naturales: incendios, decline del bosque y plagas. Hay evidencias de que al alterarse las condiciones ecológicas de las poblaciones, éstas pueden verse reflejadas en la pérdida de hojas, talle, cobertura, coloración, vigor, crecimiento del xilema y floema, etc. Estas variables se pueden medir y reflejan el estado del árbol y a su vez la ecología y química de los árboles, de pino – oyamel que forman magníficos paisajes y que guardan un gran número de especies de flora y fauna, cubriendo aproximadamente unas 19 400 ha pobladas por estos árboles.

Usando esta herramienta ecológica se conocerán los elementos con función ecológica involucrados en la lixiviación, lluvia e infiltración. Los cambios en la talla del tronco del árbol, en la actividad fotosintética y en el crecimiento, podrían estar involucrados con el aprovechamiento de los elementos. Sin embargo, los árboles tienden a nivelar las diferencias fisiográficas empleando otras estrategias ecológicas.

Se ha visto que al utilizar las herramientas de investigación se extiende su utilidad ecológica y biológica. Su uso en España, Canadá, Estados Unidos y recientemente en México, son la muestra tangible de que las investigaciones dendroecológicas y dendroquímicas podrían aportar conocimiento básico para el desarrollo de planes de manejo y conservación de las áreas verdes más

importantes del país. Con ello se reducirá el proceso de desertificación y desertización.

III.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Conocer la dendroquímica y dendroecología de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* en una zona de transición del Parque Nacional Zoquiapan.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Cuantificar el grosor de los anillos en *Abies religiosa* (H.B.K) Schl y Cham y *Pinus hartwegii* Lndl.
- 2.- Determinar la concentración de K, Ca, Mn, Fe, Zn y Cu en los núcleos de duramen y albura en *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*.
- 3.- Comparar la concentración de los elementos K, Ca, Mn, Fe, Zn y Cu en el gradiente de altitud
- 4.- Determinar la asociación de los elementos vinculados al crecimiento con *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*.

IV.- MARCO TEÓRICO

4.1.- ECOLOGÍA DE LAS CONIFERAS

4.1.1.-Hábitat de las especies

Abies religiosa es una especie que se distribuye en el centro de México ha recibido gran variedad de nombres comunes los más conocidos son oyamel y

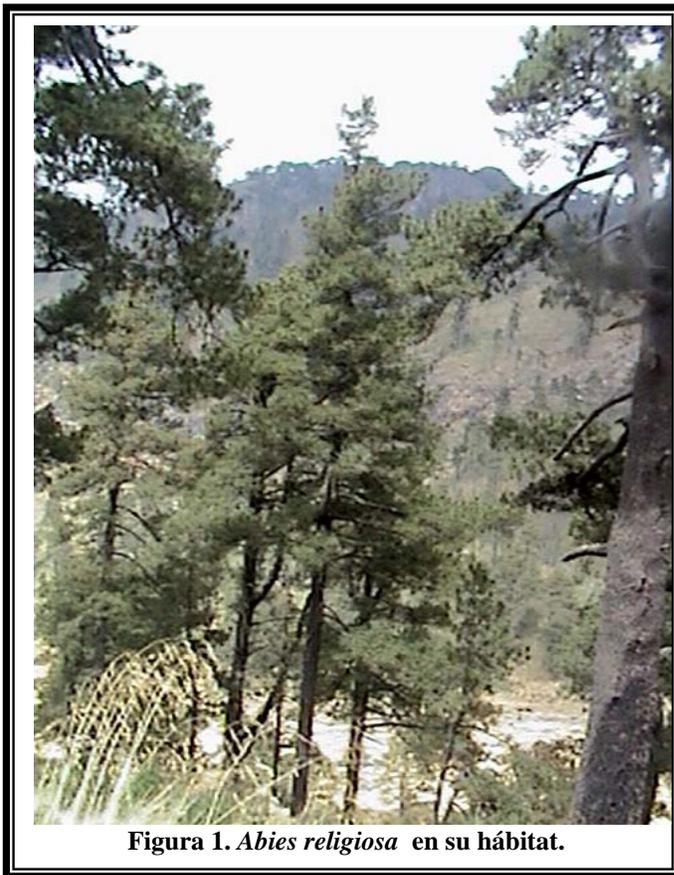


Figura 1. *Abies religiosa* en su hábitat.

árbol de navidad. Se reporta para los estados de Colima, Distrito federal, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Veracruz.

Habita entre los 2,500 y 3,500 m.s.n.m, en suelos andosoles ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados y húmedos durante todo el año, (Figura 1). Se encuentra al

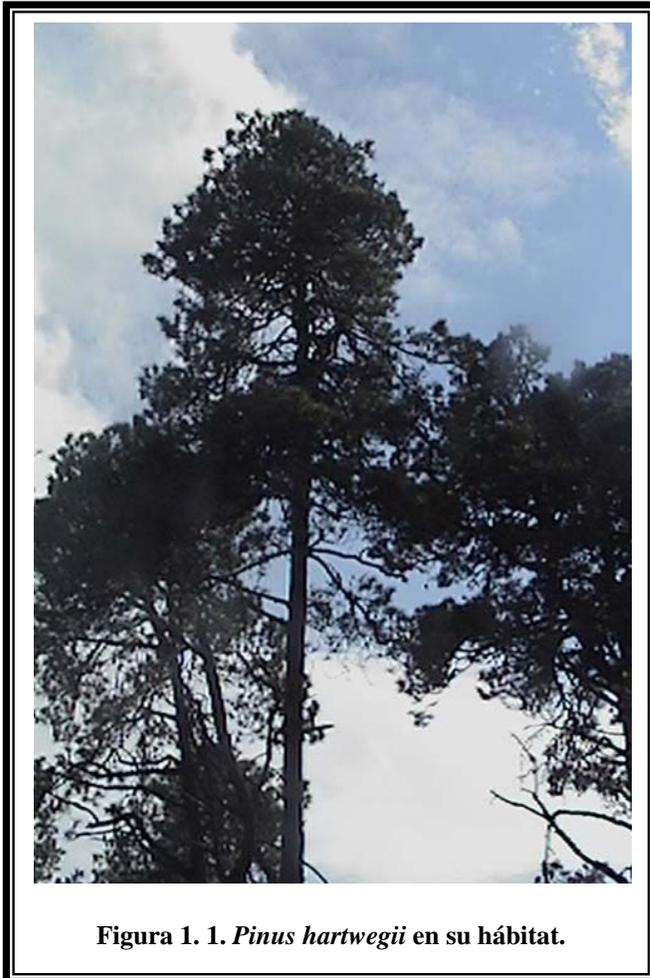
Bosque de *Abies religiosa*

(Oyamel); acompañado, en ocasiones, por *Pinus ayacahuite*, *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Prunus serotina* y *Cupressus lindleyi* (Rzedowski, 1978).

Pinus hartwegii es conocido como; ocote y pino de las alturas distribuyéndose en los estados de Colima, Chiapas, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, México,

Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz.

Se seleccionó esta especie en el Parque Nacional Zoquiapan ya que es una de



las principales especies (Rzedowski, 1978). Es típica de las zonas templadas de México y de la meseta central. Forman masas o manchones de kilómetros cuadrados, especialmente, en los volcanes más altos de la Región Central, donde ya no prosperan otras especies de pinos, como se observa en la Figura 1.1. Probablemente sea la especie de pino que alcanza menores crecimientos en los bosques de México.

En el caso del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas crecen especies de pinos, que se presentan básicamente en dos estratos: uno superior, el arbóreo y otro inferior con pastos amacollados, escasos arbustos y hierbas.

En general, de los 2,500 a los 4,000 m.s.n.m. predominan el *Pinus hartwegii* asociándose con *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus rudis*; acompañados algunas veces por *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*; casi siempre se

encuentran mezclados en esta zona con *Abies religiosa* y a veces se presentan conviviendo con *Quercus*, *Juniperus* o *Alnus*; *Pinus hartwegii* crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica, buen drenaje, texturas francas en suelos Andosol o Litosol. Con contenidos bajos de fósforo y altos de calcio, manganeso, sodio, potasio y aluminio.

4.2.- BIOLOGÍA DE LAS ESPECIES

4.2.1.-Ciclo de reproducción.

El oyamel es una especie monoica; los órganos masculinos y femeninos aparecen al mismo tiempo que las yemas vegetativas desde diciembre, los primeros continúan su desarrollo para alcanzar la madurez en los meses de marzo y abril. Mientras la maduración de los conos las yemas vegetativas continúan su desarrollo y alcanzarán su máximo en los meses de agosto y septiembre. El crecimiento y desarrollo de esos brotes es estimulado con el advenimiento de la temporada de lluvias. La producción de semillas en promedio es cada dos años para *Abies religiosa* y de cinco años para *Pinus hartwegii* (Manzanilla, 1974).

4.2.2.-Estructura de las poblaciones

El número de individuos de cada una de las categorías por edades, son determinantes para la estabilidad de la población del oyamel y del pino, y a su vez de la comunidad. La población renueva y desplaza un número de individuos que ingresa a la siguiente edad. Cuando las semillas germinan y desarrollan plántulas, la cantidad es muy generosa y al cabo de tres años los brinzales ya establecidos y adaptados, tendrán que luchar por un espacio en la atmósfera y en el suelo.

El establecimiento y el reclutamiento se propician por juveniles y adultos, y ambos le reditúan a las plántulas y brinzales cobijo y protección. Destaca el hecho que ambas poblaciones a medida que aumenta la altitud la dominancia por parte de los adultos es igualmente creciente, en tanto que los seniles son muy escasos (uno de ellos fue localizado para el oyamel en el km 21 hacia el Paso de Cortés).

4.3. FACTORES CLIMÁTICOS

El microambiente en el bosque está controlado principalmente por la cubierta vegetal, los diferentes estratos de copas, la densidad de la vegetación y por la composición, características físicas del piso forestal. En consecuencia, el microclima existente cerca del suelo es la suma de interacciones atmosféricas imperantes en la región, movimiento del aire, humedad atmosférica y composición, específicamente en esa pequeña área.

4.3.1.- Radiación Solar

El sol provee de la energía necesaria para que las plantas efectúen la fotosíntesis y es responsable del calentamiento del aire y del suelo. La energía que alcanza el piso forestal puede variar ampliamente en cantidad y calidad, dependiendo de la densidad de la cobertura de las copas de los árboles. Los árboles varían ampliamente en su capacidad para crecer bajo diferentes tipos de sombra, pero existe evidencia de que el desarrollo de las raíces de las plántulas se reduce si ésta crece en niveles bajos de iluminación, independientemente de su tolerancia.

4.3.2.- Temperatura y humedad

La temperatura y la humedad, combinadas, son factores que frecuentemente limitan el establecimiento de la regeneración, toda vez que el sitio pueda proveer la luz necesaria para el crecimiento. Musálem y Solís (2000) reportan que uno de los factores que más influyen en la temperatura del suelo, es la condición de la apertura del dosel, registrándose en general, las más altas temperaturas en las condiciones del dosel abierto, señalan además que en la condición de apertura de dosel cerrado, se observa una menor variación, debido probablemente a las condiciones microclimáticas que se generan.

4.3.3.- Humedad atmosférica y movimiento del aire

La humedad relativa influye en la evapotranspiración si el déficit de presión de vapor es más alto en el aire, la planta y el suelo perderán agua. Por otra parte, aunque la velocidad del viento decrece dentro de los rodales, y es casi imperceptible a nivel del suelo, su efecto desecante sobre el dosel es un hecho bien conocido (Spurr y Barnes, 1980). El movimiento del aire por el viento, dentro los bosques hace las veces de un agente polinizante de corredores por los cuales se diseminan las semillas de los árboles.

4.4.- FACTORES FISIAGRÁFICOS

La fisiografía del terreno influye, directamente en el desarrollo de los árboles. Sin embargo, los cambios que sufra determinan un cambio directo en otros factores como la temperatura. Así, las formas de terreno cóncavas tienden a ser más

calientes. Por otra parte el microrelieve también es importante, ya que la supervivencia de plantulas es mayor en pendientes bajas con suelos profundos.

4.4.1.- Pendiente

La inclinación del terreno determina el grado potencial de erosión y las características del suelo, pues en pendientes pronunciadas está latente la probabilidad de daño directo a las plántulas por arrastre de suelo y piedras, entre otros materiales; la pendiente es determinante para la disponibilidad de humedad, lixiviación de nutrimentos y para el desarrollo radical. Por otro lado, la pendiente tiene gran influencia en el desarrollo del suelo, observándose que el grado de pendiente se asocia por lo general de manera inversa con la profundidad de los suelos.

4.4.2.- Exposición

La exposición de un sitio influye en buena medida en la humedad del suelo. Las pendientes orientadas al sur, experimentan mayor cantidad de radiación y temperaturas más elevadas que las orientadas al norte. Y mayor exposición a los contaminantes de forma directa.

4.4.3.- Factor edáfico

El proceso de regeneración forestal está restringido a un microambiente específico en el cual los árboles deberán resistir la etapa más crítica de su existencia (Perez 2005).

4.5.- CRECIMIENTO DEL ÁRBOL

El crecimiento de un árbol consiste de la elongación y engrosamiento de raíces, troncos, ramas y que se refleja motiva en los árboles en cambios en altura, volumen (talla) y forma. Este crecimiento lineal de todas partes de un árbol, resulta de las funciones del meristemo primario; el crecimiento del diámetro, funciones del meristemo secundario, o cambium, el cual produce madera nueva entre la madera vieja y la corteza.

El árbol sintetiza las sustancias que necesita para su desarrollo y crecimiento. Para ello toman a través de innumerables aberturas lenticulares o estomas situadas en la cara inferior de las hojas a través de las raíces el agua con nutrimentos.

Con el azúcar y el almidón, el árbol, forma otras sustancias orgánicas estructurales tales como: celulosa, lignina, resinas y grasas. Para ello necesita distintas sustancias que se hallan disueltas en la solución del suelo como: N, P, Si, S, K, Ca, Mg y Fe. Para la conversión de estas sustancias hace falta oxígeno como fuente de energía, que toma el árbol durante el día y la noche a través de poros corticales y de las células de la superficie de las raíces. En este proceso denominado respiración, se desprende dióxido de carbono. Dado que con falta de energía luminosa no es posible la fotosíntesis.

4.6.- CRECIMIENTO DE LOS ANILLOS

En bosques templados, en árboles de coníferas en desarrollo, se adiciona anualmente una capa de madera justo debajo de la corteza, desde el nivel del suelo hasta la punta y en todo alrededor del fuste. Al efectuar en un tronco un corte transversal, se observan líneas concéntricas, las cuales representan los anillos anuales. Por tanto, la edad del árbol puede ser determinada contando los anillos, siempre y cuando solo se forme uno anualmente.

El árbol vivo incrementa el diámetro de su tronco, por el desarrollo de un tejido celular llamado cambium. Este tejido se encuentra debajo de la corteza, y sus células se dividen hacia la parte interna del tronco para formar el xilema o madera. De las células del xilema, las que se han llamado fibras mueren tan pronto como acaban de formarse, y de las de parénquima permanecen vivas por más tiempo. En los árboles vivos la mayor parte del tronco está constituido por células muertas, aún cuando éstas funcionan como conductoras de soluciones.

La madera que forma el cambium, durante una temporada de crecimiento, forma un anillo más o menos circular alrededor del centro del tronco. En árboles de climas templados con diferencias notables de temperatura y humedad entre otoño-invierno y primavera-verano, los anillos corresponden a periodos anuales de crecimiento, por lo que de acuerdo con su número de anillos puede estimarse la edad.

Las maderas que provienen de climas templados o fríos dentro de cada anillo de crecimiento, se encuentra una porción de madera temprana y otra de madera tardía. La primera se forma en la época inicial de crecimiento del árbol y se caracteriza por su rápida reproducción de células, la cual conforme avanza su temporada de crecimiento, su formación se vuelve más lenta y sus paredes aumentan su espesor. De ahí que cuando se observa un corte transversal de madera de pino se puedan notar las bandas de células de color pálido que corresponden a la madera temprana y círculos de color oscuro de la tardía.

4.7.- ESTRUCTURA DE LA MADERA

La madera en general proviene de dos grupos de árboles

1. Las gimnospermas, comúnmente llamadas coníferas. Dentro de este grupo se encuentra la madera de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*.
2. Las angiospermas o latifoliadas (de hojas caducas).

La razón estriba en su crecimiento, el cual es generado de forma monopódica, (tronco principal recto con ramas a los lados). En general, la madera está conformada por células cementadas entre sí, básicamente de dos tipos:

- a).- Las prosenquimatosas, cuyas funciones son la conducción de soluciones y el sostén mecánico del árbol
- b).- Las parenquimatosas, que sirven para el almacenamiento de sustancias y dentro de las primeras se encuentran varios tipos como las fibras las cuales presentan una forma de tubo de paredes relativamente gruesas, con sus extremos

cerrados y su longitud es sensiblemente mayor que su ancho. En cambio las células de parénquima son cortas, de paredes en forma de tabiques y también huecas. Ver la Figura 1.2., la cual muestra la estructuración de la madera. La mayoría de las células de la madera están orientadas con su eje mayor a lo largo del tronco, característica más conocida como dirección de la fibra.

Existe también un número proporcional reducido de células cuyo eje mayor está orientado perpendicularmente a la corteza del árbol; dichas células forman lo que se conoce como rayos de la madera y están compuestas principalmente por células parenquimatosas; contribuyen poco a la resistencia de la madera.

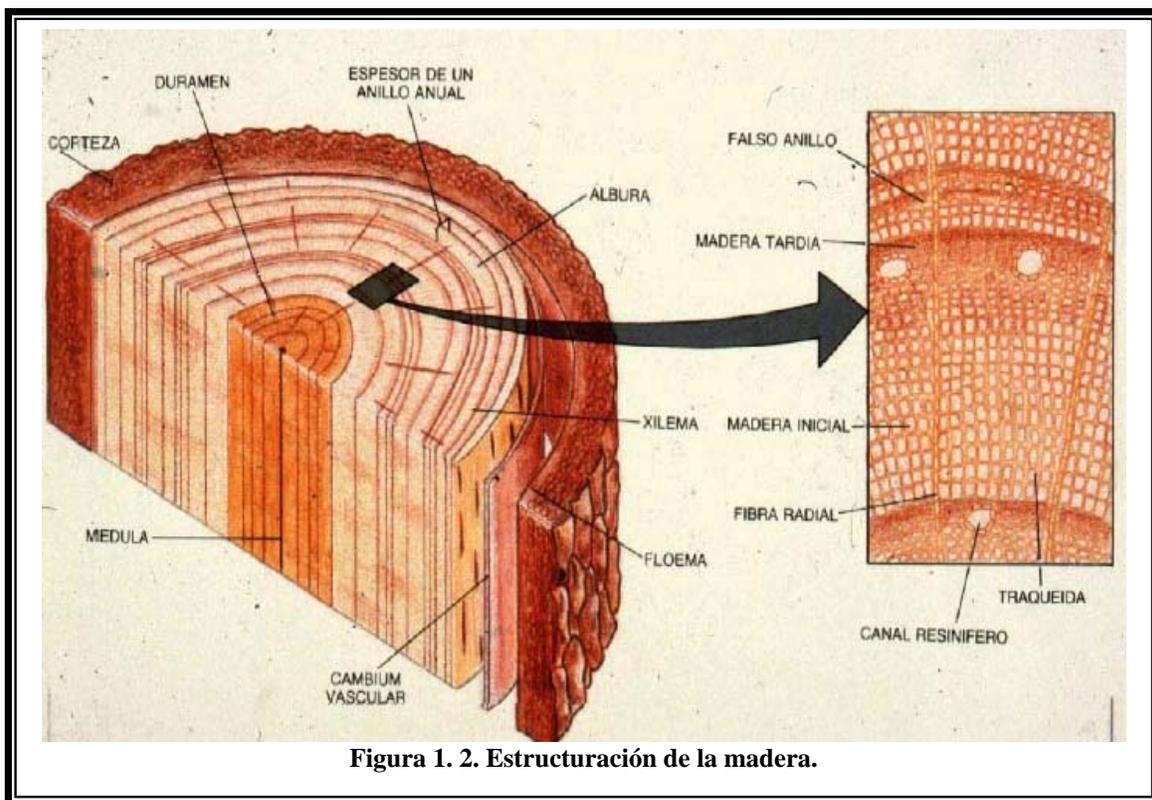


Figura 1. 2. Estructuración de la madera.

Las paredes celulares están formadas de varias capas superpuestas, de celulosa y lignina, principalmente, pudiéndose decir que la primera constituye el armazón y que la lignina se encuentra dentro de esta rodeándola.

La celulosa es un polímero lineal, la capa central de la pared celular es la más gruesa y por consiguiente; la más importante. En ellas, la cadena de celulosa está dispuesta en forma helicoidal, rodeando al lumen o porción hueca de la célula, formada por componentes estructurales y no estructurales, los estructurales son los que componen la pared celular y los no estructurales son denominados como sustancias extraíbles (Bland, 1985).

4.7.1.- Duramen y albura

La diferencia entre estas regiones es la presencia de células vivas y se puede apreciar en las rodajas transversales de los árboles con pigmentos claros en la parte exterior, porción que se denomina albura, y la parte interna duramen, que es de color más oscuro a causa de las sustancias producidas por las células del parénquima al morir y de la densidad de la madera como se observa en la Figura 1.3. El color no siempre sirve para identificar el duramen, ya que existen especies

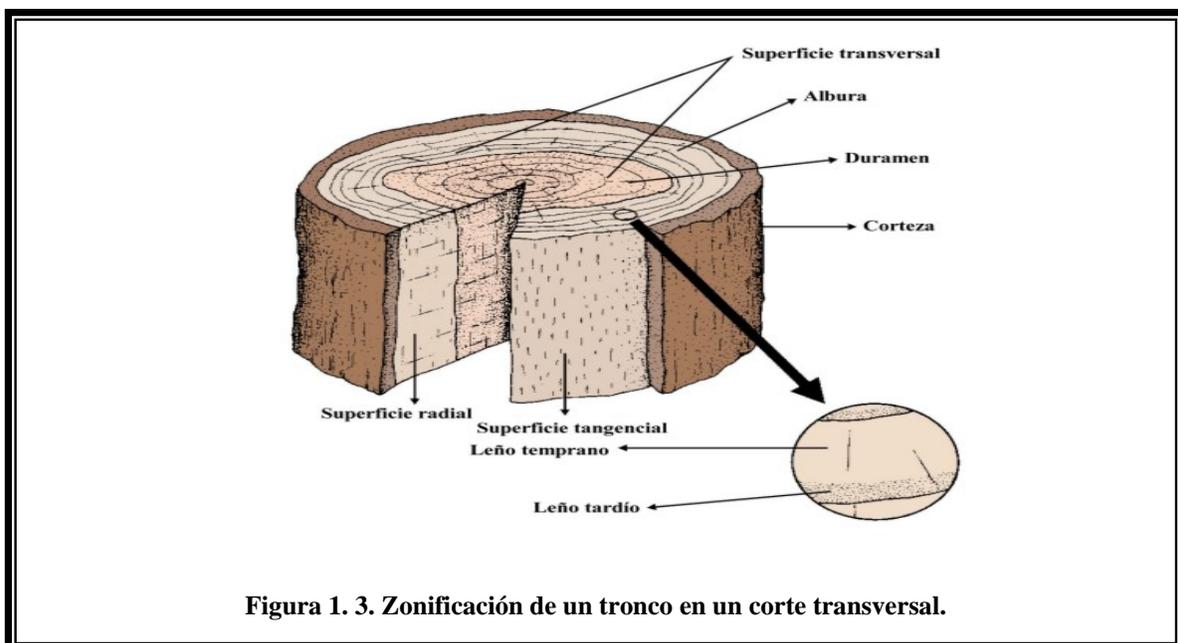


Figura 1. 3. Zonificación de un tronco en un corte transversal.

donde este y la albura son de color pálido uniforme.

