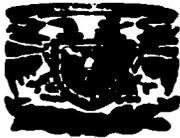


50322
27



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

**DENDROANÁLISIS, CON PIXE, DE NÚCLEOS
DE PINO Y OYAMEL PARA EL REGISTRO DE
LOS EVENTOS DEL DEPÓSITO
ATMOSFÉRICO EN LOS PARQUES
NACIONALES IZTAPOPOCATEPETL Y
ZOQUIAPAN**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A :
MARICELA MOJICA AVILÉS

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. Germán Calva Vásquez

MÉXICO, D.F., NOVIEMBRE DE 2003.

TESIS CON
CALA DE ORIGEN

A



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.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación	2
2. HIPÓTESIS	4
3. OBJETIVO GENERAL	5
3.1 Objetivos Particulares	5
4. MARCO TEÓRICO	6
4.1 Evaluación del depósito atmosférico	5
4.2 Consideraciones anatómicas del árbol	8
4.3 Factores fisiológicos del xilema	11
4.4 Dendroanálisis y dendroquímica	12
4.5 Composición elemental de la madera	13
5. ZONAS DE ESTUDIO	16
5.1 Parque Nacional Zoquiapan	16
5.2 Parque Nacional Iztapopocatépetl	17
5.3 Clima	18
6. MÉTODO	19
6.1 PIXE	21

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1 DENDROANÁLISIS EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS

7.1.1 Elementos del grupo macronutrientes: Ca, K, S, Mg y P	23
7.1.1.A <i>Pinus montezumae</i>	23
7.1.1.B <i>Abies religiosa</i>	27
7.1.2 Elementos del Grupo Micronutrientes: Zn, Co, Cu, Fe, Mn, V y Cl	31
7.1.2.A <i>Pinus montezumae</i>	31
7.1.2.B <i>Abies religiosa</i>	36
7.1.3 Grupo de Elementos Traza: Ti, Hg, Zr, Pb, As, Ni, Cr, Ba, Cd, Se, Tl	41
7.1.3.A <i>Pinus montezumae</i>	41
7.1.3.B <i>Abies religiosa</i>	45
7.1.4 Elementos Parcialmente Necesarios: Y, U, La, Sr, Rb, Br, Ga ..	50
7.1.4.A <i>Pinus montezumae</i>	50
7.1.4.B <i>Abies religiosa</i>	54
7.2 DENDROQUÍMICA CON EL REGISTRO CLIMÁTICO Y LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS	58
7.2.1 Relación Entre el Ancho de los Anillos y las Concentraciones de los Elementos	61
7.3 DIFERENCIA ELEMENTAL ENTRE EL IZTAPOPOCATÉPETL Y ZOQUIAPAN	74
8. CONCLUSIONES	90
9. RECOMENDACIONES	91
10. BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	Deposito atmosférico en los bosques de la Cuenca de México	7
FIGURA 2:	Anillo de crecimiento anual	9
FIGURA 3:	Tejido leñoso constituido principalmente por traqueidas	10
FIGURA 4:	Parques Nacionales Zoquiapan e Iztapopocatépetl	16
FIGURA 5:	Obtención de la muestra de <i>Pinus sp</i> con un taladro Pressler	19
FIGURA 6:	Medición de los diferentes tamaños en anillos	20
FIGURA 7:	PIXE en los anillos de crecimiento. Instituto de Física UNAM ...	21
FIGURA 8:	Representación quinquenal de los macronutrientes detectados por PIXE en <i>Pinus montezumae</i>	24
FIGURA 9:	Agrupación histórica de macronutrimientos (S, K y Ca) en los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales	26
FIGURA 10:	Agrupación histórica de macronutrimientos en los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> de Zoquiapan por periodos quinquenales	26
FIGURA 11	Representación quinquenal de los macronutrientes detectados por PIXE en <i>Abies religiosa</i>	29
FIGURA 12:	Agrupación histórica de macronutrimientos en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales	30
FIGURA 13:	Agrupación histórica de macronutrimientos en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i> de Zoquiapan por periodos quinquenales	30
FIGURA 14	Representación quinquenal de los micronutrientes detectados por PIXE en <i>Pinus montezumae</i>	33

FIGURA 15:	Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales	35
FIGURA 16:	Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> de Zoquiapan por periodos quinquenales.....	35
FIGURA 17:	Representación quinquenal de los micronutrientes detectados por PIXE en <i>Abies religiosa</i>	39
FIGURA 18:	Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales	40
FIGURA 19:	Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i> de Zoquiapan por periodos quinquenales	40
FIGURA 20	Representación quinquenal de los elementos traza detectados por PIXE en <i>Pinus montezumae</i>	42
FIGURA 21:	Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales	44
FIGURA 22:	Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> de Zoquiapan por periodos quinquenales.....	44
FIGURA 23	Representación quinquenal de los elementos traza detectados por PIXE en <i>Abies religiosa</i>	47
FIGURA 24:	Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales.....	49
FIGURA 25:	Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i> de Zoquiapan por periodos quinquenales.....	49
FIGURA 26	Representación quinquenal de los elementos detectados por PIXE en <i>Pinus montezumae</i>	51

- FIGURA 27: Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales..... 53
- FIGURA 28: Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de *Pinus montezumae* de Zoquiapan por periodos quinquenales..... 53
- FIGURA 29 Representación quinquenal de los elementos detectados por PIXE en *Abies religiosa* 55
- FIGURA 30. Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales..... 57
- FIGURA 31. Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* de Zoquiapan por periodos quinquenales..... 57
- FIGURA 32 Polinomios donde se muestran diferentes parámetros de precipitación y temperatura de San Luis Ameca y Río Frío, las emisiones atmosféricas y el ancho de los anillos 59
- FIGURA 33. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Pinus montezumae* del Parque Nacional Iztapopocatépetl..... 64
- FIGURA 34. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Pinus montezumae* del Parque Nacional Zoquiapan..... 66
- FIGURA 35. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Abies religiosa* del Parque Nacional Iztapopocatépetl..... 71

FIGURA 36.	Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de <i>Abies religiosa</i> del Parque Nacional Zoquiapan.....	72
FIGURA 37	Dendrograma donde se muestran los macronutrientes K, Ca y S detectados en los anillos de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	76
FIGURA 38	Dendrograma donde se muestran los macronutrientes Mg, K y Ca detectados en los anillos de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	77
FIGURA 39	Dendrograma donde se muestran los micronutrientes Cl, Zn, Cu, Mn, Fe y V detectados en los anillos de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	79
FIGURA 40	Dendrograma donde se muestran los micronutrientes Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Co y V detectados en los anillos de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	81
FIGURA 41	Dendrograma donde se muestran los elementos traza Cr, Pb, As y Ni detectados en los anillos de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	83
FIGURA 42	Dendrograma donde se muestran los otros elementos traza Br, Rb, Sr y Ga detectados en los anillos de <i>Pinus montezumae</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	85
FIGURA 43	Dendrograma donde se muestran los elementos traza Ti, Pb, Cd, Cr, Se, Ni, Ba y Tl detectados en los anillos de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	86
FIGURA 44	Dendrograma donde se muestran otros elementos traza Ga, Bi, Pd, Te, Br e Y detectados en los anillos de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl y Zoquiapan	88