Las sustancias que producen las células de parénquima al transformar la albura en duramen imparten ciertas características a este último. Una posible modificación es el color, que puede ir de negro a tonos tenues similares a los de la albura.

En las coníferas el duramen coloreado contiene mucha más resina y aceite, que penetran por los intersticios de la pared celular. Esta impregnación reduce con su presencia la hinchazón y la merma, así como la penetración de líquidos. Además contiene sustancias solubles tales como hidratos de carbono, polisacáridos, alcaloides y taninos, que al oxidarse le dan su característico color oscuro.

El duramen es menos permeable a líquidos y gases, soportando mejor el ataque de organismos destructores de madera. En lo que se refiere a resistencia mecánica, se puede decir que no existe diferencia alguna entre duramen y albura.

4.8.- BIOINDICADORES

En esta tarea, el ser humano ha buscado herramientas que puedan identificar los sucesos tales como los incendios, vientos, heladas, resinación, enfermedades, insectos y daños por animales que en exceso afectan los sistemas boscosos. Ciertos organismos vivos que por su comportamiento más sensibles a las fluctuaciones ocurridas en el medio actúan como indicadores de dichos sucesos, a continuación se describen presentan algunos sucesos que se observan en el registro de los árboles.

4.8.1. Fuego

Los incendios como bien es conocido, tienen efectos catastróficos, los fuegos son periódicos, tiene efectos importantes sobre la capacidad de repoblación y sobre la tasa de crecimiento de individuos jóvenes. Rzedowski (1978) menciona que es frecuente encontrar la corteza ennegrecida en *Pinus hartwegii*, debido a incendios severos y frecuentes que lo afectan; sin embargo, sobre esto no se sabe con certeza por la falta de estudios sobre el tema.

4.8.2. Viento

Aun cuando el viento no afecta aparentemente el crecimiento y reproducción de la especie, se sabe que este fenómeno atmosférico ha provocado daños severos en algunos rodales en la sierra nevada

4.8.3. Heladas

Son muy tolerantes a bajas temperaturas, es resistente hasta cinco nevadas y entre 110 y 115 heladas por invierno. En los rangos medios donde se desarrolla la especie. En los extremos altitudinales, la especie se ve afectada por las bajas temperaturas en el límite máximo, en donde se desarrolla sólo en manchones.

4.8.4. Resinación

Los bosques de estas especies se resinan por largos periodos aparecen en su superficie externa cuando se les hace un corte. De hecho, forman una capa que

protege a la planta de organismos patógenos y de una pérdida excesiva de savia a través del corte.

4.8.5. Enfermedades

Estas especies son atacadas frecuentemente por múrdago (*Arceuthobium globosum* Hawk y Wiens y *A.vaginatum* Wild.). Estas plantas semiparásitas reducen las tasas de incremento de los árboles. Varias enfermedades son producidas en esta especie por los siguientes organismos: *Cronartium spp.*, *Fomes spp.*, *Armillaria spp.*, *Poria spp.*, *Ganoderma spp.*, *Poliporus spp.*, y *Fusarium spp.*

4.8.6. Insectos

Se tiene información de que *Gnathotrichus sulcatus* infesta fuertemente a *Pinus hartwegii*; los bosques de México que contienen esta especie son altamente susceptibles al ataque de: *Dendroctonus adjunctus*, *D.valens*, *D. approximatus*, *Conophthorus ponderosae*, *Megastigmus albifrons*, *Ips integer*, *I. bonanseai*, *I. mexicanus*, *Dioyctria baumhoferi*, *Conotrachellus neomexicanus*, *Eucosma*, *Rhyacionia*, *Halisidota alternata*, *Neodiprion guillettei*, *Leptoglossus occidentales*, *Pythioptorus spp.* y *Synanthedon cardinales*.

4.8.7. Animales

Los roedores en especial las ardillas consumen gran cantidad de semilla de estas coníferas en la Sierra Nevada, pero no a los brinzales regenerados en forma

natural, también se han detectado que ratones principalmente reducen fuertemente los bancos de semillas existentes en el suelo.

Como se observa la interacción de estos elementos antes mencionado con los atmosféricos le permiten al árbol registrar este tipo de eventos, convirtiéndolos en elementos indicadores, de ahí la necesidad de realizar estudios sobre los posibles efectos que a largo plazo puede producir los factores antes mencionados sobre los distintos ecosistemas.

En México ya existe un listado de especies vegetales existentes y potencialmente útiles para la evaluación de la contaminación atmosférica y un listado de especies resistentes (Cuadro 1), con las cuales se puede estructurar y desarrollar un plan de conservación de las zonas boscosas, tomando en consideración los niveles de contaminación registrados en los últimos 14 años en el Distrito Federal y los elementos micro-climáticos que lo constituyen (Bárba y Luna, 1994).

Cuadro 1. Especies de coníferas bioacumuladoras del Valle de México.

Organismo presente en México	Tipo de contaminante que indica
<i>Abies religiosa</i>	HF
<i>Pinus spp</i>	SO ₂ , O ₃ , H ₂ SO ₄ , HF

Los organismos utilizados como bioindicadores por su sensibilidad a los contaminantes atmosféricos son: los líquenes, musgos, hongos y plantas superiores (hortalizas, de ornato, arbustos y árboles), habrá especies sensibles a

un contaminante y resistentes a otros, presentando diferentes etapas de bioindicación. Algunas especies presentan un comportamiento de bioindicador y bioacumulador (Calva, 1990). Sin embargo aún no existe un listado de especies vegetales potenciales para registros de tipo ecológico (decline, sucesión, dominancia, crecimiento, incendios, etc.) y los trabajos sobre esta línea son pocos.

4.9.- DENDROECOLOGÍA

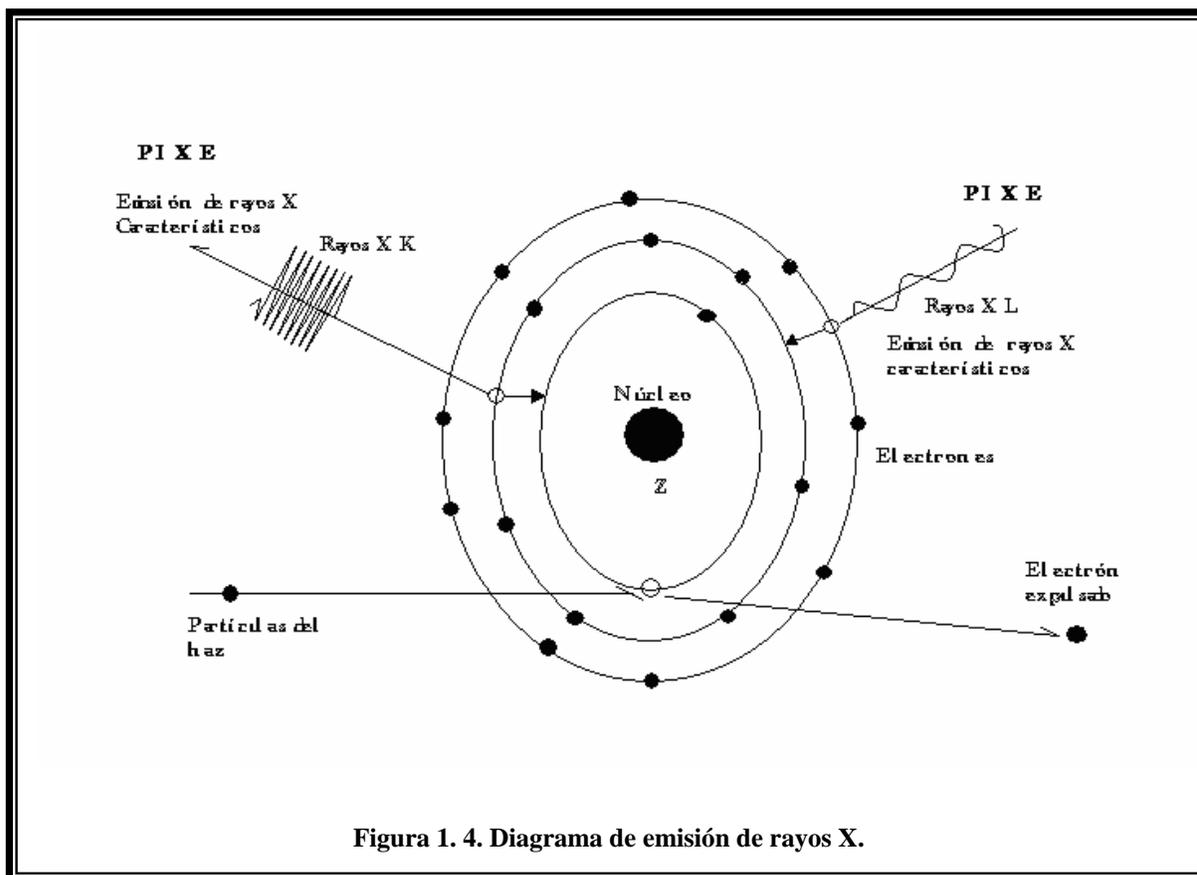
Dendroecología es una subdisciplina de las ciencias forestales que utiliza las variaciones del crecimiento radial para conocer la historia de un sitio y determina el impacto de los cambios en el medio, a través de los anillos de crecimiento, diferencias estructurales y cambios en la dinámica poblacional.

El campo de aplicación de esta área en el extranjero son más de 30 estudios utilizando series de anillos en colaboración de alguna otra disciplina para entender los eventos de disturbios, así como análisis comparativos de eficiencia en los métodos aplicados (Rubino y McCarthy 2004).

La ventaja de esta subdisciplina es que permite un análisis enfocado hacia el pasado y al futuro, en campos diferentes tales como; climatología, arqueología, química, ecología, etc., aplicando la técnica adecuada.

4.10.- DENDROQUÍMICA CON PIXE

Para determinar la presencia y concentración de los elementos vinculados al crecimiento en los anillos de crecimiento de los núcleos extraídos de los árboles de *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, se utilizó la técnica PIXE.



Esta es una técnica espectroscópica, es un método de análisis de la materia en seco y consiste en analizar la energía de la emisión de rayos X por inducción de partículas, en los átomos de la muestra por un haz de iones, de donde vienen las

siglas en inglés del nombre del método (Particle Induced X-Ray Emission), como se muestra en las Figura 1.4., fue desarrollada en los años setenta (Johansson y Campbell, 1988).

Se basa en el estudio de la ionización atómica; cuando se induce por iones, puede hacerse en forma cuántica o con aproximaciones clásicas; en este caso se trabaja con la Teoría clásica de colisión binaria por su sencillez y buenos resultados (Cahill, 1980).

Dado que dicha distribución es única para una característica propia de los átomos que componen el material irradiado y de sus concentraciones. Este fenómeno constituye la base de la técnica PIXE que por sus características, de velocidad, exactitud, precisión, sensibilidad y flexibilidad, puede explicar en diversas áreas por que se puede trabajar con muestras biológicas en seco, obteniendo resultados con los atributos antes mencionados (Macartur y Xin-Pei, 1991).

4.11.- IMPORTANCIA DE LOS NUTRIMENTOS

Cualquier elemento que un organismo necesite para vivir, crecer y reproducirse se llama nutrimento.

Miller (1967), indica que los elementos esenciales para la planta son 15; al principio del siglo sólo se aceptaban que eran diez y éstos son C, H, O, P, K, N, S, Ca, Fe y Mg; a éstos se les llama elementos mayores (con excepción del Fe), porque las plantas los utilizan en cantidades mayores que los 5 elementos

menores, incluidos últimamente en la lista, y estos son: B, Cu, Mn, Mo, Zn, también llamados micronutrientes. Sin embargo Müller (1964), considera al Fe como un elemento igual que los macronutrientes, ya que la planta necesita una cantidad relativamente grande o un suministro constante de ello.

Los elementos requeridos por los organismos en grandes cantidades se denominan macronutrientes. Son ejemplos: el C, O, H, N, P, S, Ca, Mg y K. Estos elementos y sus compuestos constituyen el 97% de la masa del cuerpo humano, y más de 95% de la masa de todos los organismos. Los 30 ó más elementos requeridos por los organismos en cantidades pequeñas, o trazas, se llaman micronutrientes. Son ejemplos el hierro, cobre, zinc, cloro y yodo.

Los elementos y sus compuestos necesarios como nutrientes para la vida sobre la Tierra, son ciclados continuamente en vías complejas a través de las partes vivas y no vivas de la ecósfera y convertidos en formas útiles por una combinación de procesos biológicos, geológicos y químicos.

Hay tres tipos de ciclos biogeoquímicos interconectados.

En los ciclos gaseosos, los nutrientes circulan principalmente entre la atmósfera (agua) y los organismos vivos. En la mayoría de estos ciclos los elementos son reciclados rápidamente, con frecuencia en horas o días. Los principales ciclos gaseosos son los del carbono, oxígeno y nitrógeno.

En los ciclos sedimentarios, los nutrientes circulan principalmente en la corteza terrestre (suelo, rocas y sedimentos) la hidrosfera y los organismos vivos. Los

elementos en estos ciclos, generalmente reciclados mucho más lentamente que en los ciclos atmosféricos, porque los elementos son retenidos en las rocas sedimentarias durante largo tiempo, con frecuencia de miles a millones de años y no tienen una fase gaseosa. El fósforo y el azufre son dos de los 36 elementos reciclados de esta manera.

En el ciclo hidrológico; el agua circula entre el océano, el aire, la tierra y los organismos vivos, este ciclo también distribuye el calor solar sobre la superficie del planeta.

Varios factores determinan esta disponibilidad de los nutrimentos:

- pH del suelo
- Alta cantidad de elementos antagónicos en el suelo
- Materia orgánica
- Textura
- Irrigación
- Lixiviación
- Suelos fríos y húmedos
- Actividad biológica del suelo

4.11.1.- Potasio

El potasio es un nutrimento esencial de la planta. Es uno de los tres nutrientes principales junto con el nitrógeno y el fósforo. Este es absorbido del suelo por las plantas en forma iónica (K^+).

Es vital para la fotosíntesis. Cuando existe deficiencia de K, la fotosíntesis se reduce y la respiración de la planta se incrementa. Estas dos condiciones reducen la acumulación de carbohidratos, con consecuencias adversas en el crecimiento y producción de la planta. Otras funciones del potasio son...

- Es esencial para la síntesis de proteínas.
- Ayuda a controlar el balance iónico.
- Es importante en la translocación de metales pesados como el hierro (Fe).
- Ayuda a la planta a resistir los ataques de enfermedades.
- Mejora la resistencia de la planta a las heladas

Potasio no disponible es retenido fuertemente en la estructura de los minerales primarios del suelo (rocas). Este es liberado a medida que los minerales se meteorizan o descomponen por acción de los agentes ambientales como temperatura y humedad, pero esta liberación es tan lenta que el potasio no está disponible para las plantas en un ciclo de crecimiento en particular. El proceso de meteorización es tan lento que toma cientos de años para acumular cantidades significativas de potasio disponible en el suelo. Generalmente, los suelos de regiones cálidas y húmedas son más meteorizados que aquellos de climas fríos y áridos. Los suelos menos meteorizados son más ricos en potasio que aquellos que han soportado la prolongada acción de altas temperaturas y humedad.

Potasio lentamente disponible es aquel que queda atrapado o fijado entre las capas de cierto tipo de arcillas del suelo. Estas arcillas se contraen o se expanden cuando el suelo está seco o húmedo. La contracción y expansión de las capas de las arcillas atrapa los iones K haciéndolos no disponibles o lentamente

disponibles. Los suelos viejos muy meteorizados no contienen cantidades significativas de estas arcillas. Los suelos arenosos contienen reservas más pequeñas de potasio lentamente disponible en comparación con aquellos suelos que contienen mayores cantidades de arcilla (Pérez 2005).

El potasio disponible es aquel que se encuentra en la solución del suelo y está retenido en forma intercambiable por la materia orgánica y las arcillas del suelo.

4.11.2.-Calcio

El calcio es absorbido por las plantas en forma del catión Ca^{2+} . Una vez dentro de la planta, funciona en varias formas, incluyendo las siguientes:

- Estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas.
- Forma compuestos que son parte de las paredes celulares, fortaleciendo la estructura de la planta.
- Activa varios sistemas de enzimas.
- Neutraliza los ácidos orgánicos en la planta.
- Influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo (carbonato de calcio). Esto reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso, cobre y aluminio.
- Influye indirectamente en el rendimiento al mejorar las condiciones de crecimiento de las raíces y estimula la actividad microbiana, la disponibilidad del molibdeno y la absorción de otros nutrientes.
- Es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de Nitrógeno.

Un síntoma común de la deficiencia de calcio es un pobre crecimiento de las raíces. Las raíces con deficiencia de calcio se tornan negras y se pudren. Los tejidos nuevos necesitan calcio para la formación de sus paredes celulares, por lo tanto la deficiencia de calcio causa que los filos de las hojas y que los puntos de crecimiento sean gelatinosos. En casos severos, los puntos de crecimiento mueren. Las deficiencias de calcio casi nunca se muestran en el campo, debido a que los efectos de condiciones secundarias, como una alta acidez, limitan primero el crecimiento de la planta.

El calcio puede ser suministrado por medio de varias fuentes. Si se considera que la mayoría de los suelos que tienen deficiencia de calcio son ácidos. La calcita y la dolomita son excelentes fuentes de calcio. El yeso puede también suministrar calcio cuando el pH del suelo sea lo suficientemente alto como para no necesitar cal, pero que al mismo tiempo sea deficiente en calcio (este caso no se presenta comúnmente).

4.11.3.-Hierro

El hierro se absorbe en forma iónica o en sales orgánicas complejas la cantidad de calcio es importante ya que va en relación con otros elementos. El Fe es un metal que cataliza la formación de la clorofila y actúa como un transportador del oxígeno. También ayuda a formar ciertos sistemas enzimáticos que actúan en los procesos de respiración. La deficiencia de Fe aparece en las hojas como un color verde pálido (clorosis), mientras que las venas permanecen verdes, desarrollando

un agudo contraste.

Al no existir una translocación dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes en la parte superior de la planta. Una deficiencia severa puede dar a toda la planta un color amarillento a blanquecino. La deficiencia de hierro puede ser causada por un desbalance con otros metales como el molibdeno, cobre o manganeso. Otros factores que pueden promover una deficiencia de hierro incluyen:

- Exceso de fósforo en el suelo
- Diferencias genéticas de las plantas
- Niveles bajos de materia orgánica en el suelo

4.11.4.- Zinc

El zinc fue uno de los primeros micronutrientes reconocido como esencial para las plantas. Además, es el micronutriente que emite con frecuencia los rendimientos de los cultivos. A pesar de que es requerido en pequeñas cantidades, es imposible obtener rendimientos altos sin este micronutriente.

El zinc ayuda a la síntesis de sustancias que permiten el crecimiento de la planta y la síntesis de varios sistemas enzimáticos. Es esencial para promover ciertas reacciones metabólicas y además es necesario para la producción de clorofila y carbohidratos. El Zinc se transloca dentro de la planta, y al no contener las cantidades necesarias, los síntomas aparecen primero en la hojas nuevas y

jóvenes de la planta.

El zinc se puede fijar abundantemente en las fracciones orgánicas de suelos con alto contenido de materia orgánica. También se puede inmovilizar temporalmente en los cuerpos de los microorganismos del suelo, especialmente cuando se aplican desechos orgánicos. Por otro lado, la disponibilidad del zinc en suelos minerales está asociada con la materia orgánica. Niveles bajos de esta en el suelo son a menudo indicativos de una baja disponibilidad de zinc, la cual es favorecida por la presencia de micorrizas, que forma una relación simbiótica con las raíces de las plantas, ayudando a la planta a absorber el zinc.

4.11.5.-Manganeso

Es absorbido radicalmente en forma de ion manganeso Mn^{2+} y absorbido por las hojas en cualquier otra forma química. La forma divalente del Manganeso es la más importante en la solución del suelo y es por lo tanto la más importante desde el punto de vista nutrimental; sin embargo, esta forma es muy móvil en el suelo y es fácilmente lixiviado.

- El manganeso acelera la germinación
- Acelera la maduración de las plantas
- Incrementa la disponibilidad de fósforo y calcio

El Manganeso, al no ser translocado por la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes como un amarillamiento entre las venas.

En algunas ocasiones aparecen una serie de puntos de color café oscuros. Las deficiencias de Manganeso ocurren con más frecuencia en suelos con alto contenido de materia orgánica y más o menos en suelos con pH neutro a alcalino. En algunos suelos, con un pH extremadamente ácido puede causar toxicidad de manganeso. El pH del suelo debe ser inferior a 5.0 para que aparezcan problemas significativos de toxicidad. Sin embargo, se han encontrado niveles tóxicos de Manganeso en la plantas creciendo en suelos con pH de hasta 5.8.

4.11.6.- Cobre

El cobre es un elemento que encontramos en forma de ion cuprico Cu^{2+} , esta relacionado con a reacción de la luz y la formación de clorofila y cataliza varias otras reacciones en las plantas.