TESIS CON
 FALDA DE OJGEN

INDICE DE TABLAS

TABLA I	Movilidad de los elementos en el xilema	8
TABLA II	Contenido de elementos traza en madera de Pino	9
TABLA II-A	Comparación Química entre Diferentes Especies	15
TABLA III	Correlaciones Pearson de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. del Iztapopocatépetl	62
TABLA IV	Correlaciones Pearson de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Zoquiapan	63
TABLA V	Correlaciones Pearson de <i>Abies religiosa</i> del Iztapopocatépetl	68
TABLA VI	Correlaciones Pearson de <i>Abies religiosa</i> de Zoquiapan	70
TABLA VII	Descripción estadística de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. y <i>Abies religiosa</i> Schelcht.	75
TABLA VIII	Correlaciones Pearson para S, K y Ca de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. Iztapopocatépetl y Zoquiapan	77
TABLA XI	Correlaciones Pearson para Mg, K y Ca de <i>Abies religiosa</i> de Iztapopocatépetl y Zoquiapan	78
TABLA X	Correlaciones Pearson para Cl, V, Mn, Fe, Cu, Zn de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Iztapopocatépetl y Zoquiapan	80
TABLA XI	Correlaciones Pearson para Na, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn de <i>Abies religiosa</i> de Iztapopocatépetl y Zoquiapan	82
TABLA XII	Correlaciones Pearson para Cr, Ni, As y Pb de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Iztapopocatépetl y Zoquiapan	84
TABLA XIII	Correlaciones Pearson para Ga, Br, Rb y Sr de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Iztapopocatépetl y Zoquiapan	85

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA XIV	Correlaciones Pearson para Cr, Ni, Ti, Se, Cd, Ba, Tl, Pb de Abies religiosa Iztapopocatépetl y Zoquiapan	87
TABLA XV	Correlaciones Pearson para Ga, Br, Y, Pd, Te y Bi de Abies religiosa Iztapopocatépetl y Zoquiapan	89

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por que todo me lo ha dado.

➤ M. en C. Germán Calva Vásquez:

A mi Director de Tesis por su valioso tiempo, gran apoyo y de todo lo que no me acuerdo en este momento.

➤ Prof. Ma. de los Ángeles Galván

Por su asesoramiento, paciencia, consejos y todo lo demás.

➤ A todos mis sinodales: M. en C. Efraín Ángeles, Dr. Manuel Castillo, Biól.. Aída Zapata.

Por todas sus observaciones.

➤ Dr. Javier Miranda:

Por facilitarnos el uso de la técnica de PIXE en del Instituto de Física.

➤ Karim López y Francisco, técnicos del Pelletron

➤ Departamento de Física Experimental del Instituto de Física de la UNAM.

➤ Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES ZARAGOZA.

➤ DGAPA (PAPIIT : IN204999), y al CONACYT (FO36-E9109, 60010 Y J32159-U)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a ti Eros mi bebé.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESUMEN

Las concentraciones de los elementos traza en los anillos de los árboles se han usado para el biomonitorio retrospectivo de la contaminación ambiental. El análisis químico elemental de los anillos de árboles se ha utilizado para valorar indirectamente el grado de depósito ácido y la absorción de los elementos, los cuales afectan el crecimiento de los árboles. En los Parques Nacionales Iztapopocatépetl y Zoquiapan no existe un registro histórico de los eventos del depósito atmosférico. Se analizaron los eventos del depósito atmosférico a lo largo de 30 años en los bosques de Pino-Oyamel (*Pinus montezumae* Lamb. y *Abies religiosa* Schelcht.) de las áreas antes citadas.

La combinación de los factores físicos y meteorológicos de la Cuenca de México inciden directamente en los niveles de contaminación en la ciudad, los cuales, serán registrados de manera simultánea con el uso de los anillos de crecimiento, siendo un monitor del cambio temporal en el ambiente en las regiones templadas. Así los cambios en las concentraciones elementales en el ambiente se ven reflejados en los cambios de las concentraciones de los mismos elementos trasladados en los anillos de árboles.

El método analítico aplicado para la cuantificación y detección elemental fue, el de Emisión de los Rayos-X Inducido por Partículas (PIXE), el cual tiene múltiples ventajas, como es el de incidir el haz de protones en todos los tamaños de los anillos de crecimiento, representantes del período 1970 al 2000.

De los resultados destacan las correlaciones poco significativas entre la anchura y los elementos detectados. En cuanto a la anchura con respecto a los factores climáticos (precipitación y temperatura) la correlación resultó baja. En *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl hubo en promedio una mayor concentración de K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Ga, As, Br y Sr, mientras que en Zoquiapan las mayores cantidades se encontraron en S, Cl, Cu, Zn, Rb y Pb. En *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl, se detectó Al, Na, Mg, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Br, Y, Pd, Cd, Te, Ba, Tl, Pb y Bi, mientras que en Zoquiapan se encontraron los mismos elementos excepto el Al. Las concentraciones elevadas de los elementos resultaron excesivas o tóxicas en algunos años. La anchura de los anillos fue mayor en Zoquiapan que en el Iztapopocatépetl, tanto en *Pinus montezumae* como en *Abies religiosa*. Los dendrogramas representaron claramente la separación de las zona de estudio, con respecto a la composición elemental.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PAGINACIÓN DISCONTINUA

1. INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de los elementos traza en los anillos de los árboles se han usado para el biomonitorio retrospectivo de la contaminación ambiental (Ferretti *et al.* 1993, Momoshima y Bondietti 1994, Eklund 1995, citados por Hagemeyer y Weinand, 1996).

El análisis químico elemental de los anillos de árboles se ha utilizado para valorar indirectamente el grado de depósito ácido y la absorción de los elementos, los cuales afectan el crecimiento de los árboles, fenómenos que se estudian ampliamente en Estados Unidos (Frelich *et al.* 1989; Bondietti *et al.* 1990), Francia (Lévy *et al.* 1995), Alemania (Nabais *et al.* 1999), Canadá (Watmough, *et al.* 1998; Watmough, 1999), Japón (Aoki, *et al.* 1998; Sakata *et al.* 2001) y varios países del mundo (Vanderlei *et al.* 1999; Saarela *et al.* 1999; Penninckx *et al.* 1999).

La deposición ácida en los árboles, propició la reducción en el crecimiento de las especies especialmente en los últimos 25 años (Johnson *et al.* 1981, Puckett, 1982, Johnson y Siccama, 1983, Hornbeck y Smith, 1985, McClenahan y Dochinger, 1985, McLaunglin, 1985 citados por Frelich *et al.* 1989). Las concentraciones de los elementos en los anillos de los árboles han sido usadas para monitorear situaciones de la contaminación por metales, metaloides y minerales para evaluar los efectos de acidificación en suelos (Cutter y Guyette, 1993).

El biomonitorio retrospectivo (reconstrucción de la contaminación por varias décadas) tiene la ventaja de referir la concentración atmosférica de los metales traza depositados en los anillos de crecimiento. Desde el punto de vista técnico, permite realizar los registros en zonas boscosas alejadas de la ciudad, en áreas donde no existe una red de monitoreo atmosférico.

Además el biomonitorio con PIXE¹ presenta varias ventajas por ser un método seco, de carácter multielemental, no destructivo y de menor manipulación de la muestra.

En los estudios dendroquímicos la composición química del incremento anual de madera, refleja la química del ambiente en la cual esta fue formada (Amato, 1988; citado por Cutter y Gullette, 1993). Un problema crítico con el uso de los anillos de árboles como monitoreo ambiental es la movilidad de ciertos elementos en las uniones de los anillos (Kramer y Kozłowski, 1979; citado por Cutter y Gullette, 1993).