Los síntomas comunes de la deficiencia de cobre incluyen la muerte descendente, pérdida de turgencia de las hojas, que luego desarrollan un color azul-verdoso antes de tornarse cloróticas y enrollarse

Los suelos orgánicos son los más propensos a ser deficientes en cobre. Estos suelos generalmente contienen niveles adecuados de cobre, (retienen tan fuertemente que solo una pequeña cantidad es disponible para el cultivo). Los suelos arenosos, bajos en materia orgánica, también pueden llegar ha ser deficientes en cobre, debido a pérdidas por lixiviación. Los suelos pesados (arcillosos) son los que tienen menos probabilidad de desarrollar deficiencias de cobre. La presencia de otros metales como Fe, Mn y Al más o menos afecta la disponibilidad de cobre para la planta. Este efecto es independiente de los tipos de suelo

V.- ANTECEDENTES

En el Cuadro 1.1., se muestran algunos de los estudios dendroecológicos-dendroquímicos,

Cuadro 1.1. Reseña histórica de algunos estudios realizados en los últimos años

AUTOR/AÑO	ESPECIE	FACTOR DE ESTUDIO
Calva G., Razo A.G., Rodríguez F., Ruvalcaba S.(2006)	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Pinus montezumae</i> , <i>Pinus patula</i>	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de metales traza en las regiones del anillo de crecimiento.
Piovesan G., Biondi F., Bernabei M., Di Filippo ., Schirone B.,(2005)	<i>Fagus sylvatica</i> L.	<ul style="list-style-type: none"> Árboles a diferentes elevaciones, presentan diferentes factores climáticos, con un decremento en la anchura del anillo al aumentar la altitud en la península de Italia
Rubino D., McCarthy B., (2004)	<i>Quercus alba</i> L., <i>Fagaceae</i>	<ul style="list-style-type: none"> Se hizo un análisis comparativo de 30 métodos para conocer los disturbios ecológicos a través de la historia. En diferentes países.
Copenheaver A. y Marc D. A. (2003)	<i>Pinus banksiana</i>	<ul style="list-style-type: none"> Valoración del potencial de métodos dendroecológicos, estudiando la dinámica de la población de árboles (dominancia-codominancia), en el norte de Michigan U.S.A.
Fontana G., Cherbini P., Rigling D., Dobbertin M., Brang J., (2003)	<i>Pinus mugo</i> Terra	<ul style="list-style-type: none"> Reconstruyeron la historia a través de anillos de crecimiento para identificar disturbios y su origen (antrópico o natural).
Rozas V. (2003)	<i>Quercus robus</i> y <i>Fagus sylvatica</i>	<ul style="list-style-type: none"> Regeneración dendroecológica en base a la estructura poblacional del norte de España.
Pollmann William (2003)	<i>Nophofagus alpina</i> y <i>Nophofagus dombeyi</i>	<ul style="list-style-type: none"> A través de estructuras en anillos y de sus cronologías se determinaron periodos de supresión en N.alpina, y la afectación de las emisiones volcánicas en 1640 Chile

**Cuadro 1.1., Reseña histórica de algunos estudios realizados.....
(Continuación)**

AUTOR/AÑO	ESPECIE	FACTOR DE ESTUDIO
Biondi F., Galindo I Estrada, Gavilanes J.C., y Elizalde A., (2002)	<i>Pinus hartwegii Lind</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Respuesta de la erupciones volcánicas en el crecimiento anual del árbol en Colima.
Díaz S. C., Touchan R. y Swetnam T.W., (2001)	<i>Pinus lagunae</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción histórica de la precipitación y el comportamiento de crecimiento de los anillos, para observa la afectación del efecto del niño en Baja California Sur.
Yen y Wensel L., (2000)	<i>Seis especies de coníferas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dominancia-codominancia-supresión a través de los anillos de crecimiento.
Abrams M.D., Coperheaver A.C (1999)	<i>Quercus alba, Q. rubra L., Liriodendron tulipifera L., Fagus grandifolia.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Composición y variación temporal (dinámica población) de los bosques de Virginia USA., mediante la reconstrucción histórica del bosque.
Weber U.M (1997)	<i>Zeiraphera diniana</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción dendroecologica e interpretación.
Devall M.S, Perresol B.R. and Le K. (1996)	<i>Cordia alliodora</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis dendroecologico de <i>Cordia alliodora</i>.
Norton D.A., Palmer J.G and Ogden (1987)	<i>Agathis australis, Libocedrus bidwillii, Nophofagus solandri, y Prumnopitys taxifolia</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de incremento en los anillos para determinar la edad del árbol.

VI.- MÉTODO

6.1.- ZONA DE MUESTREO

PARQUE NACIONAL ZOQUIAPAN

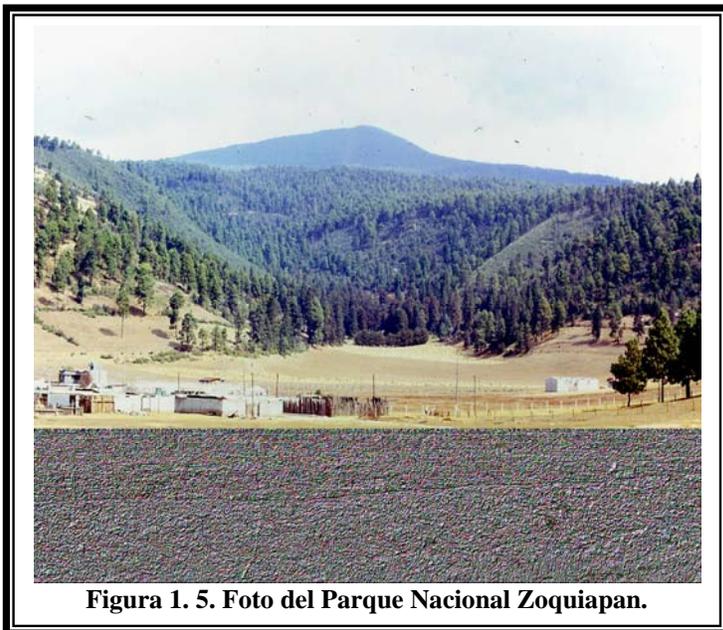


Figura 1. 5. Foto del Parque Nacional Zoquiapan.

Fue declarado Parque Nacional desde 1935, se encuentra ubicado entre los municipios de Estado de México, Morelos y Puebla (Melo, 1977). El Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, cuenta con una superficie de 45,097

hectáreas 25,679 hectáreas para el Izta-Popo y 11,500 hectáreas para Zoquiapan. (Figura 1.5.). Ocupan parte de los Municipios de Texcoco, Ixtapaluca y Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla y Ecatzingo en el Estado de México, así como Tlahuapan, San Salvador el Verde Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco, en el estado de Puebla y Tétela del Volcán en Morelo. Localizados en los límites de los estados de México, Puebla y Morelos, los parques quedan comprendidos dentro de la Sierra Nevada, mismo que flanquea el oriente de la Cuenca de México en el área de confluencia de los estados de Puebla, México y Morelos. Forma parte del Eje Volcánico Transversal, presenta importantes elevaciones entre las cuales destacan el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, con

alturas máximas de 5,280 msnm y 5,482 msnm respectivamente (Figura 1.6) constituyen dos de las cumbres más elevadas del país.

Se ubican entre las coordenadas geográficas $18^{\circ}59'00''$ y $19^{\circ}16'25''$ de latitud norte y $98^{\circ}34'54''$ y $98^{\circ}16'25''$ de longitud oeste. Hacia la parte norte del Iztaccíhuatl, en el área de Zoquiapan y Anexas, las elevaciones más notables son el Tláloc (4,120 m), el Yoloxóchitl (3,900 m), el Telapón (4,060 m) y el Papayo (3,600 m).

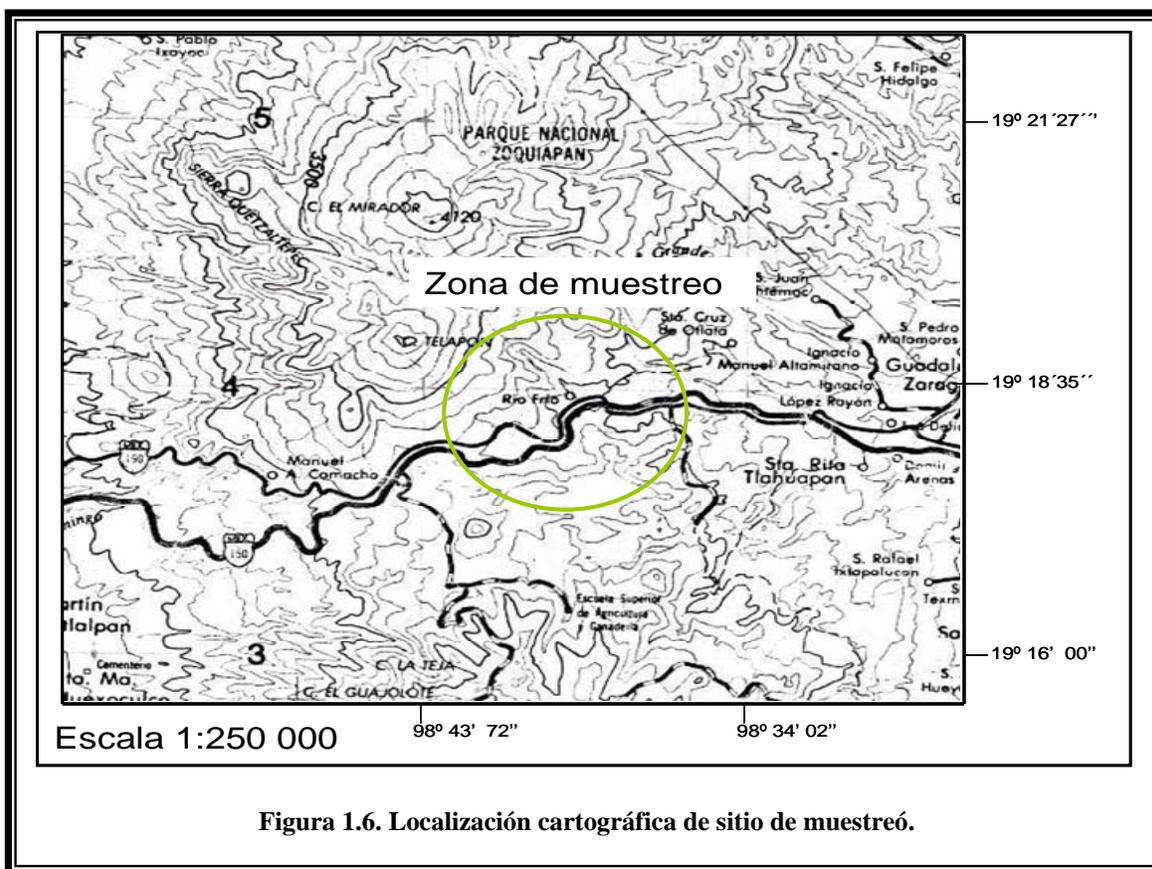


Figura 1.6. Localización cartográfica de sitio de muestreo.

El bosque de oyamel y pino es característico de la zona de Zoquiapan para lo cual se identificara y describirá el área de muestreo.

La colecta de muestras fue tomada del Cerro Tlatelpa en el municipio Río Frío de Juárez. Los 20 núcleos recolectados se midieron con un error de 0.001 del vernier Mauser y se analizaron los últimos 30 anillos, obteniendo 600 irradiaciones totales, ver **Anexo 1**.

Primeramente se toman los datos de campo y se georeferenciaron con un GP'S Magellan SporTrak posteriormente se colectan 6 núcleos muestra (Cook y Innes 1989), por especie para cada uno de los gradientes altitudinales 2900 vs 3200 m.s.n.m. Seleccionando los mejores núcleos quedando solo con 20, siendo la mínima muestra necesaria para un estudio de este tipo.

6.2.-FASE DE CAMPO



Figura 1. 7. Análisis del sitio

plagas, hongos, bifurcaciones, etc.).

Ubicación y descripción del área de muestreo. Una vez elegidas las zonas de muestreo se identifican las especies de pino y oyamel (Figura 1.7), con un radio mayor a 1.40 cm. además de no observar daño aparente (hachazos, incendios,



Figura 1. 8. Introducción del taladro

Se introduce el taladro Pressler (Figura 1.8), en dirección perpendicular a la pendiente, en ambos lados del tronco a una altura a nivel del pecho.



Figura 1. 9. Extracción del núcleo

Al extraer el núcleo con la bayoneta se colocan en popotes y se etiquetan, con el fin de mantener protegida la muestra evitando que se rompa así como de soporte, como se observa en la Figura 1.9., hasta llegar al Laboratorio de Contaminación.



Figura 1. 10. Perforación con taladro

Se muestra el hueco que queda al extraer la muestra, ver Figura 1.10.



Figura 1. 11. Resaneamiento del árbol

Posterior a la extracción, se sustituye el hueco con palos de madera (Figura 1.11), previamente reposados en una solución de formol al 10%, con el propósito de evitar que agentes oportunistas invadan el árbol (hongos, bacterias, insectos).

6.3.- FASE DE LABORATORIO

Las muestras secas en una estufa Kimet durante 24 horas a 38 °C con el fin de trabajar la muestra en seco, para fines de la técnica a utilizar.

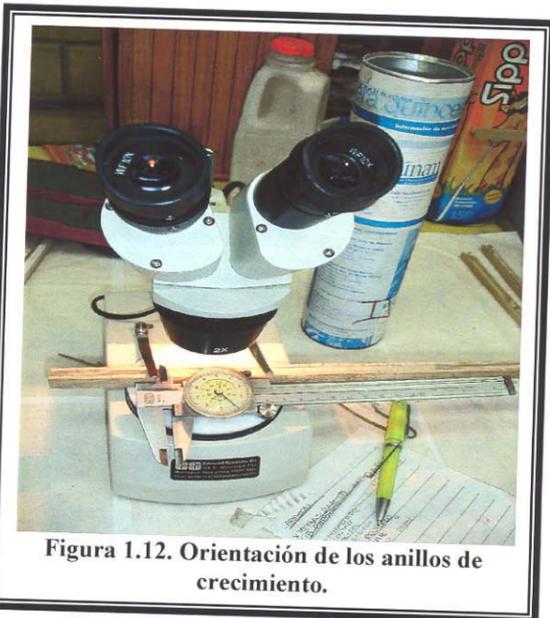


Figura 1.12. Orientación de los anillos de crecimiento.

Llegando al laboratorio se orientan los núcleos (proceso en el cual se acomodan los anillos, para una mejor observación de ellos de ser necesario se utiliza agua destilada) con ayuda de un estereoscopio digital Motic DM143 ver Figura 1.12.



Figura 1.13. Obtención de superficie plana.

La muestra se pega en los bastidores con pegamento de madera, se dejan secar posteriormente se rasurara con navajas de acero en un sentido, para obtener una superficie plana (Figura 1.13).



Figura 1.14. Conteo de años.

Se marcan y cuantifican los anillos anuales de toda la muestra Figura 1.14.

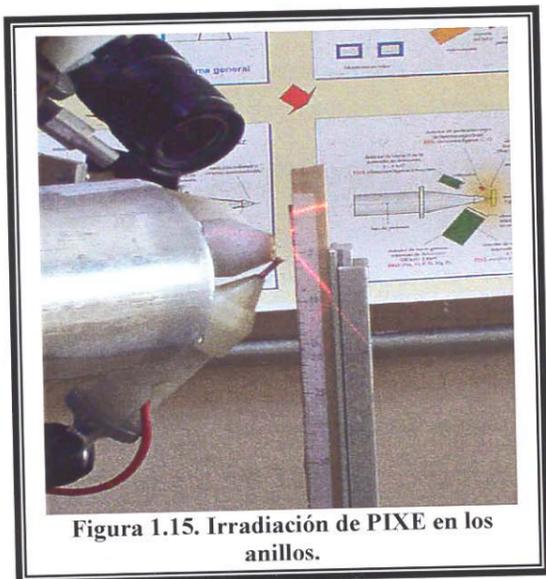


Figura 1.15. Irradiación de PIXE en los anillos.

Las 20 muestras acondicionadas para el análisis elemental se llevan al laboratorio del Peletrón, localizado en el Instituto de Física (UNAM).

Donde se utilizan el acelerador de electrones (Figura 1.15) para irradiar las muestras ya procesadas bajo las siguientes condiciones experimentales.

Acelerador de partículas tipo Van de Graff, energía del Haz de protones de 3.3 MeV., tiempo de irradiación de 400 segundos, con un grado de exposición de 45°, detector de estado sólido de Li (Si) y Li (Ge) Ver detalles en **Anexo 2**

Los resultados obtenidos se procesaron con un conjunto de softwares (AXIL y PIXEIN) ver **Anexo 2**.

IDENTIFICACIÓN DE LA ALBURA Y DURAMEN

Una vez irradiados los núcleos, se identificaron las regiones de albura y duramen en las dos coníferas mediante una mezcla de lugol al 1%. (Steven 1999).



Figura 1.16. Núcleo pigmentado.

Los núcleos son impregnados con la mezcla de lugol.



Figura 1.17. Tinción de la albura.

Se deja reaccionar la solución en un lapso de 30 minutos. Obteniendo una coloración en la albura de rojo a negro Figura 1.17.



Figura 1.18. Medición de las regiones.

Se miden las regiones correspondientes a albura y duramen (Figura 1.18) almacenando la información en una base de datos.

VII. RESULTADOS

7.1.- CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN ARBÓREA

7.1.1.- Variación del grosor en los anillos respecto a la especie.

En los resultados obtenidos mediante las graficas (Figura 2), encontramos que para ambas especies los años de menor crecimiento fueron 1982, 1983 y 1999 con un intervalo de 1.25-2.25 mm.

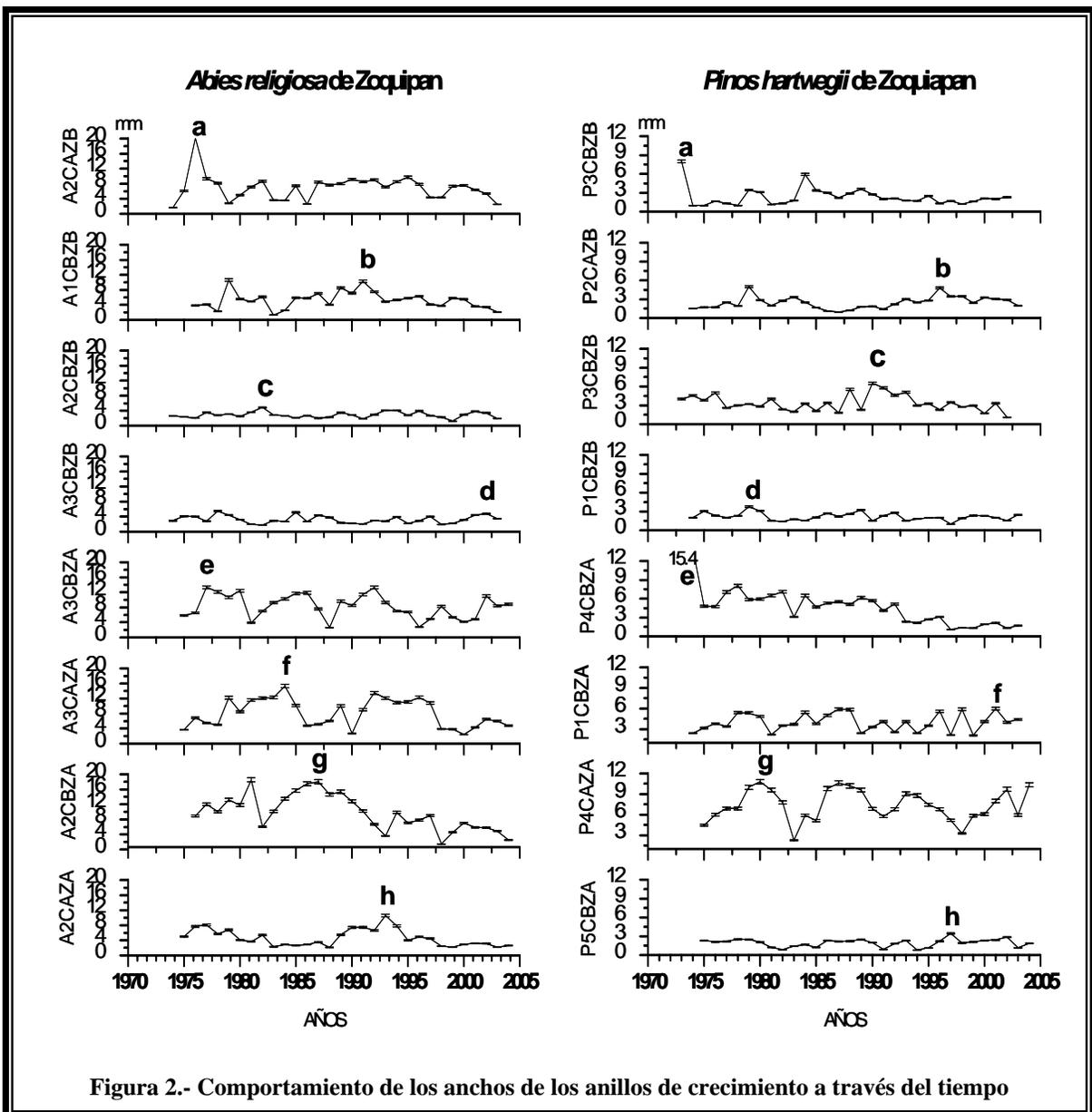
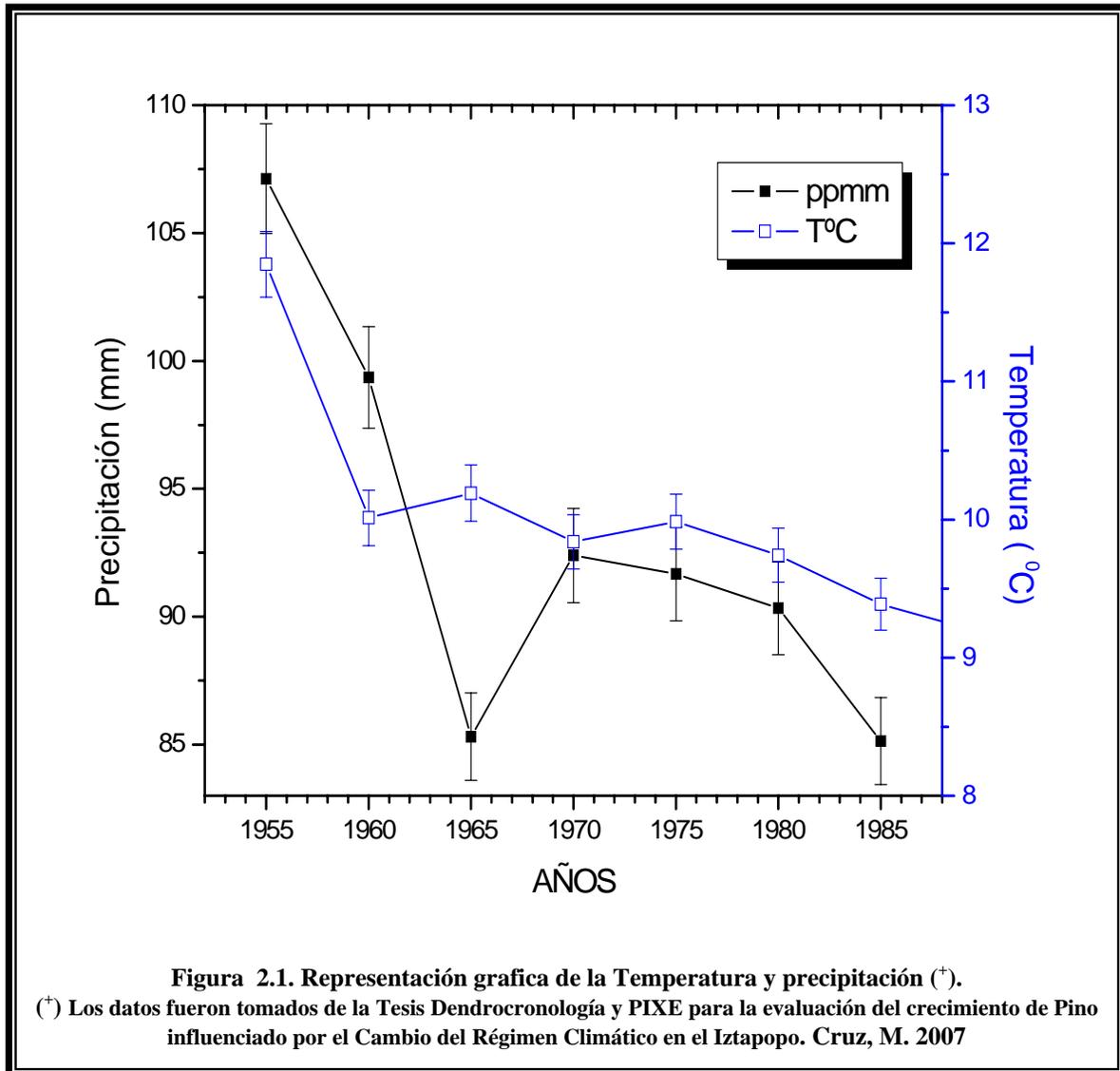


Figura 2.- Comportamiento de los anchos de los anillos de crecimiento a través del tiempo

Los años de mayor crecimiento para ambas especies fueron 1974 y 1984 en un intervalo de 3.75 a 18 mm y los de mayor crecimiento para *Abies religiosa* fueron: 1976, 1978, 1979, 1982, 1984, 1987, 1992, 1993., en un intervalo de 4.85 a 20.1 mm, y para *Pinus hartwegii* 3.45 a 10.8 mm, en los años 1978, 1979, 1980, 1987, 1984, 1985 y 1997 como se observa con una letra correspondientemente en la Figura 2.