¹ PIXE, Particle Induced X-ray Emission

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De ahí la importancia para la realización de los estudios que evalúen el depósito atmosférico de manera histórica y con técnicas precisas, la reconstrucción de éstos fenómenos en los bosques que rodean la ciudad de México permiten obtener el conocimiento básico del depósito atmosférico en los anillos de crecimiento y establecer estrategias o programas encaminados para la preservación, ya que, el Desierto de los Leones, Iztapopocotépetl, Zoquiapan, el Chico, Cumbres del Ajusco y Villa del Carbón, suman el 63.8% del total de los Parques Nacionales de la República Mexicana y el 60% del Bosque de Coníferas-Latifoliadas (Melo, 1987 citado por Calva, 1999), éste recurso forestal asegura el suministro del 71.5% de agua (1,366 pozos de captación) que consumen diariamente 18 millones de habitantes en la Cuenca de México (INEGI, 1995, citado por Calva, 1999).

1.1 Planteamiento del problema

El decline forestal es un fenómeno presente en los bosques de la Cuenca de México, por ejemplo la CORENA (1995) reportó, un patrón de daño en mortalidad ascendente, del 40 o 50% y una pérdida de superficie forestal, que pasó de 110 mil a 96 mil hectáreas en bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schl. (oyamel) y *Pinus spp* (pino) (Calva, 1999). Este decline, se puede observar a través de varias manifestaciones, una de estas es la disminución en el crecimiento de los anillos, lo cual se podría asociar con las emisiones atmosféricas provenientes de la Ciudad de México, por lo que es necesario realizar un dendroanálisis y así poder evaluar a través del tiempo, como ha sido el comportamiento de la depositación atmosférica en los bosques.

1.2 Justificación

Estos estudios son imprescindibles para los programas de conservación, además de aportar información sobre las causas del decline en los bosques de la zona de estudio.

En los Parques Nacionales Iztapopocotépetl y Zoquiapan no existe un registro histórico de los eventos del depósito atmosférico, por lo que el dendroanálisis es el procedimiento idóneo para evaluar indirectamente éste depósito. En México, no hay estudios de dendroanálisis por la técnica de PIXE para Pino y Oyamel.

Los árboles incorporan y acumulan los elementos absorbidos principalmente durante el desarrollo de los anillos, por esta razón, las

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

técnicas dendroanalíticas han sido utilizadas ampliamente en muchas investigaciones (Burton, 1985, Cutter y Guyette 1993, Hagemeyer 1993, citados por Hagemeyer y Weinand 1996).

De acuerdo a Legge *et al.* 1984, (citado por Frelich *et al.* 1989), las especies de coníferas tienen un gran potencial para construir la historia desde la madera porque preservan las características químicas. Las coníferas tienen pocos y pequeños rayos celulares y tienen más traqueidas que vasos. A través del dendroanálisis por diversas técnicas, se han documentado de la acumulación de metales pesados en los anillos de los árboles por emisiones de las fundidoras. (Baes y McLaughlin 1984, Legge *et al.* 1984, Arp y Manasc 1988, citados por Frelich *et al.* 1988), además detallan la reacción de los nutrientes de la planta y metales traza con el xilema (Frelich *et al.* 1988). Por lo cual el registro de los macronutrientes, micronutrientes, elementos traza y elementos no esenciales o tóxicos, es necesario para determinar su posible influencia en la anchura de los anillos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. HIPÓTESIS

Si los anillos de crecimiento proporcionan un registro del depósito atmosférico mediante la absorción de los elementos del ambiente en el cual se formaron, entonces se observará la variación de la concentración elemental a lo largo del tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. OBJETIVO GENERAL

- Analizar los eventos del depósito atmosférico cuando menos en los últimos 30 años en los bosques de Pino-Oyamel (*Pinus montezumae* Lamb. y *Abies religiosa* Schecht.) de los Parques Nacionales Iztapopocatépetl y Zoquiapan.