Posteriormente mediante un análisis de Clúster se pudo corroborar el factor asociado (sitio y especie) con la cronología de los núcleos de los árboles; observando un primer agrupamiento en la zona baja de los años 1978-1980, con 1986-1988 y a su vez con, 1992-1993, en el oyamel. Con respecto a la agrupación del *Pinus hartwegii*, resultó que fue entre 1987-1991 con 1984-1985. Resalta que en esta especie se obtuvo el mayor número de agrupaciones en relación con la zona alta.

En la zona alta de la Figura 2.2., observamos un primer agrupamiento de sitio-especie con una menor distancia hacia *Pinus hartwegii* con tres niveles jerárquicos posteriores. Con respecto a la agrupación del *Pinus hartwegii*, que fue entre 1982 con 1983 y a su vez con, 1991-1996 con 1994-1995. En *Abies religiosa* las agrupaciones fueron de 1999-2004, con 2000-2003 y la última 2001-2002 con 1997. Con el análisis de Clúster se determinó que existe una respuesta entre el grosor del anillo y cronología, respecto a la disminución (Figura 2.1.) de la precipitación (> 95 mm promedio anual) y la temperatura (> a 10°C).



En las observaciones registradas, se detecta al momento de medir los anillos que el comportamiento en el crecimiento anual es más oscilante para *Pinus hartwegii*, mientras que *Abies religiosa* presenta un comportamiento constante, encontrando así 2 anillos de crecimiento por centímetro, de ahí la importancia de un Clúster como el siguiente.

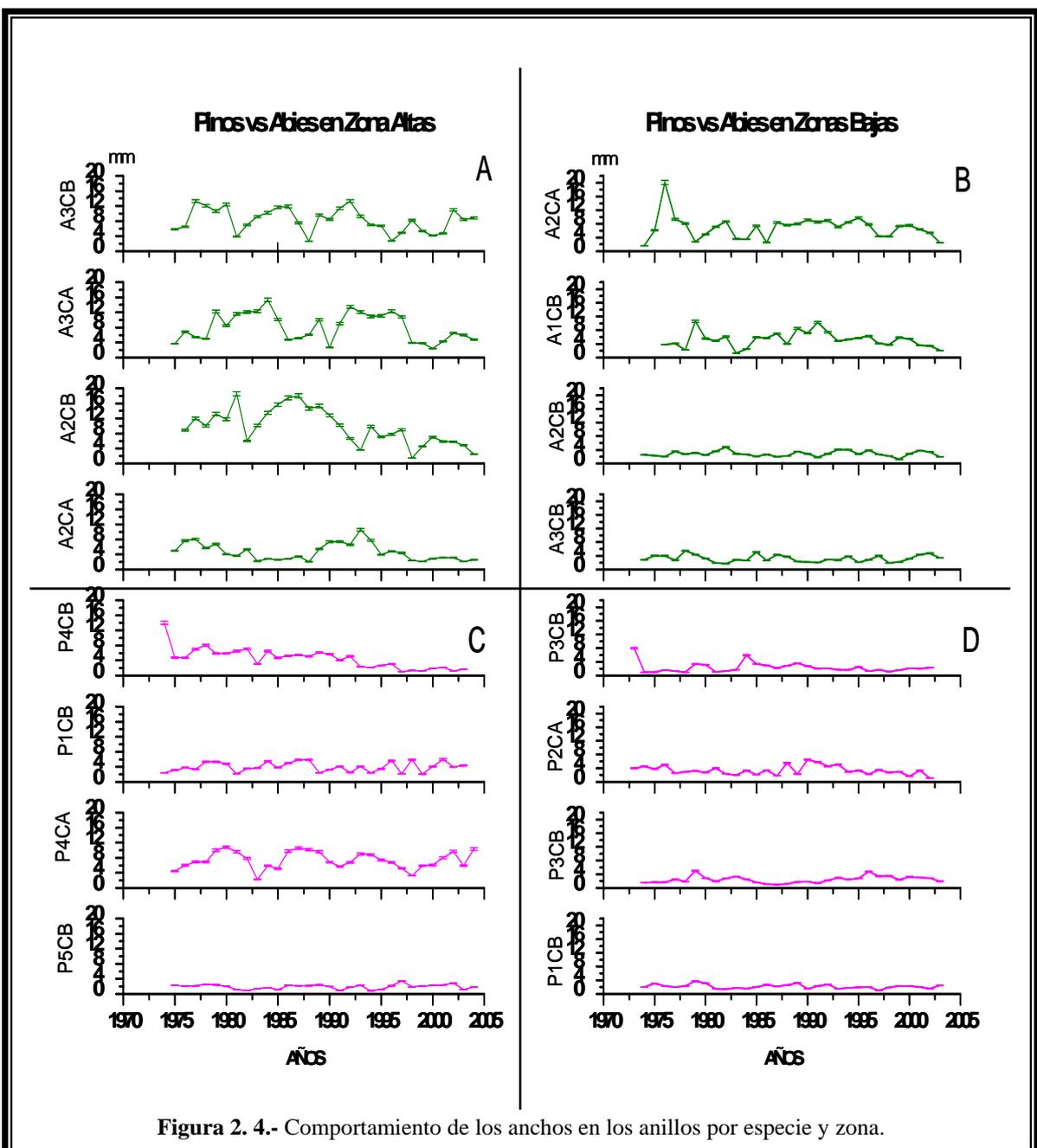
madera con el taladro en campo, sale un líquido de color claro y olor desagradable, Manzanilla lo reporta en 1974, como un líquido transparente de olor parecido a cuero curtido, hasta el momento no se tiene registros de estudios sobre este líquido.

La variación del grosor en *Pinus hartwegii* presenta un intervalo de 1.0 a 10.8 mm con una coloración en la albura mas clara en comparación al duramen, este presenta la madera mas compacta y seca además, las bandas de primavera y verano son más definidas apreciables, como se puede observar en la Figura 2.3. Las de verano son más oscuras y más angostas para esta especie.



7.1.2.- Variación del ancho en los anillos respecto a la gradiente de altitud.

La variación de los anchos esta sujeto a diversas variables siendo el gradiente de altitud una de estas. A continuación se muestra gráficamente el comportamiento de los anchos.

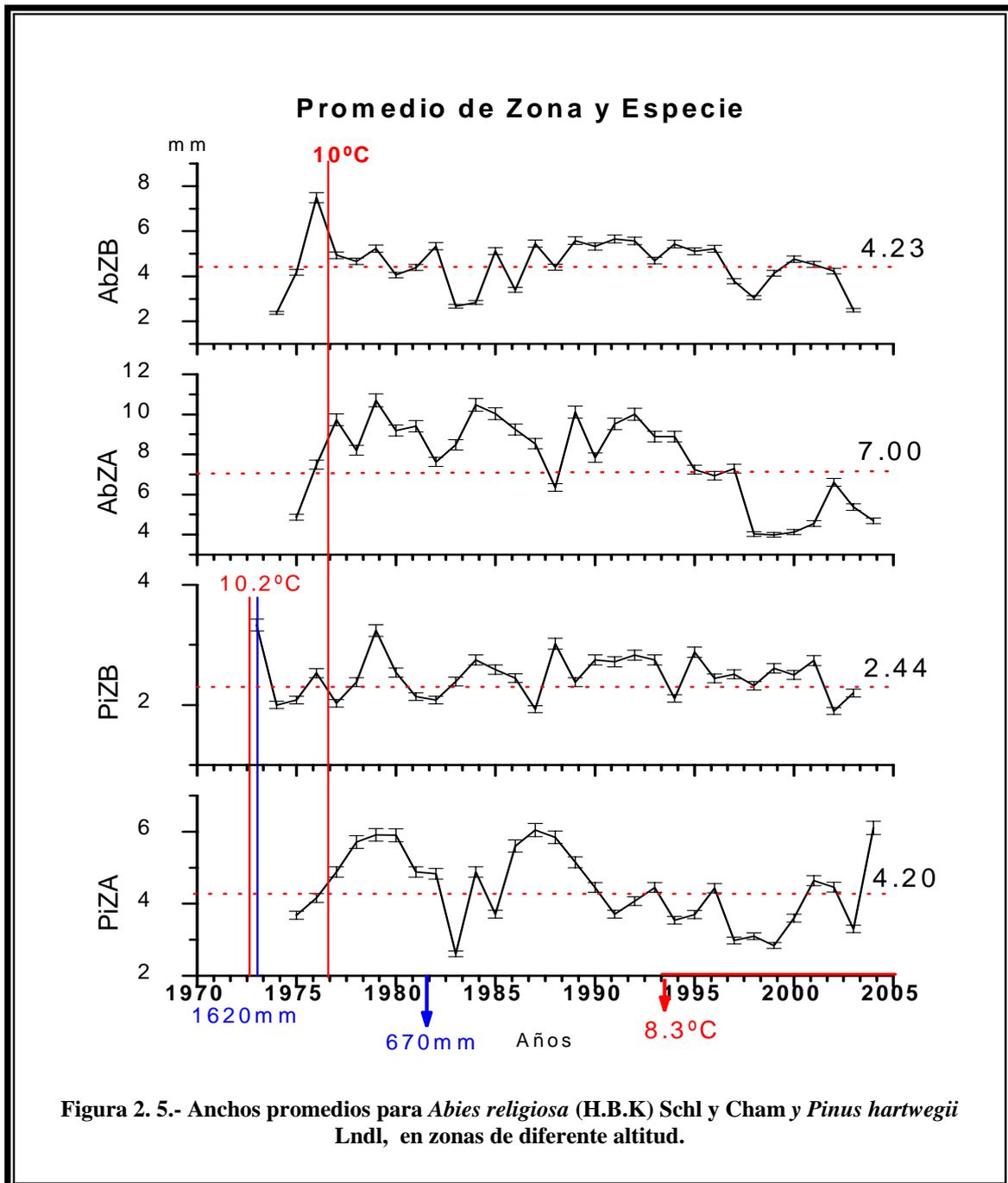


Al observar el comportamiento de las especies por sitio encontramos que los anchos de los anillos en las zonas altas son mayores en una proporción 2:1 para ambas especies, observando en las Figuras 2.4. A-B y C-D, lo que se corrobora con lo mencionado por Villalba el (2005) cual identifico mediante registros dendroclimatologicos que se presenta un mayor crecimiento en el anillos a medida que se encuentren en los limites superiores del bosque es decir a mayores altitudes, como es el caso de *Pinus hartwegii*, además de que la luz esta fuertemente relacionada con el crecimiento del árbol y la precipitación tiene el potencial de activar el desarrollo de los anillos de crecimiento.

Hernández (1984) encontró que la distribución altitudinal de las especies solo afecta la longitud de las acículas en *Pinus hartwegii*. Sin embargo en la Figura 2.4., se muestran que al incrementarse la altitud, la anchura de los anillos decrece.

En base a lo anterior se muestra gráficamente (Figura 2.5) la relación de los anchos y la especie, los máximos y mínimos valores de temperatura y precipitación.

Encontrando que a medida que aumenta la temperatura, los anchos de los anillos es mayor y lo mismo pasa con la precipitación, donde cabe decir que el crecimiento es mayor al aumentar esta ultima con respecto a la temperatura y su comportamiento es similar al decrecer los valores.

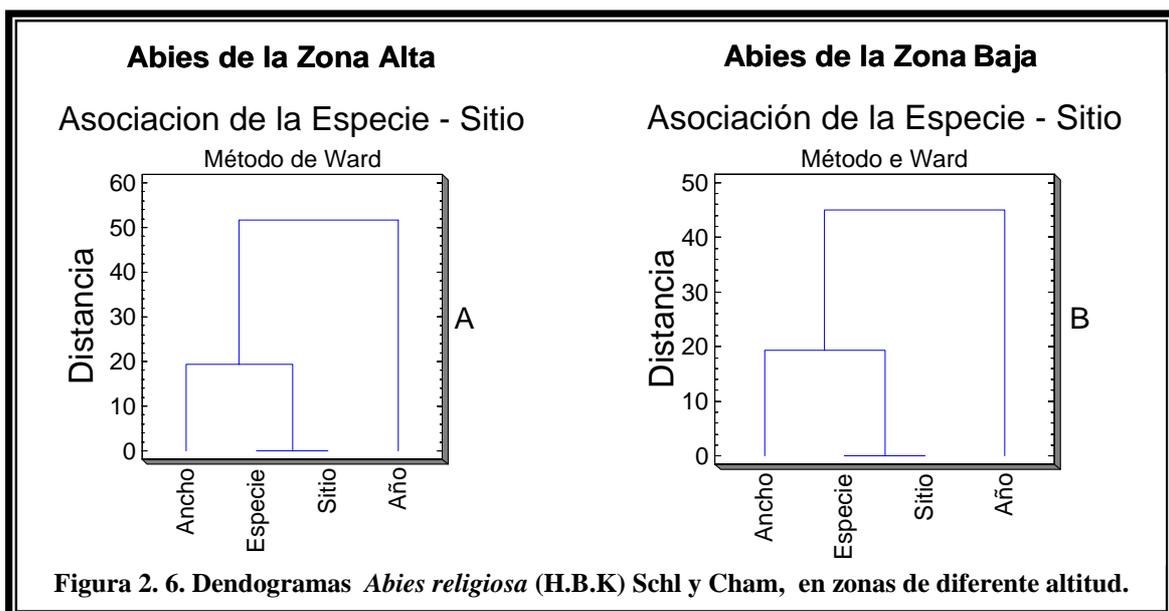


En cuanto a la comparación entre especies, *Abies religiosa* es la que alcanza los mayores anchos promedios a través del tiempo con 7.0 mm., y *Pinus hartwegii* 4.2 mm.

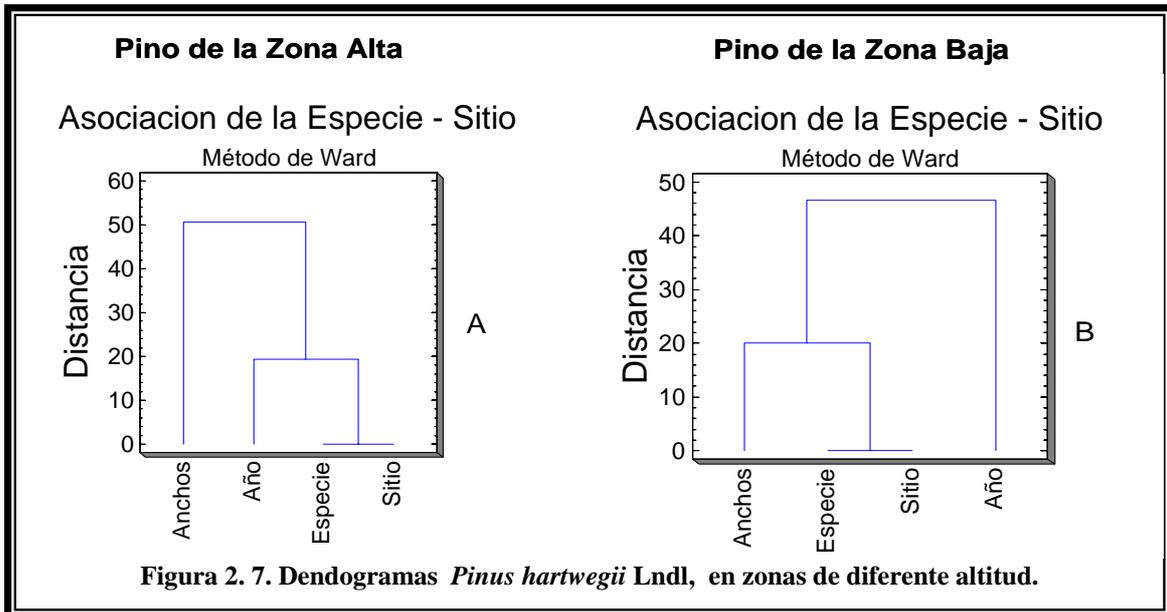
Abies religiosa es la especie que presenta más cambios con respecto a las fluctuaciones de precipitación la cual es mas marcada a los 3000 m.s.n.m., con

un máximo crecimiento en los anillos, es decir es la altitud clímax de esta especie. Por otro lado Musálem y Solís (2000) determinan que *Pinus hartwegii* es una especie que por habitar en zonas templadas específicas y de gran altitud alcanzan un menor crecimiento. En general existe una respuesta en el grosor del anillo y la cronología.

En los dendogramas A y B de la Figura 2.6., se observa la asociación entre el sitio y la especie, indicando una relación directa entre ambas variables, reflejada en los anchos de los anillos. Debido a que el sitio genera las condiciones microclimáticas que benefician a las variables antes mencionadas, como se observa en el siguiente análisis de cluster.



En *Pinus hartwegii* (Figura 2.7. A y B) la relación sitio-especie permanece en ambas zonas, sin embargo, cambia en el dendograma B es el cual muestran una



jerarquía primaria con los años, mientras que en los dendogramas anteriores la relación era inmediata con los anchos.

7.2. LOS ELEMENTOS EN “HARDWOOD” (DURAMEN) Y “SAPWOOD” (ALBURA)

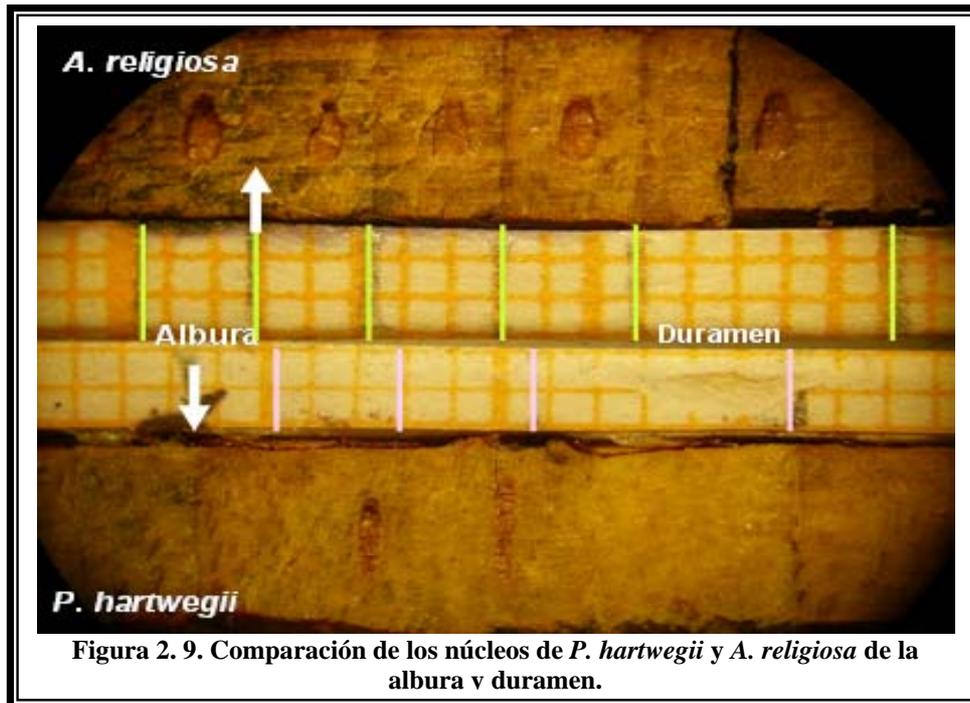
Giménez *et al.*, (2000) trabajó la relación albura-duramen, considerando al color para diferenciar dichas regiones, ya que las especies trabajadas presentan bien clara las diferentes pigmentaciones de dichas regiones.



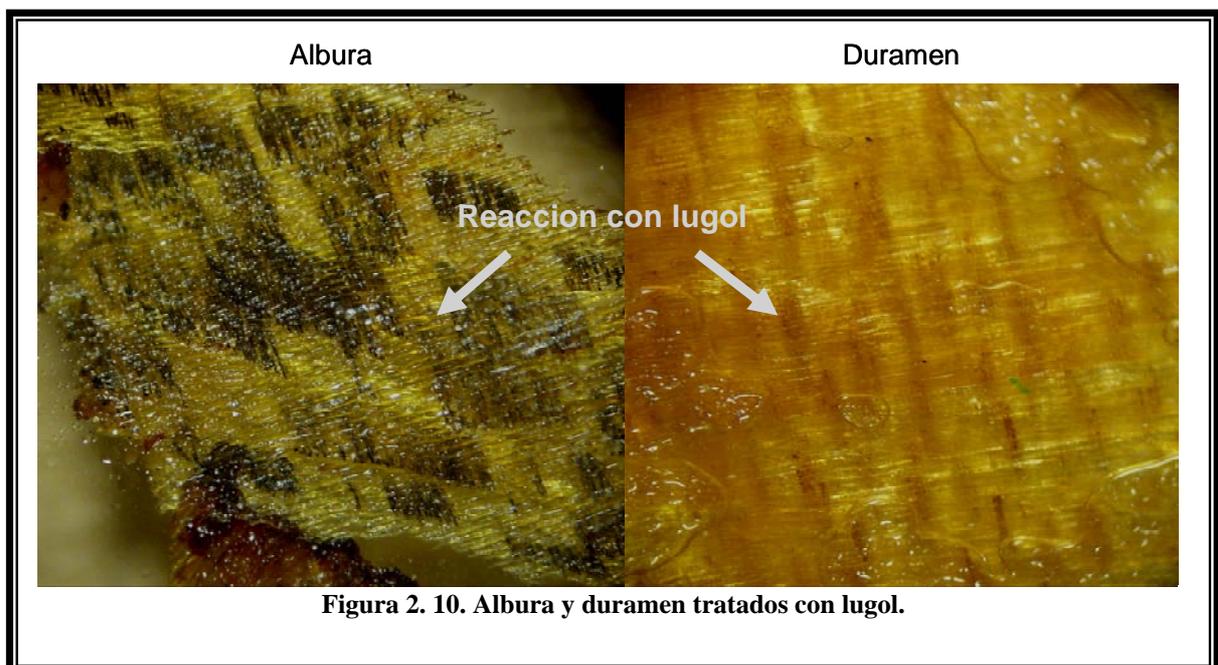
Figura 2. 8. Identificación de la albura y duramen mediante lugol en *Abies religiosa*, la línea separa las regiones del albura (izquierda) y duramen (derecha).

En las coníferas es complicado diferenciar a la albura del duramen mediante el color, debido a que la coloración es uniforme (Musálem y Solís, 2000). Algunos autores como Echenique (2001) no lo consideran adecuado. Por lo que se muestran en la Figuras 2.8., el resultado de la reacción química mediante lugol, la cual se utilizó para identificar las regiones de albura y duramen.

En la Figura 2.8., se puede observar como la solución de Lugol reacciona con los almidones desvaneciéndose a medida que se acerca al centro del núcleo, presentando una tinción de color rojo-negro. Debido a que gran parte de los almidones que están en el duramen se convierten en sustancias extraíbles. Por otra parte comparando las respuestas de la muestra a la técnica vemos claramente que la albura de *Abies religiosa* está más teñida que la albura de *Pinus hartwegii* (Figura 2.9). Indicándonos que la concentración de almidones es mayor para esta especie.



En la Figura 2.10., se muestran los cortes transversales de la madera tratadas con lugol, vistos en un estereoscopio Motic Digital DM143, apreciándose la pigmentación de los almidones.



Así como la proporción de anillos reaccionados con lugol para los núcleos de cada especie. En el Cuadro 2, se muestra un resumen de las mediciones de la albura y duramen de las muestras.

Cuadro 2. Promedios generales para la albura y duramen.

ZONA	ESPECIE	Edad (años)	Albura (años)	Duramen (años)	Ancho Total	Albura (cm)	Duramen (cm)
Alta	<i>P. hartwegii</i>	64	21	43	27.10	7.27	19.83
Baja	<i>P. hartwegii</i>	91	50	41	28.55	15.12	13.43
Alta	<i>A. religiosa</i>	38	11	27	25.94	6.77	19.17
Baja	<i>A. religiosa</i>	58	21	37	25.29	8.39	16.90

Al analizar los datos obtenidos, se encontró primeramente que hay cuatro grupos a estudiar que representan edades diferentes. Las especies de mayor edad son los Pinos en general encontrando que los de las zonas bajas tienen mayor edad de hasta 91 años. Para *Abies religiosa* los años por sitio son de 38 años para las zonas altas y 58 años en promedio para las zonas bajas.

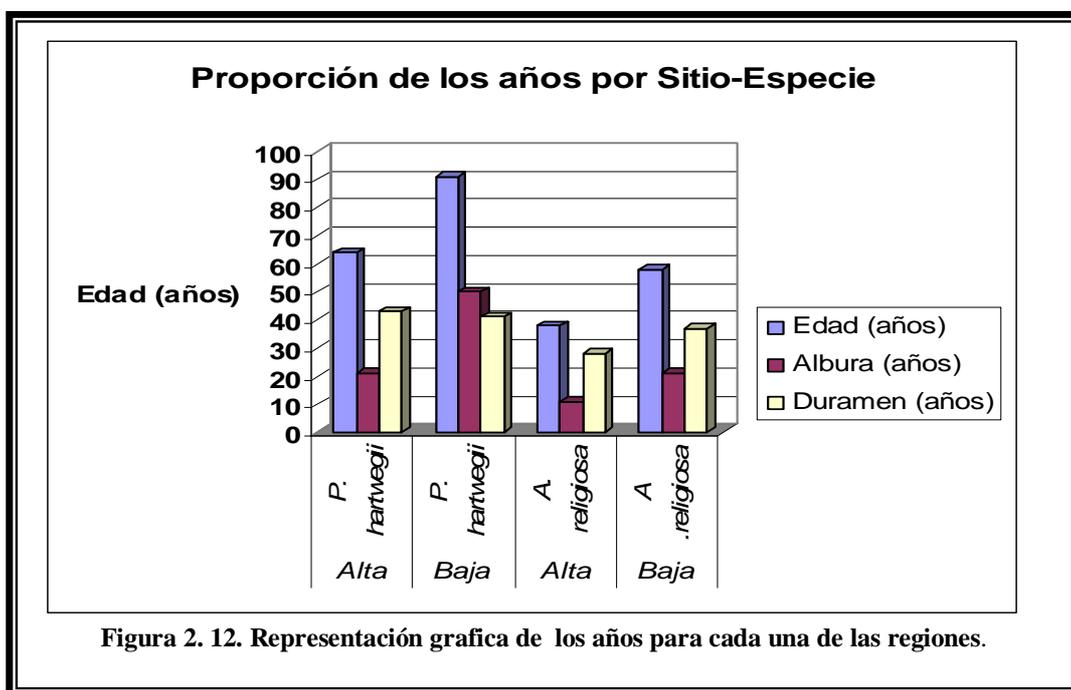
Tout autor de uno de los trabajos mas antiguos reportados en 1976, determinando el número de anillos por regiones en coníferas, encontró que la albura (*sapwood*) tenía una media geométrica de 20 anillos anuales y para el duramen (*heartwood*) 41 anillos.

En la Figura 2.11., encontramos que la albura en las zonas altas es menor de 11 a 21 años en ambas especies, mientras que el duramen es mayor con 21 a 50 años. Presentando *Abies religiosa* un menor número de anillos en la albura con respecto a *Pinus hartwegii*. La albura en las zonas altas es menor en ambas especies pero constante, mientras que el duramen presenta un grosor mayor.¹

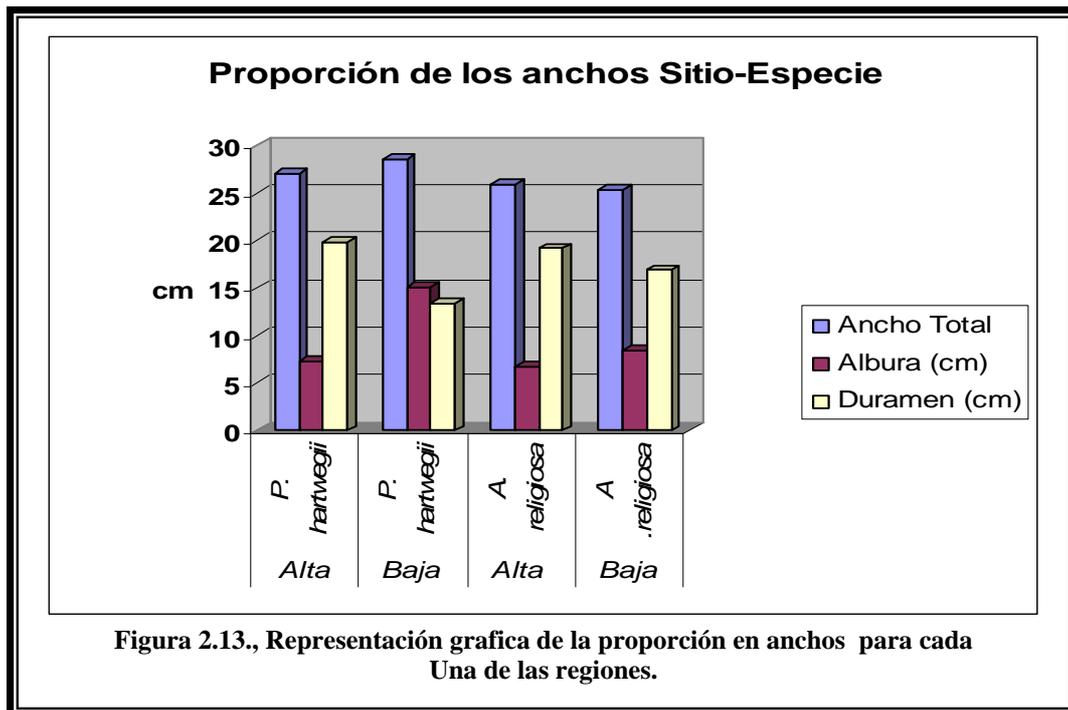
¹ No fue posible registrar con precisión el grosor total del duramen debido a la gran variabilidad en cada núcleo y por que no se llegó al centro.

La población de *Abies religiosa* muestra una menor edad con respecto a *Pinus hartwegii*. Gímenez (2000) encontró que el duramen se incrementa en función de la edad y el diámetro.

La región que abarca mayor proporción en el núcleo en la Figura 2.12., es la albura, y la proporción de esta es similar en las zonas altas con un máximo de 7.27 cm. En la zona baja la albura es mayor con un máximo de 15.12 cm para *Pinus hartwegii* y en *Abies religiosa* 8.39 cm.



En la Figura 2.13., pese a que midieron los anchos, éstos no son el valor total del núcleo debido a que el taladro solo extrae más menos 30 cm, y no se obtuvo el valor total del duramen.



Concluyendo de esta forma que en general *Abies religiosa* presenta una menor proporción de albura con respecto a *Pinus hartwegii*, aunque este presenta un menor número de anillos a lo largo del tramo colectado. Lo que se corrobora con lo reportado por Barajas, 2006 (com. Per.) En el trabajo *Abies religiosa* presento en promedio una albura pequeña 2cm y *Pinus hartwegii* de 5cm.

El análisis anterior manifiesta que la albura abarca proporciones diferentes en las especies, lo que complica el análisis elemental de dichas regiones, considerando que se tomo 30 anillos para dicho análisis abarcando la albura un rango de 11 a 51 anillos.

Tout (1977) reporta para tres sitios las siguientes concentraciones, de esta forma se obtiene una aproximación de la proporción de los elementos en albura y duramen.

Cuadro 2. 1. Composición elemental (ppm) para “sapwood” y “heartwood” en coníferas

Potasio		Calcio		Manganeso		Cobre	
Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood	Sapwood	heartwood	Sapwood	Heartwood
5083	8998	831	1271	2.2	1,5	3	2,4

3946	2651	524	1023	0.7	1	valor lim.	3,2
2418	valor lim.	1012	121	12	1,3	valor lim.	1,9

Sin embargo se esperaría que la albura contuviera una mayor concentración de elemento vinculados al crecimiento, sin embargo de estos cuatro elementos analizados, el manganeso es el que presenta una mayor concentración en la albura, Auque Pierre en el 2002, trabajó con las concentraciones de potasio y calcio, nutrimentos minerales en albura y duramen reportando que si existe una translocación de los componentes químicos de la albura al duramen y concluye que este comportamiento están en relación de la especie.

7.3. VARIACIÓN ELEMENTAL EN EL GRADIENTE DE ALTITUD

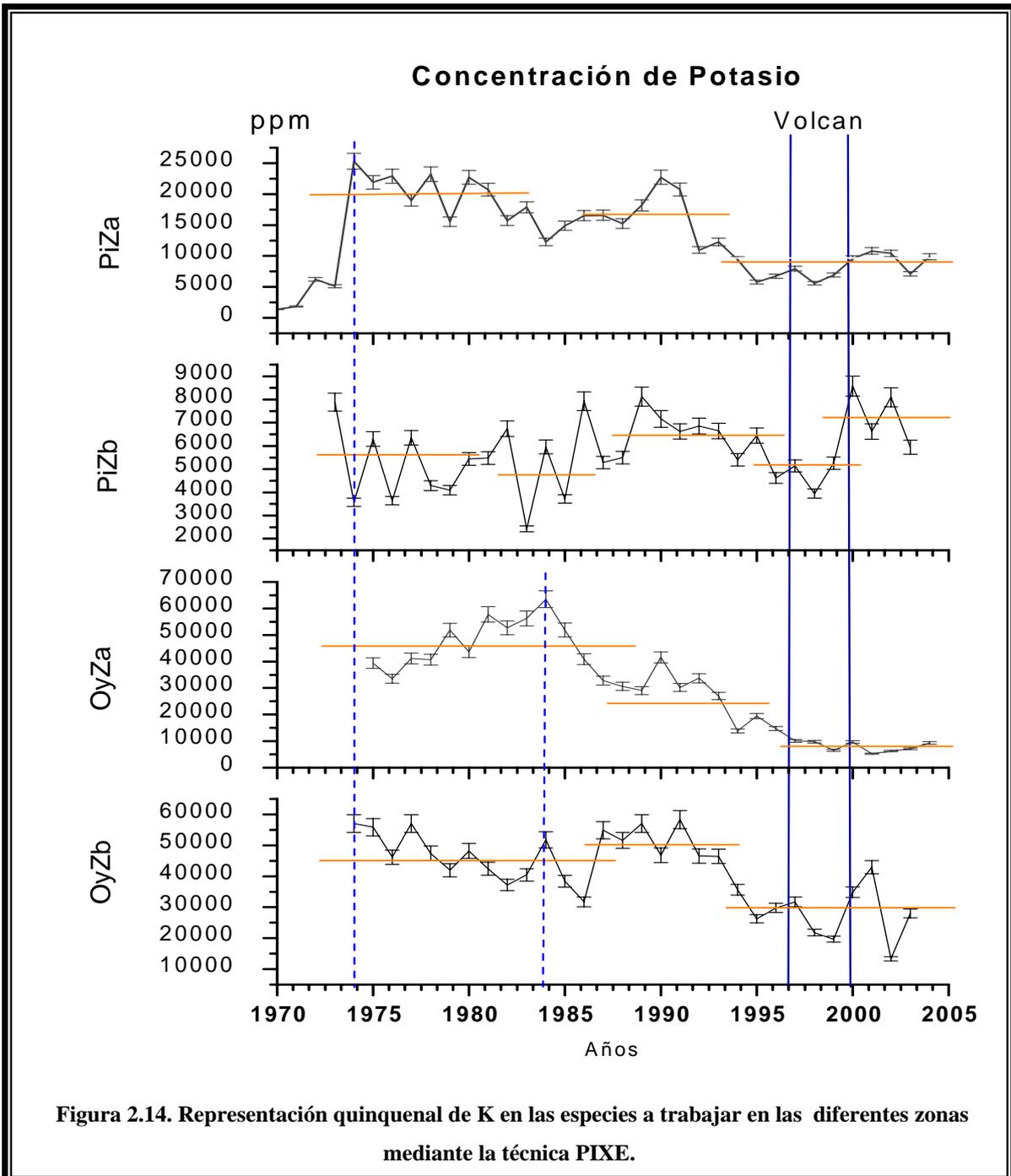
La variabilidad en el gradiente de altitud en Zoquiapan, hace referencia a las condiciones ecológicas como es su geomorfología, relieve, condiciones climáticas, y atmosféricas las cuales dan las características propias. El gradiente de altitud tal vez sea el parámetro más importante ya que implícitamente es el resultado de muchas interacciones, sin embargo en este estudio se abordara el fenómeno gradiente de altitud para discutir los resultados obtenidos en las concentraciones elementales.

Se sabe que los niveles más altos de K, Ca, Mg, Al y S aparecen en los sitios que presentan corrientes, provocadas por la lluvia afectando el lavado de los suelos. Es posible que con el tiempo los componentes fundamentales de estos suelos se agoten a tal grado que se presenten deficiencias de nutrimentos.

A continuación se explica la importancia y prioridad del potasio en el grosor del anillo.

7.3.1.- Potasio

Es un nutrimento esencial de la planta, es uno de los tres principales junto con el nitrógeno y el fósforo. Éste es absorbido del suelo por las plantas en forma iónica



(K⁺) y es vital para la fotosíntesis. Cuando existe deficiencia de K, la fotosíntesis se reduce y la respiración de la planta se incrementa, estas dos condiciones, reducen la acumulación de carbohidratos, con consecuencias adversas en el crecimiento y producción de carbohidratos de la planta.

Los valores encontrados en la muestra son (5808.39– 41369.85 ppm) altas según Reiman (1998), básicamente en los años 1974, 1984 y 2000 (Figura 2.14), analizando estos años encontramos que hubo emanaciones volcánicas del Iztapopocatépetl (Figura 2.14). Años en los cuales se observa una depresión en la concentración de este elemento, encontró que después de las actividades volcánicas los árboles afectados por este, se ve reducido el ancho de los anillos de los próximos cinco años, favoreciéndose posteriormente el grosor.

Correa (2005), reporta la concentración para los suelos de Zoquipan el periodo 1970-2000. Se presenta una máxima concentración de 0.93 mg/Kg en el quinquenio 1995-2000 y las mínimas de 1.5 mg/Kg en 1975-1980. En nuestros valores obtenidos es un difícil hablar de quinquenios ya que el potasio presenta un comportamiento de frecuencias similares en la primera y segunda década alcanzando las máximas concentraciones en los años 1975-1985 y las mínimas del 1997-2000.

Las concentraciones de potasio en los anillos de crecimiento a los 2900 m.s.n.m. están en un intervalo de 5808.39–41369.85 ppm. Estas pueden variar ya que al presentar una menor C.I.C. en los suelos se aumentara la lixiviación de este elemento, debido directamente a la acidez del suelo, aunado a las emisiones volcánicas. Los valores de potasio para *Pinus hartwegii* están por debajo del mínimo necesario estimado por Reiman (1998).

De acuerdo a Taiz y Zeiger (1991), los síntomas más comunes por deficiencia de K⁺ son una típica clorosis marginal e intervenal que inicia en hojas viejas, debido a que la movilidad del potasio es de las hojas maduras a las nuevas. No se presentan estos síntomas en las hojas de la parte inferior de las coníferas muestreadas de las zonas bajas

Sin embargo en este elemento se encontró que las concentraciones más altas se encuentran a los 3200 m.s.n.m. en un rango promedio de 13779.35 - 29355.09 ppm siendo las primeras para pino y la segunda para oyamel. Entrando en el rango propuesto por Reiman para potasio con valores mínimo de 10.600 y una máxima de 76.200 ppm mientras que Valkovic (1979) encontró para el potasio en *Quercus* para 1956-1861 una concentración de 1139±87 y para 1947-1965 una concentración de 1517±129 obtenidas mediante PIXE. Y Calva en el 2006 registro una concentración en *Pino montezumae* de 1600-3800 µg/g y *Abies religiosa* 7200-107000 µg/g mediante la misma técnica. Los datos obtenidos en este estudio se mantienen en el promedio por Reiman (1998) para potasio de 29,400mg/kg.

Biondi *et al.*, (2003) observo que las emisiones volcánicas repercuten en el grosor de los anillos aumentando las concentraciones de este elemento a través de vía seca años posteriores a la emanación. Debido en general a que las raíces de la planta hacen contacto con menos del 3% del suelo en el cual crecen. Por esta razón, el suelo debe estar bien abastecido de potasio para asegurar que las necesidades de la planta sean atendidas continuamente durante todo el ciclo de crecimiento.

Los primeros años para cualquier especie los valores de K son más altos, debido a su necesidad por crecer y abarcar un espacio.

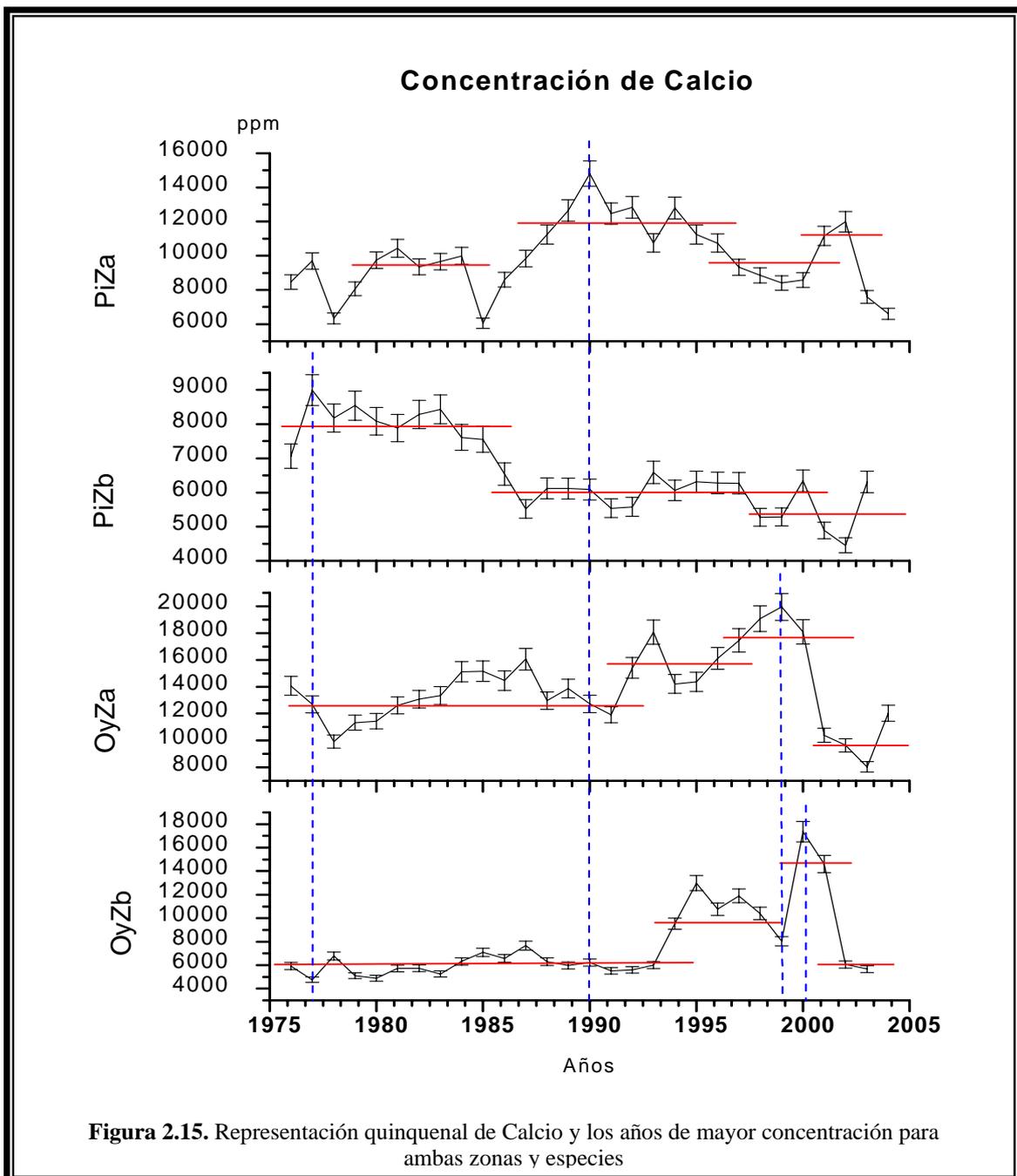
Se muestra una mayor concentración de potasio en los pinos de las zonas bajas el cual es absorbido en forma de Ion K^+ alcanzando una mayor concentración en el árbol debido al descenso de temperatura y que la distribución de los árboles en el bosque de pino, es más abierto en zonas altas quedando expuesto a mayor luz y mayor depósito de cenizas volcánicas.

Es vital para las coníferas mantener niveles adecuados de potasio en el suelo debido a que este nutrimento es un cation de transporte pasivo (Cruz 2006), excepto en suelos arenosos o en suelos orgánicos. A diferencia del N y algunos otros nutrimentos, el potasio tiende a mantenerse en el sitio donde se coloca cuando se fertiliza. Cuando el potasio se mueve, lo hace por medio del proceso denominado difusión, en desplazamientos lentos y de corto recorrido por las películas de agua que rodean las partículas del suelo. Las condiciones secas hacen que este movimiento sea más lento, pero niveles altos de potasio en el suelo aceleran su absorción.

Saavedra (2001) encontró que el contenido de potasio en los árboles de *Abies sp.* y *Pinus sp.* oscilaba de 0.55 a 1.58% y en los árboles sanos presentaron un promedio de 0.457% no difiriendo significativamente entre sí las especies. A pesar de que la mayoría de los suelos contienen gran cantidad de potasio a menudo más de 20000 kg/ha, solo una pequeña cantidad está disponible para la planta durante el ciclo de crecimiento, probablemente menos del 2%.

7.3.2.- CALCIO

El calcio es absorbido por las plantas en forma de cation Ca^{2+} . Una vez dentro de la planta presenta varias funciones. En comportamiento del calcio en las muestras presenta una tendencia creciente en los últimos años (Figura 2.15).



Las mayores concentraciones se presentan en las zonas altas para *Pinus hartwegii* con 9785.71 ppm y en *Abies religiosa* 13749.36 ppm y la especie con mayor calcio en los anillos es *Abies religiosa* presentando un exceso de calcio en esta zona de acuerdo a Reiman (1998) el cual reporta para calcio un valor máximo de 12000 mg/kg.

El comportamiento de la concentración de calcio en las especies de las zonas bajas para *Abies religiosa* es de 7601.06 ppm y en *Pinus hartwegii* 7073.56 ppm presentando un intervalo cercano entre los promedios, así también los resultados entran en el intervalo propuesto por Reiman (1998) mínimo de 1,300 y un máximo de 12,000 mg/kg.

Correa (2005) determinó calcio en *Abies religiosa* y registró 0.05 mg kg⁻¹ para el periodo 1995-2000 y la concentración mínima detectada fue 0.002 mg kg⁻¹ en el periodo 1975 -1990.

Watmough y Hutchinson (1999) registraron 0.060 y 1.4 mg Kg⁻¹ en un promedio de cinco años. Así la concentración en anillos para *Pinus montezumae* registro su mayor concentración en el periodo 1995-2000 con 61.8 mg Kg⁻¹. Y la menor concentración en 1975-1980 con 0.233 mg Kg⁻¹, muy por de bajo de nuestras muestras. Aunque es importante mencionar que fueron tomadas de la misma zona y procesadas por la misma técnica PIXE.

Valkovic (1979) encontró para el calcio en *Quercus* para 1956-1861 una concentración de 147±12 ppm y para 1947-1965 una concentración de 1013 ± 62 ppm, obtenidas mediante PIXE.

Así mismo Calva en el 2006 registro una concentración para pino de 5,000-6,450

$\mu\text{g/g}$ y en *Abies religiosa* 8,700-8,200 $\mu\text{g/g}$. Por lo que se observa que el oyamel es la especie que rebasa las concentraciones reportadas por Reiman (1998).

Por lo que atribuye que la deficiencia pudiera ser a la disponibilidad del calcio en el suelo, variando según la zona primeramente y la especie, esto ya que los requerimientos de calcio en estas coníferas no se modifican en gran manera. La cantidad de calcio es importante debido a que tiene una relación directa con la absorción de otros elementos.

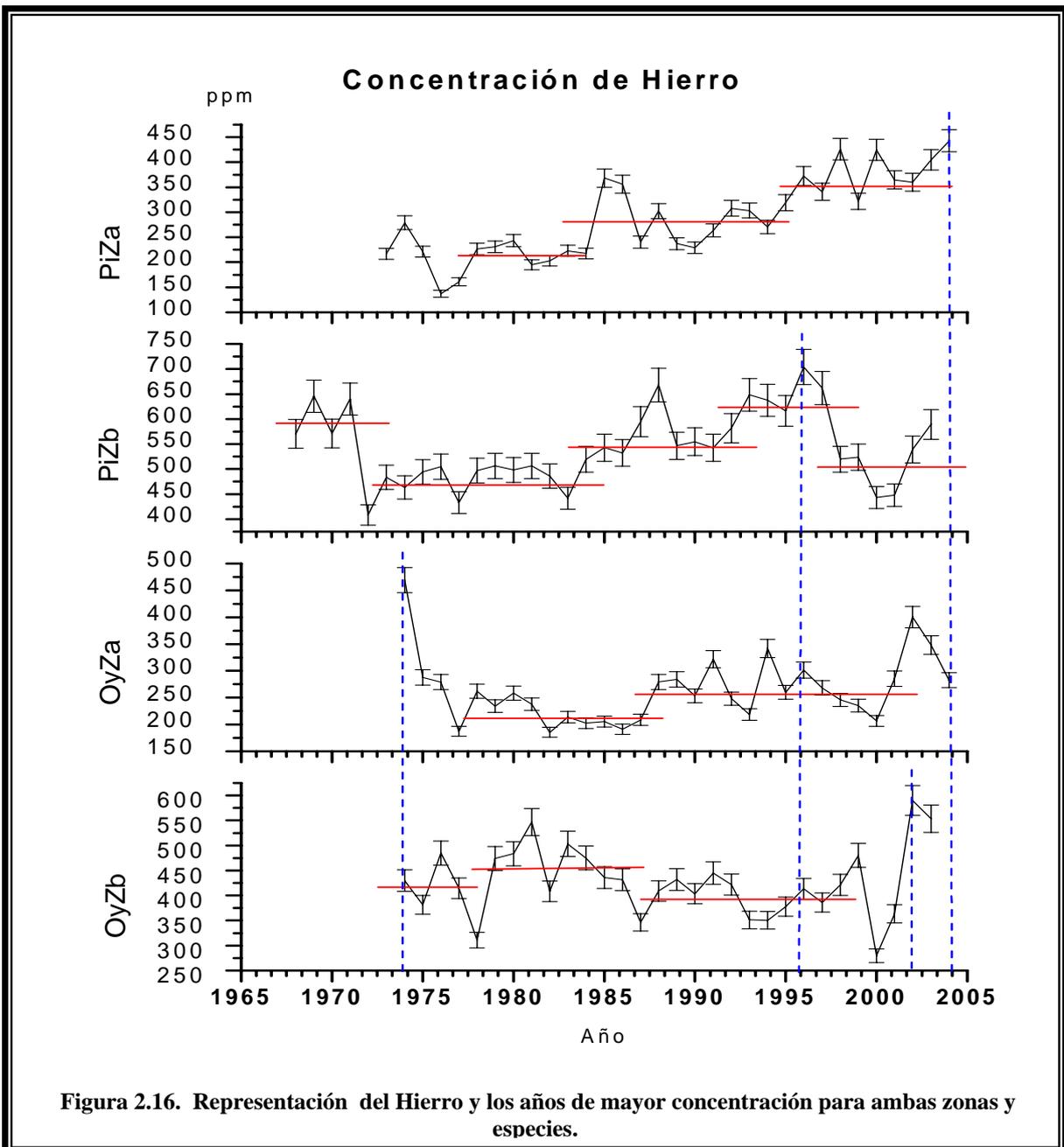
7.3.3.- HIERRO

El hierro es un metal que se absorbe en forma iónica o en sales orgánicas complejas. En la Figura 2.16., se observa que los años de mayor concentración para este elemento son 1974, 1996 y 2004, siendo el hierro el tercer elemento de mayor a menor concentración. López en 1993 encontró que el orden de requerimiento de nutrimentos para *Abies religiosa* es el siguiente:

$\text{K} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{P} > \text{Zn} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S}$

Y para *Pinus hartwegii* no se tiene registros del orden de requerimiento, el hierro es un nutrimento que presenta antagonismo con el Ca, K, y Zn, Cu y Mn. De ahí la diferencia en el comportamiento en las diferentes zonas. Sin embargo Correa en el 2005 reporto que en los suelos de Zoquiapan las máximas concentraciones de Fe se encuentran en el quinquenio 1995-2000 con 315.ug g⁻¹ y las mínimas en 1994 con 0.794ug g⁻¹. Mientras que Reiman (1998) menciona que la viabilidad del elemento para el crecimiento de la planta con 3200mg Kg⁻¹ y mínimo de 22mg

Kg-1 y en nuestros resultados obtenidos los quinquenios de mayor concentración fueron 1980-1985 y 1990-1995.



Fenn en el 2006 encontró que en los suelos de Zoquiapan para estas dos especies donde el pH (5.84-5.93) del suelo es más ácido, la diferencia en el pH del suelo son significativas por lo que se puede inferir que el hierro sea más disponible y absorbido por *Pinus hartwegii*.

Los resultados obtenidos encuentran que las especies localizadas en las zonas bajas presentan mayores concentraciones en un intervalo de 426.82-543.46 ppm y las zonas altas con 264.62-287.76 ppm siendo pino los de mayor concentración, corroborando los resultados de Fenn (1998). Sin embargo se encuentran por debajo de los valores reportados por Reiman (1998) con mínimo de 3200 y un máximo 35300 mg/kg.

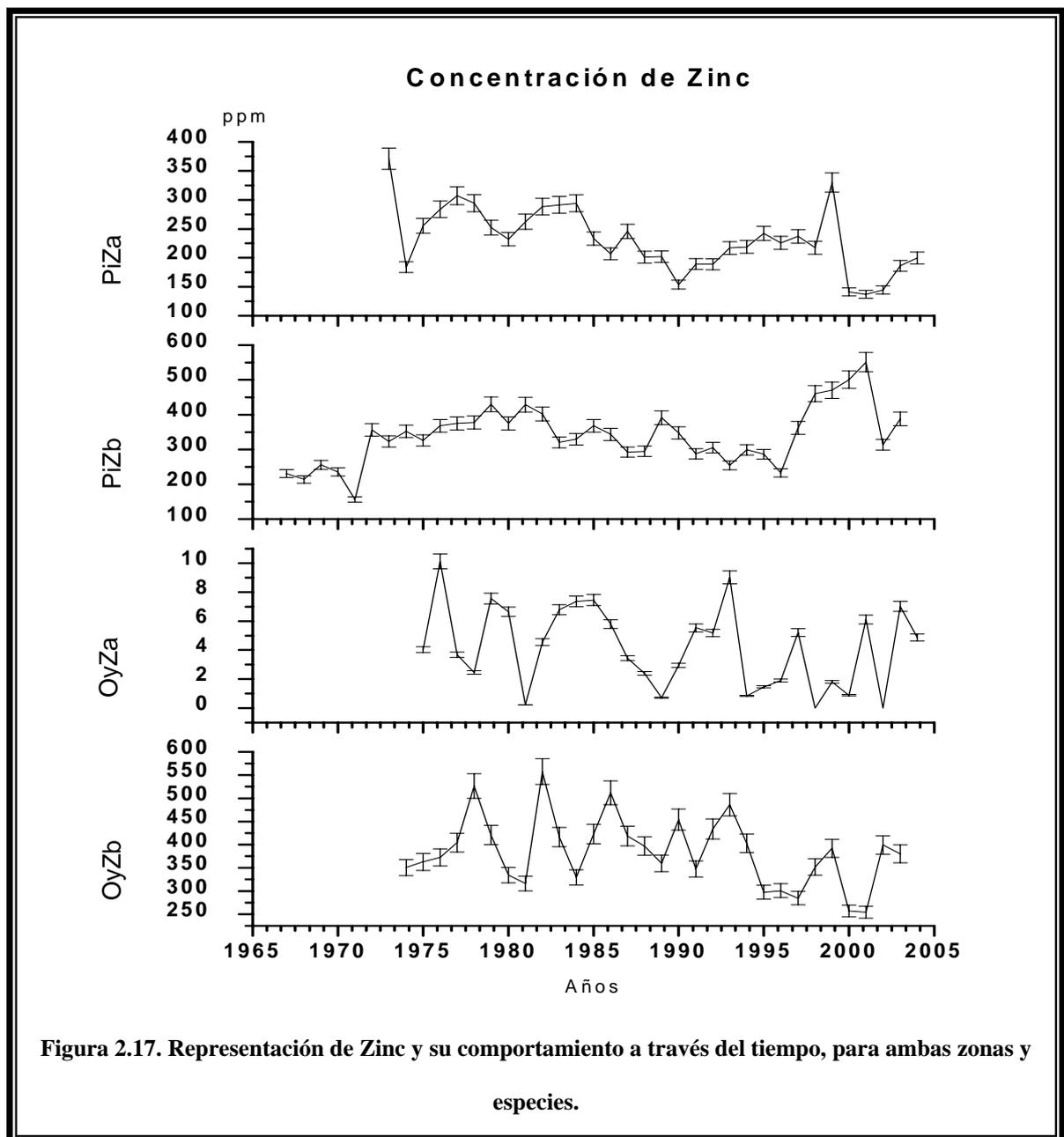
Probablemente las bajas concentraciones se deban a un problema de antagonismo del metal ya que dentro del árbol hay una translocación del elemento pero se cuantifica el elemento de manera total. Este elemento dentro del árbol ayuda a la planta a resistir los ataques de enfermedades y mejora la resistencia de la planta a las heladas. Siendo estas últimas de mayor importancia para en la discusión del estudio.

Valkovic (1979) encontró para hierro en *Quercus* una concentración de 2.9 ± 0.2 para 1956-1861 y para 1947-1965 una concentración de 4.4 ± 0.3 ., obtenidas mediante PIXE (No se reportan las unidades de concentración). Así con esta misma técnica Calva en el 2006 registro una concentración para Pino de 300-215 $\mu\text{g/g}$ y en Abies 330-320 $\mu\text{g/g}$, en los anillos de primavera y verano, valores cercanos a los obtenidos en esta investigación.

7.3.4.- ZINC

En el caso del zinc se observa un comportamiento cíclico, aunque discontinuo, es importante mencionar que tiene el función de activador de enzimas, lo cual se puede apegar a su comportamiento biológico en el caso de *Pinus hartwegii* su

ciclo semillero es cada 6 años (Musálem y Solís 2000), en el cual dentro de su ciclicidad, hay descensos de seis y cuatro años.



La especie que presenta mayor cantidad de Zinc, es *Pinus hartwegii* presentando las concentraciones mas altas en la zona bajas de los 2900 m.s.n.m en un intervalo de 343.71-384.80 ppm. y a los 3200 un intervalo de 4.20-232.21 ppm siendo pino el que tiene las mas altas concentraciones

Y Oyamel un comportamiento muy dispar en cuanto a sus concentraciones ver Figura 1.18. Este comportamiento en la concentración del zinc para oyamel podría ser resultado de la producción de conos y semillas, solo se producirán en ambientes nutridos y que las condiciones climáticas lo permitan.

Alvarado en 1991 muestreo los suelos en donde se encontraba *Abies religiosa* del Valle de México encontrando deficiencia de manganeso y zinc. Debido a que el Zinc es menos disponible a medida que sube el pH del suelo, es decir en suelos alcalinos.

Los suelos con pH cercano a la neutralidad o alcalino, simplemente aumentan la probabilidad de deficiencia. La concentración de Zinc en el suelo se reduce 30 veces por cada unidad de incremento en pH entre 5.0 y 7.0. El Zinc es adsorbido por los coloides del suelo. Esto ayuda a que este nutriente no se pierda por lixiviación y se mantenga en la zona radicular

Las deficiencias de Zinc ocurren temprano en el ciclo de crecimiento, en suelos fríos y húmedos de zonas templadas. En estas condiciones el crecimiento radicular es lento y las raíces no pueden absorber suficiente cantidad de Zinc para satisfacer las necesidades de la planta. En ocasiones las plantas parecen superar esta deficiencia, pero los rendimientos podrían ya haber sido afectados significativamente.

Los anillos trabajados por Correa reporta la máxima concentración elemental de *Abies religiosa* para el quinquenio de 1970-1975 con 98.2ug g⁻¹ y una mínima en el quinquenio de 1980-1985 con 2.6ug g⁻¹ y en Pinus las máximas se reportan

para el periodo de 1975-1980 con 233.3ug g⁻¹ y una mínima en el quinquenio de 1999 - 1995 con 54ug g⁻¹.

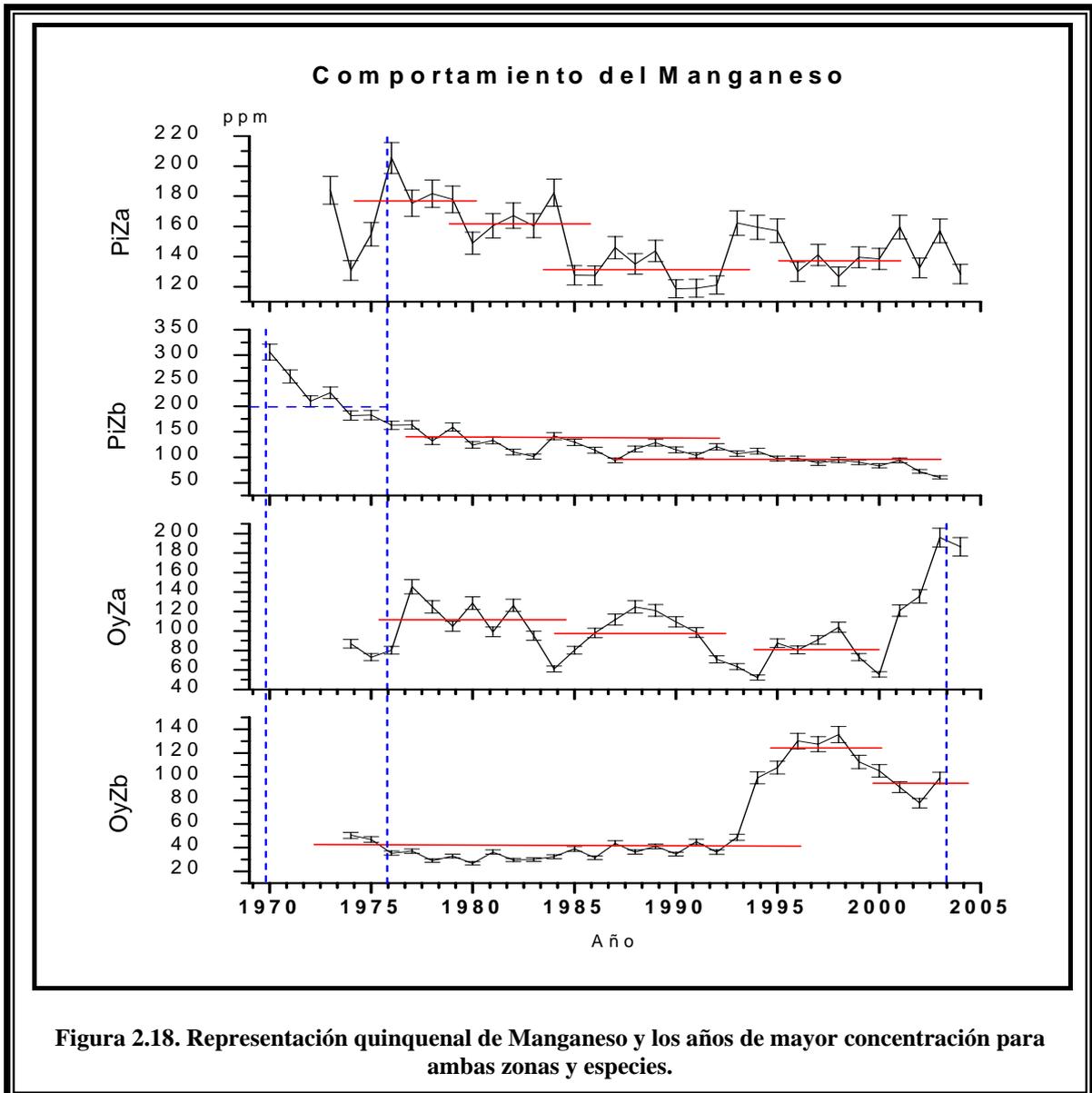
Siendo *Abies religiosa* de las zonas altas las que alcanzan los mínimos valores de 4.20 ppm en comparación con los reportados por Reiman (1998) para zinc un valor mínimo de 290 mg/kg y un máximo de 5800 mg/kg.

Calva en el 2006 registro una concentración para Pino de 600-280µg/g y en *Abies* 230-170µg/g, valores por debajo de los reportados en esta investigación.

Por otro lado el Zinc tiene excelente efecto residual y aplicaciones altas pueden ser suficientes por 3 o 4 años. Comportamiento necesario para la aportación de este elemento en su ciclo semillero, que se efectúa cada seis años, de ahí el comportamiento del zinc en la Figura 1.17.

7.3.5.- MANGANESO

Es absorbido por raíces en forma de ion manganeso Mn⁺² la forma divalente del manganeso es la más importante en la solución del suelo y es por lo tanto la más importante desde el punto de vista nutrimental; sin embargo, esta forma es muy móvil en el suelo y es fácilmente lixiviado a través del tiempo (Figura 2.18), especialmente en suelos ácidos, como se observa en los estudios a los suelos muestreados por Fenn (1998), en las plantaciones de *Pinus hartwegii* en Zoquiapan.



De esta misma manera Alvarado (1989), trabajo en el análisis nutrimental de *Abies religiosa* y encontró en sus hojas deficiencia de manganeso en varias especies vegetales. Concluyendo que la absorción de manganeso es regulada por la concentración del mismo en el suelo, lo cual se ha interpretado como un mecanismo de las plantas para mantener el balance iónico.

En los resultados obtenidos para ambas zonas, los años de mayor concentración son 1970, 1976 y 2004. Sin embargo la especie que presenta mayor concentración es el *Pinus hartwegii* 132.71 ppm-150.01 ppm Y su comportamiento es gradualmente depresivo y en *Abies religiosa* aunque presenta concentraciones mas pequeñas 60.92 ppm-102.76 ppm su comportamiento es creciente a través del tiempo.

Los valores obtenidos en el trabajo están por debajo de los reportados por Reiman (1998) cuyo intervalo es de 1641 a 10137 mg/kg, lo que indica un déficit nutrimental de este elemento.

El déficit nutrimental del los suelos de Zoquiapan, trabajados por Correa se encontró las máximas concentraciones en el quinquenio de 1970-1975 con una variación de 39.2 a 98.2 ug g⁻¹ y las mínimas concentraciones en los quinquenios de 1980-1985 y 1990-1995 con un intervalo de 1.0 a 2.6 ug g⁻¹. Y en los anillos encontró que para *Abies religiosa* en 1995-2000 con 258.7 ug g⁻¹ y los años consecutivos oscila en el intervalo de ND-79 ug-g⁻¹

Y en 1980-1985 se reporta una concentración de 15.6ug g⁻¹ y en los siguientes periodos se reporta una concentración de 0-8.6ug g⁻¹ debido a que presentan ligeras mesetas. Mientras que para pino la concentración mínima se presenta en el quinquenio 1980-1985 y para 1995-2000 se registro un máximo de 107.3 ug g⁻¹.

La deficiencia de este elemento al no ser translocado en la planta presenta síntomas de deficiencia, afectando primero las hojas jóvenes con un amarillamiento entre las venas, en algunas ocasiones aparecen una serie de

puntos de color café oscuros característicos, no presentes en las ramas del fuste de los árboles muestreados. Las deficiencias de manganeso ocurren con más frecuencia en suelos con alto contenido de materia orgánica y en suelos con pH neutro a alcalino y nuestros árboles de colecta se encuentran en suelos ácidos aunque con gran cantidad de materia orgánica según Correa (2005).

Valkovic (1979) encontró para manganeso en *Quercus sp* para 1956-1861 una concentración de 3.17 ± 0.22 y para 1947-1965 una concentración de 7.79 ± 0.44 . No reporta unidades en el artículo y el estudio más reciente Calva en el 2006 registro una concentración de para Pino $125-50 \mu\text{g/g}$ y para Abies $200-150 \mu\text{g/g}$. Entrando nuestros resultados en el intervalo de estos últimos estudios.

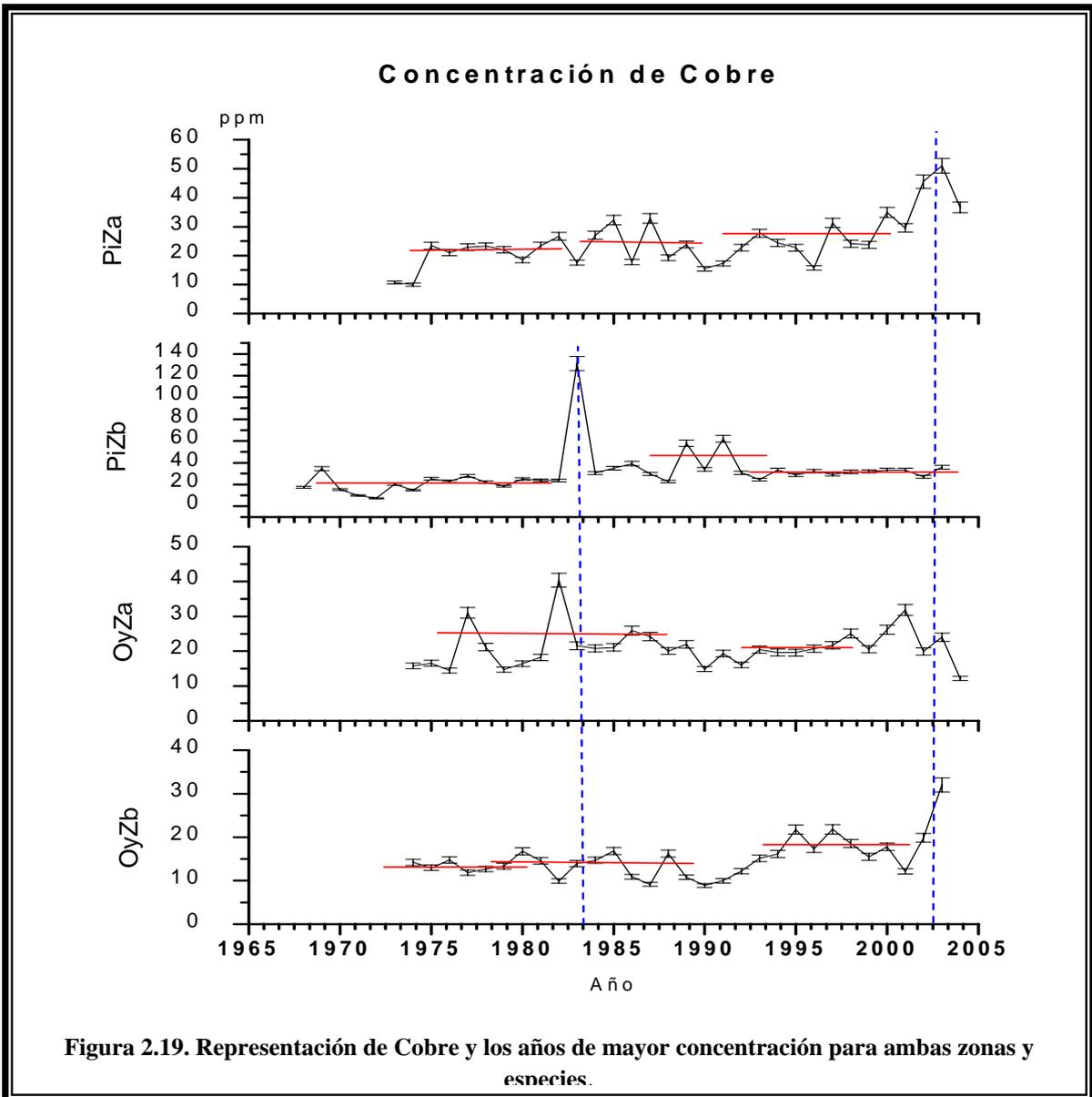
Lo que podría estar pasando es que la concentración de manganeso en suelo es menor a la obtenida en los anillos, por las condiciones de pH y materia orgánica en el suelo lo que provocó una menor C.I.C. con respecto a las cantidades necesarias reportadas por Reiman (1998). Perdiéndose paulatinamente por lavado.

7.3.6.- COBRE

El cobre es un elemento que encontramos en forma de ion cuprico Cu^{+2} , está relacionado con la reacción de la luz y la formación de clorofila, cataliza varias otras reacciones en las plantas. El cobre tiene en general un comportamiento creciente (Figura 2.19).

En el comportamiento cronológico del cobre, los años en los que se encuentran las máximas concentraciones de este elemento son 1983 y 2003 para ambas

especies; para *Pinus hartwegii* las mayores concentraciones están en un intervalo de 24.89 - 31.21 ppm mientras que para *Abies religiosa* va de 15.09 a 21.16 ppm.



Reiman (1998) reporta para cobre un valor mínimo de 27 mg/kg y un máximo de 701 mg/kg. Los valores registrados en los núcleos de *Abies religiosa* presentan un intervalo mínimo de 15.09-21.16ppm y *Pinus hartwegii* de la zona baja esta por arriba del valor mínimo con 31.21 ppm.

Los valores de *Abies religiosa* están por debajo de los valores indicados necesarios por Reiman (1998), sin embargo no presenta síntomas comunes de

deficiencia de cobre tales como la pérdida de turgencia de las hojas, un color azul-verdoso antes de tornarse cloróticas y enrollarse.

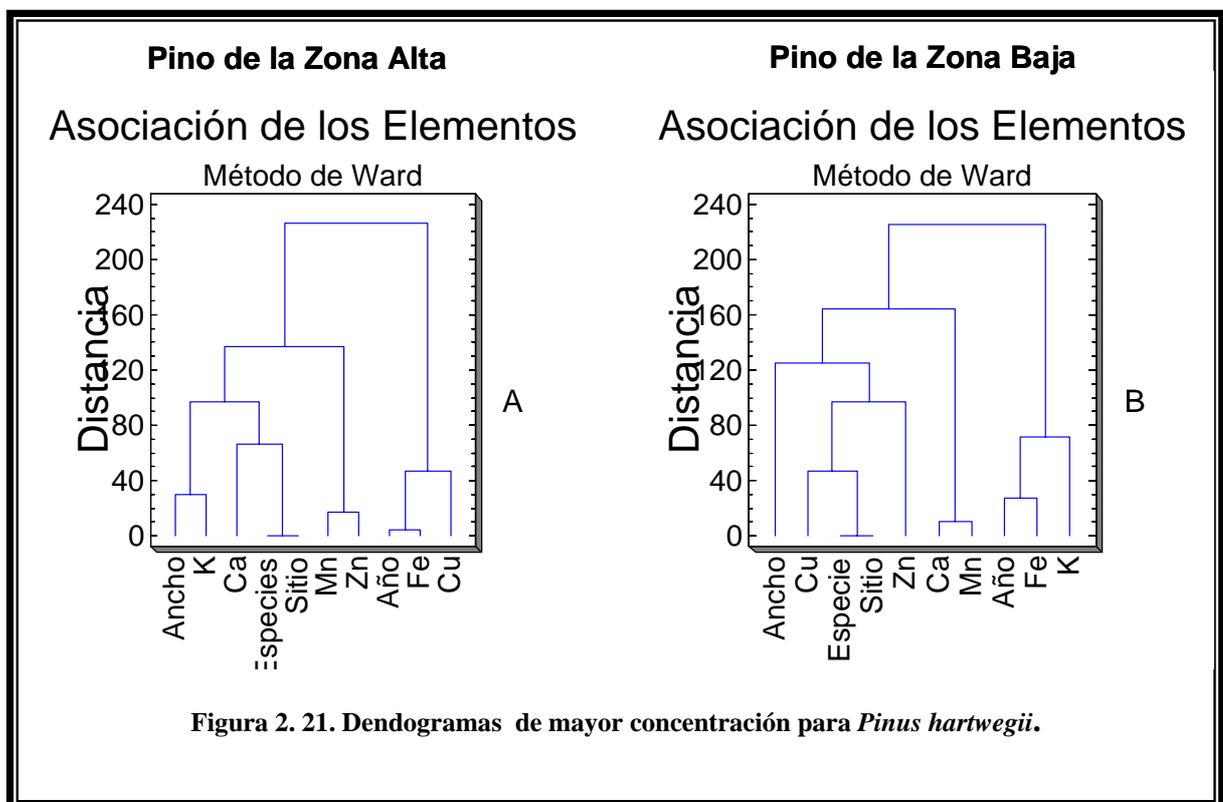
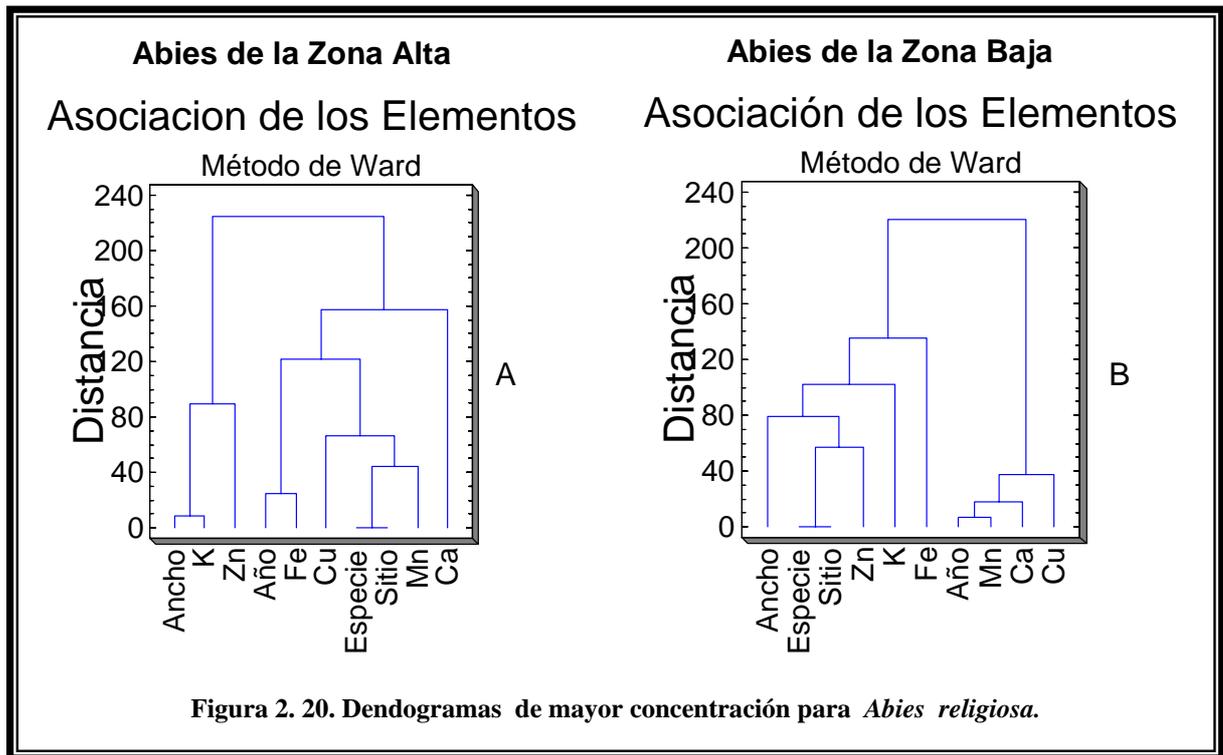
El tipo de suelo influye en la disponibilidad del cobre ya que los suelos orgánicos son más propensos a ser deficientes en cobre. Estos suelos generalmente contienen niveles adecuados de cobre, pero lo retienen tan fuertemente que solo una pequeña cantidad es disponible para el árbol. Los suelos arenosos son bajos en materia orgánica y también pueden llegar a ser deficientes en cobre, debido a pérdidas por lixiviación. Los suelos pesados (arcillosos) son los que tienen menos probabilidad de desarrollar deficiencias de cobre. Otros metales en el suelo como: Fe, Mn, Al disminuye la disponibilidad de Cu para la planta. Este efecto es independiente de los tipos de suelo.

Correa (2005) en su estudio con pinos reportó una concentración elemental de 723.2 ug g⁻¹ para 1970-1975 siendo esta las máximas y las mínimas en el periodo de 1985-1990 con 17.4 ug g⁻¹. Mientras que para *Abies religiosa* los máximos se obtuvieron en 1970-1975 con 723.2 ug g⁻¹ y la mínima en el quinquenio de 1985-1990 con 53.55 ug g⁻¹.

Valkovic (1979) encontró para cobre en *Quercus sp* una concentración de 1.46±0.10 para los años 1956-1861 y para 1947-1965 una concentración de 1.47±0.08, obtenidas mediante PIXE

Calva en el 2006 registró una concentración para Pino de 15-25 µg/g y en *Abies* 10-20µg/g., En contraste con los obtenidos por Reiman (1998), pero al comparar los datos analizados por Correa (2005) se reportaron por arriba de los valores obtenidos en *Abies religiosa*. Y para *Pinus hartwegii* no se tienen registros anteriores.

7.3.7.- COMPARACIÓN DE LA ASOCIACION DE LOS ELEMENTOS VINCULADOS AL CRECIMIENTO EN EL GRADIENTE ALTIDUDINAL.



En los ambos dendogramas se muestran dos agrupaciones; En la primera agrupación del dendograma A Figura 2.20., existe ancho - calcio sumado el

cobre en la segunda jerarquización, reflejando la importancia de estos elementos en el desarrollo de los anchos para *Abies religiosa* de la zona alta, mientras que en el dendograma B la asociación de los anchos está de manera independiente agrupándose con especie – sitio más zinc y posteriormente el potasio de manera independiente como se observa en la Figura 2.20.

En la segunda agrupación la primera jerarquización para el dendograma A es sitio – especie más manganeso seguido por el cobre, y de manera independiente en la siguiente jerarquización se integra el año más hierro y por último el calcio. Siendo muy diferente de la segunda agrupación del dendograma B Figura 2.20., en el cual el año se va integrando al manganeso + calcio + cobre siendo estos elementos de índole metálico.

En *Pinus hartwegii* tanto para el dendograma A como para el B de la Figura 1.21., muestra dos agrupaciones primarias en las cuales la que se muestra similar para ambas zonas es la asociación entre los años y el hierro.

Para el dendograma A de la Figura 2.21., la asociación más representativa es la del potasio con la variable ancho, posteriormente en esta zona el elemento de mayor importancia es el calcio para el sitio-especie, que el resto de los elementos. Como otro grupo independiente encontramos la relación entre el manganeso y el zinc los cuales posteriormente se agrupan a la (ancho más potasio) y (calcio más especie con sitio).

En el dendograma B de la Figura 2.21., es más importante la asociación entre el cobre con sitio-especie, sumada posteriormente al zinc, que con el ancho.

Además de que la asociación entre el manganeso cambia con el calcio y el potasio es enviado al último grupo (año más hierro) como asociación secundaria.

Es debido a que la temperatura baja del suelo, hace que la descomposición de la materia orgánica sea lenta. Esto reduce la liberación de nitrógeno, azufre y otros nutrientes al suelo. Son menos solubles en suelos fríos, lo que incrementa el potencial de deficiencias. El fósforo y el potasio se difunden más lentamente en suelos fríos. La actividad radicular se reduce (Pérez 2005).

Las condiciones ácidas del suelo reducen la disponibilidad de Ca y K incrementan la disponibilidad de Fe, Mn, Cu y Zn. El pH del suelo no afecta la disponibilidad del Cl el N es más disponible en un pH de 6.0 a 7.0.

Las condiciones de suelo seco promueven la presencia de deficiencias de B, Cu y K. Esta es la razón por la cual los cultivos responden muy bien a la aplicación de estos nutrientes en períodos secos. La falta de agua en el suelo hace más lenta la absorción de los nutrientes por las raíces.

Para la absorción elemental, el pH en este caso, la acidez de los suelos se traduce a cambios en la composición de los elementos, produciéndose la lixiviación de los elementos en torno al gradiente. El deslave de componentes fácilmente solubles (Ca, Cd, Ni, Mn, Pb, Hg) en ácido se vuelve a depositar en el follaje, en los troncos de los árboles, y de las capas superiores del suelo, o bien, se deslavan hacia la cuenca colectora o las aguas subterráneas.

En la Figura 2.22., se observa el comportamiento a través del tiempo, de todos los elementos en las distintas zonas de estudio.

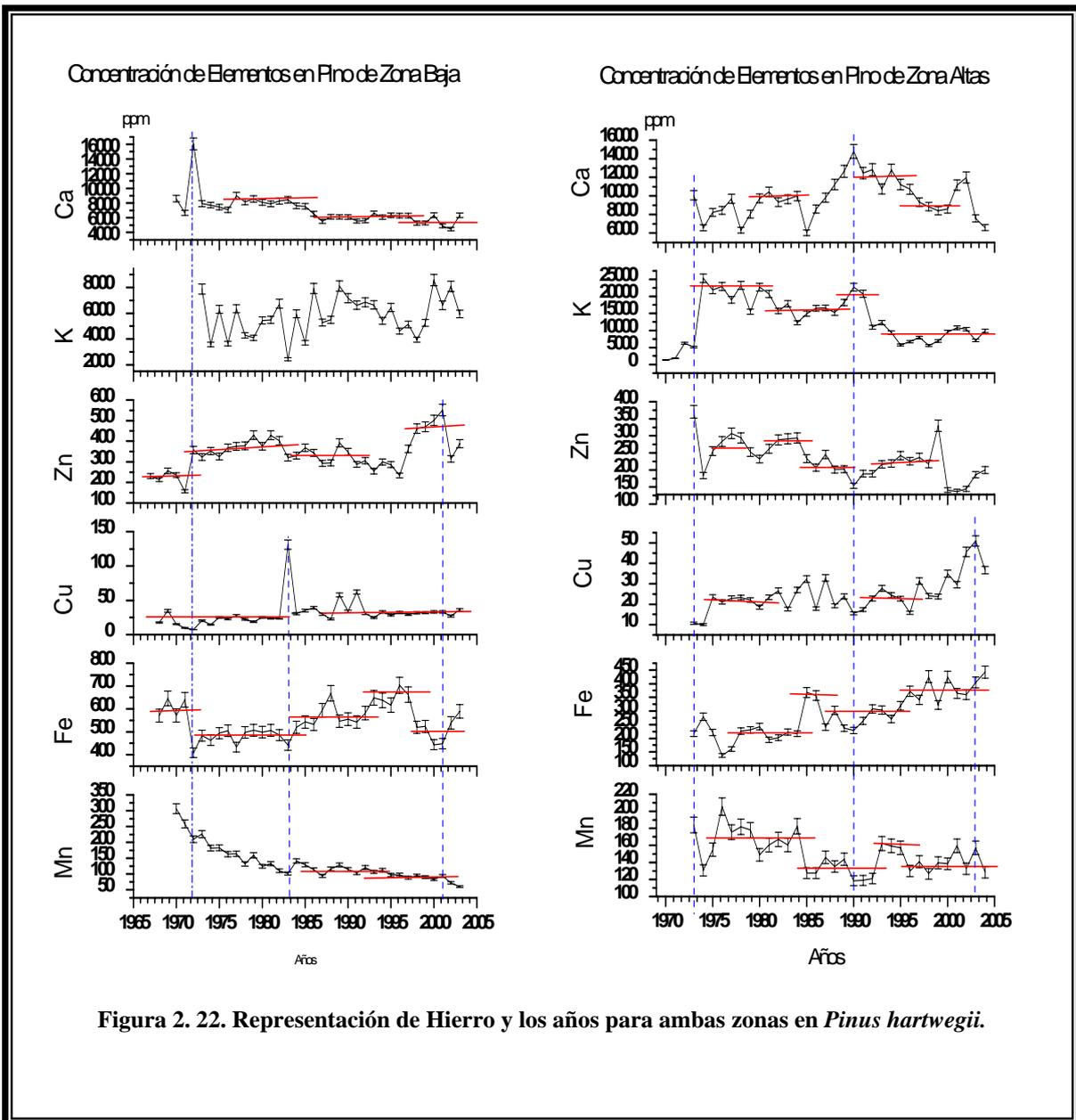


Figura 2. 22. Representación de Hierro y los años para ambas zonas en *Pinus hartwegii*.

En *Abies religiosa* el orden elemental de manera decreciente se presento de la siguiente manera

K>Ca>Zn>Fe>Mn>Cu----- OyZb (Oyamel zona baja)

$K > Ca > Fe > Mn > Cu > \underline{Zn}$ ----- OyiZa (Oyamel zona alta)

El orden de los elementos de manera decreciente en *Pinus hartwegii* es la siguiente:

$\underline{K > Ca > Fe > Zn > Mn > Cu}$ ----- PiZa (Pino zona alta)

$\underline{Ca > K > Fe > Zn > Mn > Cu}$ ----- PiZb (Pino zona baja)

Observando en la investigación que la concentración elemental en las muestras procesadas en *Abies religiosa* están primeramente con potasio como el elemento de máximas concentraciones seguido por calcio. Los demás elementos se rolan de lugar con el más cercano, siendo el zinc el elemento que género un mayor cambio en la concentración por zona pasando del tercer lugar en concentración hasta el sexto.

En *Pinus hartwegii* el comportamiento elemental esta dividido entre potasio y calcio siendo esto los elementos de máxima concentración en zonas de diferente gradiente de altitud, los elementos posteriores son hierro, zinc, manganeso y cobre, siendo este último el de menor concentración, presentan el mismo comportamiento en ambas zonas en esta especie. Potasio y calcio son macroelementos por lo que se encuentran con las mas altas concentraciones, de esta misma forma el hierro aunque no es un macroelemento es un elemento requerido por el arbol en grandes cantidades. Miller (1967), indica que los elementos esenciales para la planta son 15; al principio del siglo sólo se aceptaban que eran 10 y estos son: C, H, O, P, K, Ni, S, Ca, Fe y Mg; a estos se les llama elementos mayores (con excepción del Hierro), debido a que las plantas

los utilizan en mayores cantidades, que los 5 elementos menores, incluidos últimamente en la lista, y estos son: B, Cu, Mn, Mo y Zn también llamados micronutrientes y Müller (1964), considera al hierro como un elemento igual que los macroelementos, ya que la planta necesita una cantidad relativamente grande o un suministro constante de ello.

Müller concluye en base a estudios realizados en coníferas que los niveles de macro y micronutrientes varían con la edad del árbol.

Tout en 1977 dice que el comportamiento elemental a través del tiempo esta determinado por la especie, lo que se observo en las muestras. Valkovic (1979) menciona que la composición elemental es influida por la distribución y las condiciones metereologicas. Y Calva *et al.*, (2006) concluye que la concentración elemental está sujeta por diversos factores principalmente por los efectos de la contaminación atmosférica.

Como vemos son muchos los factores a los que se le atribuyen la concentración elemental y en base al estudio realizado entendemos que el sistema bosque es complejo debido al numero de interacciones que realiza, entre ellas la relación que afecta directamente a la concentración elemental en el árbol es la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, es verdad importa la temperatura, la precipitación, la edad del árbol entre otras, sin embargo la interacción de estas son el resultado del comportamiento en el crecimiento del árbol con la concentración elemental (Baez 1996).

VIII.- CONCLUSIONES

- Los resultados demuestran que *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, son especies biomonitoras de factores climáticos.
- *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* se comportan como bioindicadores de sucesos ecológicos; periodos de crecimiento y emisiones volcánica.
- *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* presenta el mayor crecimiento (4.20 y 7.00 mm) en los anchos de los anillos para la zona alta (3200 m.s.n.m.) con respecto a las zonas baja (2900 m.s.n.m.).
- *Pinus hartwegii* arrojó un crecimiento de 2.44 mm y *Abies religiosa* de 4.23 mm, siendo el doble de crecimiento que *Pinus hartwegii*.
- Debido a la heterogeneidad del grosor de la albura y el duramen, parcialmente se cumplió con el objetivo. El promedio del grosor de los anillos en la zona baja para la albura fue de 15.12 mm y de 13.43 mm para duramen en *Pinus hartwegii* con un ancho total de 28.67 mm. Y para la zona alta el promedio del grosor fue 7.27 mm para albura y en duramen 19.83mm con un ancho total de 27.10 mm. Siendo pino la especie que alcanza mayores tallas expresando menor competencia al desarrollar una albura mas amplia.

Abies religiosa presento un grosor promedio de 6.77 mm para albura de la zona alta y 19.17 mm en duramen con un ancho total de 25.95 mm; en la

zona baja el promedio de la albura fue de 8.39 mm y en duramen 16.90 mm con un ancho total de 25.29 mm. Presentando tallas mas pequeñas y una albura menor el relación con *Pinus hartwegii*.

Las alburas presentes a los 2900 m.s.n.m. (zonas bajas) registraron un mayor desarrollo, indiferentemente de la especie, se sospecha que las especies localizadas en esta área presentan menor competencia y la disponibilidad de los nutrimentos es mayor por lo que desarrollan una albura más gruesa.

- La concentración de los elementos registrados en (ppm) promedio, son los siguientes:

En las zonas bajas para *Abies religiosa* Mn = 60.92, Fe = 426.82, Cu = 15.09, Zn = 384.80, K= 41369.85, Ca = 7601.06 y en las zonas alta Mn = 102.76, Fe = 264.62, Cu = 21.16, Zn = 4.20, K= 29355.09, Ca = 13749.36. El potasio y calcio se mantienen en constantes concentraciones en ambas zonas. Los microelementos variaron en la concentración, respecto a la altitud y la especie.

Las zonas bajas presentan un comportamiento decreciente de Zn>Fe>Mn>Cu, y Fe>Mn>Cu>Zn para la zona alta. Infiriendo variación en la concentración de estos elementos esta dada por el antagonismo que se da entre los mismos.

La concentración elemental en ppm fue para *Pinus hartwegii* en las zonas bajas de 132.71 en Mn, Fe= 543.46, Cu= 31.21, Zn= 343.71, K=5808.39, Ca= 7073.56 y en las zonas altas para Mn= 150.01, Fe= 287.79, Cu= 24.89, Zn= 232.21, K=13779.35, Ca= 9785.71.

En *Pinus hartwegii* el potasio y calcio son dos macroelementos que presentan las máximas concentraciones siendo de mayor requerimiento el potasio en las zonas de mayor altitud y el calcio en las zonas bajas, se estima que la concentración del potasio es mayor en las zonas altas debido a que interviene en la resistencia al frío, y los demás elementos que entran en la categoría de microelementos son considerados como activadores enzimáticos por lo que guardan un comportamiento constante en ambas zonas.

- Las interacciones ecológicas del sitio establecen el nivel nutrimental por lo tanto el crecimiento. Rechazando parcialmente la hipótesis planteada, que en las partes bajas hay mayor captación, al menos para los siguientes elementos; Mn, Cu, Ca en *Abies religiosa* y K, Ca para *Pinus hartwegii*. Y Se cumple la hipótesis para Fe, Zn, K en *Abies religiosa* y para *Pinus hartwegii* Mn, Fe, Cu, Zn.

IX.- RECOMENDACIONES

- 1.- Determinar la edad del árbol en campo mediante variables dasométricas, con el fin de homogeneizar las muestras.
- 2.- Tomar muestras constantes en todo el gradiente altitudinal.
- 3.- Para fines de comparación elemental entre albura y duramen es necesario obtener las muestras completas de corteza a núcleo.
- 4.- Realizar el análisis elemental en conjunto de suelo y anillos mediante las mismas condiciones experimentales.
- 5.- Seleccionar todos los macroelementos.

IX. - BIBLIOGRAFÍA

1. Abrams M., D., and A. Copenheaver C. 1999. Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old-growth white. *Forest Ecology* 124:275-284.
2. Alvarado D., R., De Bauer L., y Galindo J.A. 1991. Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el Sur del Valle de México. *Agrociencia* 1:123-143.
3. Barba A. y A. Luna., R. S., 1994. Los recursos vegetales en México. *PIP*; 1: 22 – 31.
4. Baez A.P., Belmont R.D and Padilla H., G. 1996. Chemical composition of precipitation al two sampling sites in Mexico a 7 year study.
5. Biondi F., Galindo E.I., Gavilanes R. J.C., Elizalde T. A. 2003. Tree growth response to the 1913 eruption of Volcan de Fuego de Colima, México. *Quaternary Research* 59: 239-299.
6. Bonneau Maurice; Landmann G. 1987. El deterioro de los bosques Europeos *Mundo Científico* 9:190 – 201.
7. Cahill T., A. 1980. Proton Microprobes and Particle Induced X-Ray Analytical Systems. *Nucle. Part. Sci.* 30:211-252.
8. Calva, V. G., Corona, B. C. 1990. Los vegetales potencialmente útiles para el registro de los niveles de contaminación en el D. F.; *Tópicos de investigación y posgrado* 1: 3 – 19.

9. Calva V.G., Razo A.G., Rodríguez Fenandez L., y Ruvalcaba Sil J.L. 2006. Study of $Z > 18$ elements concentration in tree rings from surroundings forests of the Mexico Valley using external beam PIXE. Nuclear instruments and Methods in Physics Research. En prensa.
10. Castro R. Telma 2003 ¿Puede la contaminación atmosférica generada en la zona metropolitana de la ciudad de México afectar lugares más allá de sus fronteras? Ciencia p.; 54 – 59.
11. Cook E., R and J.L. Innes. 1989. Tree-ring analysis as an aid to evaluating the effects of pollution on tree growth.
12. Copenheaver C., A. and Abrams M., D. 2003. Dendroecology in young stands: case studies from jack pine in northern Lower Michigan. Forest Ecology Management 182: 247-257.
13. Correa G., P. 2006. Correlación nutrimental del suelo y anillos de crecimiento del bosque de pino-Oyamel del Parque Nacional Zoquiapan a través del depósito atmosférico mediante la técnica de PIXE. Tesis de Licenciatura en Biología. Laboratorio de contaminación Atmosférica, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México D.F. P.; 93.
14. Cruz F., G. 2006. Ecología de suelos. Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores. Universidad Nacional Autonoma de México Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Mexico D.F. p.; 1-105.
15. Devall M., S., Perresol B., R. and Le K. 1996. Dendroecologica analisis of Laurel (*Coordia alliodora*) and otrer species from a Lowland Moist tropical. Forest. p.; 219-241.

16. Diaz S., Touchan R. and Swetnem W. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for baja California Sur, Mexico. *Internacional Journal of Climatology*. 1 21:1007-1019.
17. Echenique M., R. 2001. Características de la madera y su uso en la contracción. *Estructura de la madera* 1ra ed. INIFAP, México.
18. Fengel, D., Wegener, G. 1984. "Wood chemistry, Ultraestructure Reaction", Walter de Gruyter, Berlín, p.; 2-220.
19. Fenn M E., De Bauer L.I., Quevedo-Nolasco A., Rodríguez-Frausto.C. 1998. Nitrogen and sulfur deposition an forest nutriment status in the Valley of Mexico. *Water, Air and Soil pollution* 113:155-174.
20. Fenn M.E., Perea-Estrada V.M., De Bauer L.I., Perez-Suarez M., R. Parker D., Cetina-Alcata V., M. 2006. Nutrient status and plant growth effects of forest soils in the Basin of Mexico. *Environmental Pollution* 140:187-199.
21. Fritts H.C., Swetan T.W. 1983. Dendroecology a tool for evaluating variations in past and presents forest environments *Ecology Research* 19: 419-449.
22. Fritts, Smith, Cardis, Budelsky. 1965. Tree-Ring Carcteristic along a vegetation gradient in Northern Arizona.
23. Gimenez A.M., Rios N. y Moglia G. 2000. Relación albura-duramen en tres especies arboreas de la región Chaqueña Seca. *Quebracho* 8:56-63.
24. Hernández A.E 1994 Estudios de regeneración Natural de *Pinus hartwegii* Lindl y *Abies religiosa* (H.B.K) Schal et Cham. En San Martín Cuautlalpan, Chalco, Edo de México. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

25. Hernández T., T. 1984. Efecto de los gases oxidantes sobre algunas especies del género *Pinus* nativas del Valle de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología, C.P. Chapingo, Edo. México.
26. Hernández T., T. y L. I. de Beure. 1984. Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*. Varo Lindley en el Ajusco, D.F.
27. H. Y. Yeh and L. C. Wensel. 2000. The relationship between tree diameter growth and climate for coniferous species in northern California. *Journal Forest Research* 30:1463-1471.
28. Howard, Philip Hall. 1993. Handbook of environmental fate and exposure data for data organic chemicals. Ed. Lewis. Michigan p.; 198
29. Johansson A, E Sven and Campbell Jhon L. 1988. PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis, Jhon Wiley & Sons, Toronto.
30. Kabata-Pendia, A., Pendias Ph., D. 1992. Trace Elements in soils and plants. 2da Edition U.S.A p.; 67-293.
31. Lopez L.M.1993. Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones D.F. Tesis maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México p.; 70-74.
32. Macartur J. D. and Xin-Pei Ma, A. 1991. Review of Particle-Induced X-ray in Geology. p.; 313-331.
33. Manzanilla H. 1974. Investigaciones Epidométricas y Silvícolas en Bosques Mexicanos de *Abies Religiosa*. DGIRP de la SAG. Mexico p.; 123.
34. Meerts Pierre. 2002. Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood. *Sciences* 59:713-722.

35. Miller, Ludwing E. 1964. Manual de Laboratorio de Fisiología Vegetal. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica.
36. Miller, Erston V. 1967. Fisiología Vegetal. Unión Tipográfica Hispano Americana S.A. México.
37. Musalem S.M.A y Solis M.a. 2000. Monografía de *Pinus hartwegii*
38. Norton D. A., Palmer J. G., and Orgen J. 1987. Dendroecological studies in New Zealand. 1. An evaluation of tree age estimates based on increment cores. *Journal on botany* 25:373-383.
39. Pais, I and Joves, J, B. 1997. The handbook of trace elements. CRC press LLC p.; 223.
40. Perez S.M. 2004. Transferencia de nutrimentos hacia el piso forestal por efecto del nutrimento foliar de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, en el Desierto de los Leones D.F. Tesis maestria Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p.; 8-14.
41. Pioversan g., Biondi F., Bernaba M. A., Schirone B. 2005 Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus silvata* L.) tree ring network. *Acta oecologia* p.; 159-172.
42. Pollmann William 2003 Stand structure and dendroecology of an old-grown *Notofagus* fores in Conguillio Natural Park, south Chile. *Forest Ecology Management* 176: 87-103.
43. Reiman C. Patrice de Caritat. 1998. Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Enviromantal Scientist. Springer Ed. Berlin Germany. p.; 397.
44. Rezdowski, J., 1978 Vegetación de México; Limusa ; México D. F. p.;53-62.

45. Riveros R. 1990. La Contaminación atmosférica en la Ciudad de México. *Ciencia y Desarrollo* 16:73-80.
46. Rozas V. 2003. Regeneration patterns dendroecology, and forest use history in an old-growth beech-oak lowland forest in Northern Spain. *Forest Ecology and Management* 182:175-194.
47. Rubino D.L., McCarthy B.C. 2004. Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events. *Dendrochronologia* 21:97-215.
48. Saavedra R.,L. 2001. Desordenes Nutrimientales en Rodales de *Abies religiosa* (H.B.K) Schltdl et Lham, del Desierto de los Eones D.F. Tesis maestria Colegio de Posgraduados. México. p.; 43-45.
49. Steven E. Ruzin. 1999. *Plant microtechnique and microscopy*. New York Oxford. Oxford University Pres. p.; 90-91.
50. Tuot R.E., Gilboy W.B., Spyrou N.M., 1977 Neutron activation studies of trace elements in tree rings. *Journal of Radioanalytical Chemistry* 37:705-715.
51. Valkovi'c V., Rendi'c.D. and Biegert E.K. 1979 Trace element concentrations in tree rings as indicators of environmental pollution. *Enviromental international* 2 : 27-32.
52. Villalba R., Grais H.R., Bininsegna J.A y Ripalta. 2005. Intensificación de la circulación atmosférica meridional en la región subtropical de América del sur inferida a partir de registros dendroclimatológicos. *Tree-Ring Laboratory*. p.; 1-13.
53. Watmough S.A., Hutchinson T.C. 1999. Change in the dendrochemistry of Sacred fir closet o Mexico City over the past 100 years. *Environmental Pollution* 104: 79-88.

54. Weber U., M. 1997. Dendroecological reconstruction and interpretation of larch budmoth (*Zeiraphera diniara*) outbreaks in two central alpine valleys of Switzerland from 1470 to 1990. *Tree* 11:277-290.
55. Spurr S., Barnes B. 1980. *Ecología forestal*. Ed. AGT ED de la S.A. Mexico p.; 679.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

http://www.zoquiapan.com.AMB_PROFEPA. 2005

ANEXO 1

DATOS GENERALES DE LAS MEUSTRAS

ANEXO 1

	ZONA (m.s.n.m.)	ESPECIE	D.A.P. (m)	ALTURA (m)	EDAD (años)	ALTITUD (m.s.n.m)
1	2900	<i>Pinus hartwegii</i>	1.74	26.5	106	2900
2	2900	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	58	2900
3	2900	<i>Pinus hartwegii</i>	2.18	28	98	2900
4	2900	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	84	2920
5	2900	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	116	2920
6	2900	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	85	2947
7	2900	<i>Abies religiosa</i>	3.01	50	40	2947
8	2900	<i>Abies religiosa</i>	ND	ND	66	3000
9	2900	<i>Abies religiosa</i>	ND	ND	71	3000
10	2900	<i>Abies religiosa</i>	1.58	30	ND	3000
11	3200	<i>Pinus hartwegii</i>	2.8	20	82	3004
12	3200	<i>Pinus hartwegii</i>	2.8	20	103	3004
13	3200	<i>Pinus hartwegii</i>	2.4	22	38	3004
14	3200	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	ND	3004
15	3200	<i>Abies religiosa</i>	ND	ND	30	3017
16	3200	<i>Abies religiosa</i>	1.71	12	59	3017
17	3200	<i>Abies religiosa</i>	1.71	12	29	3017
18	3200	<i>Abies religiosa</i>	2.6	20	36	3010
19	3200	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	65	3017
20	3200	<i>Pinus hartwegii</i>	ND	ND	34	3017

ANEXO 2

PROCESO DE LA TÉCNICA DENDROQUÍMICA

ANEXO 2

PROCESO DE LA TÉCNICA DENDROQUIMICA

El peleton es un acelerador de partículas tipo Van de Graff, el cual tiene la función de detectar la energía de los electrones, para cada elemento clasificandolos en tres ventanas (2 ,4 y 6), como se menciona a continuación:

Ventana dos; es aquella en la que se encuentran los espectros de los siguientes elementos, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, In, Sn, Sb, Pb.

Ventana cuatro se almacenan los espectros de los elementos ligeros; Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V

Ventana seis por ultimo classifica a los siguientes elementos; C, N, O, aunque mas adelante se explicara esta ventana.

Para obtener el comportamiento y cuentas del elemento en los espectros, las condiciones experimentales deben ser las siguientes: un haz de protones de 3.3 MeV., un tiempo de irradiación de 400 segundos, con un grado de exposición de 45 °, un detector de estado sólido de Li (Si) y Li (Ge).

El peleton determinar principalmente, las áreas bajo los picos en un espectro de rayos X de las ventanas 2, 4, y 6.

Si el espectro se obtuvo con un multicanal ORTEC (extensión .CHN), se puede usar el menú de traducción del AXIL

Si el espectro se obtuvo con un multicanal PCA3 de Oxford-Tennelec (con extensión .SPT) como es el caso, la traducción se debe hacer con alguno de estos programas:

- Si sólo se usó un detector, el espectro .SPT se convierte en .SPE con el programa externo SPT2SPE.EXE, que automáticamente convierte todos los espectros .SPT en el subdirectorío donde se corrió el programa
- Si se usó el multiplexor con varios detectores, el programa SPE2SPE7.EXE, escrito por Marcelo Lugo, traduce cada espectro por separado al formato .SPE.

También lo hace con todos los espectros en el subdirectorio, posteriormente deben copiarse al subdirectorio C:\AXIL\SPECT.

- Para poder analizar los espectros, los archivos .SPE deben estar en el subdirectorio C:\AXIL\SPECT\ del programa AXIL, será necesario convertir el archivo experimental en uno ASCII con extensión SPE.

Ya estando en AXIL los graba directamente mediante los traductores SPT2SPE y SPT2SPE7

AXIL es un archivo que contiene información acerca de la calibración del eje de las energías, las líneas de rayos X que van a ajustarse, el tipo de fondo que se aplicará al espectro y la región de interés. Tiene extensión INP y puede dársele un nombre descriptivo para los espectros que se ajustarán, lo más conveniente es grabarla como un archivo ASCII, el cual tiene el nombre del espectro y la extensión .OUT.

Una vez que se grabó el espectro, se supone que está uno satisfecho con el ajuste, ahora es posible regresar a cargar un nuevo espectro, con la instrucción *LOAD*. Deben repetirse todos los pasos con cada espectro, no debe olvidarse que, aunque sean parecidos, cada espectro representa un caso único, y siempre debe prestársele la atención debida.

Posteriormente se pasan a un programa llamado **PIXE** (emisión de rayos x por inducción partículas), para determinar la presencia y concentración de algunos elementos Químicos en los anillos, obteniendo la concentración en masa de los elementos seleccionados.

RBS

Fue utilizada únicamente para los elementos de la ventana 6, la técnica RBS cuyas siglas en ingles (Rutherford Backscattering), es producida por el bombardeo de partículas alfa (cercas a 2 MeV) y en consecuencia genera la retrodispersión de iones, los primeros usos que se le dio fue la determinación de espesor de películas delgadas, ventajas es rápida (10 minutos) para obtener información del porcentaje de materia orgánica de la muestra, sensible a la deducción de perfiles de elementos dentro de la muestra técnica cuantitativa absoluta tanto para determinar

concentraciones y profundidad de elementos. Esta se realiza de manera simultánea a las ventanas anteriores y el método a seguir es el mismo.

Posteriormente se tratan los datos obtenidos mediante EXEL, SPSS, Y ORIGIN.