3.1 Objetivos Particulares

- 1) Cuantificar las concentraciones de los elementos de los últimos 30 años a través del dendroanálisis para las especies de *Pinus montezumae* Lamb. y *Abies religiosa* Schecht. por la técnica de PIXE.
- 2) Obtener los datos de registro climático (precipitación, temperatura) y emisiones atmosféricas para establecer alguna relación con los resultados del dendroanálisis.
- 3) Relacionar el ancho de los anillos con las concentraciones de los elementos que se encuentren en los mismos.
- 4) Establecer la diferencia elemental que existe entre el Parque Nacional Iztapopocatépetl y el Parque Nacional Zoquiapan.
- 5) Determinar cuál especie es la más sensible para realizar el estudio de dendroanálisis.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Evaluación del depósito atmosférico

En México (D. F.) el fenómeno del depósito atmosférico se evalúa desde 1986 solamente como depósito total PST (Partículas Suspensas Totales) con la RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico) Únicamente el 43% de 725 km² para el D. F., a partir de 1992 se inicia el registro de las PM₁₀ (Partículas Menores a 10 Micras) dejando al margen los Parques Nacionales que rodean la ciudad de México.

No existe un registro histórico de los niveles de contaminación en los bosques de la Cuenca de México, y como el monitoreo atmosférico se realiza en la ciudad, tal registro está limitado ya que solo reporta las PST, por lo cual no se sabe que clase de elementos las constituyen y en que concentraciones se encuentran, lo mismo sucede con el registro de las PM₁₀.

En la ZMCM (Zona Metropolitana de la Ciudad de México) circulan alrededor de 3'500,000 autos que consumen aproximadamente 18 millones de litros de gasolina y 5 millones de diesel diariamente; mismos que se arrojan en 4 millones de toneladas anuales de contaminantes que se arrojan al aire (Lacy *et al.*, 2000).

A las emisiones de azufre, de origen antropológico, se les deberá sumar las volcánicas (Popocatépetl) desde 1994, incrementándose así la formación de ácidos atmosféricos.

La combinación de los factores físicos y meteorológicos de la Cuenca de México inciden directamente en los niveles de contaminación en la ciudad. El entorno físico donde se ubica la ZMCM dificulta la dispersión de los contaminantes. Esto se debe principalmente a que la Ciudad se encuentra rodeada de montañas que limitan la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes atmosféricos (Fig. 1) que se generan diariamente. Por otro lado, se presentan sistemas anticiclónicos, los cuales afectan grandes extensiones del territorio nacional junto con la Cuenca de México, inmovilizando diversos estratos de la troposfera y junto con ello a los contaminantes (Lacy *et al.*, 2000).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 1. El deposito atmosférico en los bosques de la Cuenca de México.



La presencia de inversiones térmicas y vientos moderados en la troposfera limitan la ventilación y dificultan la dispersión de contaminantes, ocasionando un estancamiento temporal de los mismos, la intensa radiación solar favorece la formación de ozono y otros contaminantes fotoquímicos. La altura de la Ciudad, ubicada a 2,240 msnm, dificulta los procesos de combustión y tiende por lo tanto a incrementar la emisión de contaminantes a la atmósfera (Lacy *et al.*, 2000).

La contaminación atmosférica ha llegado a extremos de mortalidad en el Distrito Federal, las defunciones por "principales causas" (definidas como aquellas que agrupan al 80 por ciento de las muertes) han aumentado de 45.3 mil en 1993 a 46.5 mil en 1996 entre éstas, se encuentran en séptimo lugar, la neumonía y la influenza, que registran una tasa de 26.1 casos por cada 100 mil habitantes. Dichas causas podrían estar asociadas con la contaminación atmosférica (INEGI, 1995; en Calva, 1999).

Las principales causas de muerte infantil en el Distrito Federal son las derivadas de afecciones originadas en el periodo perinatal, mientras que las neumonías y la influenza ocupan el tercer sitio, seguidas por las infecciones intestinales y respiratorias. Los casos graves de enfermedades respiratorias se incrementan con episodios altos de contaminación (Lacy *et al.*, 2000).

Cómo estará afectando a los bosques circundantes es la pregunta, pero no podemos dar marcha atrás y sólo nos queda el recurso del biomonitoreo retrospectivo. De esa forma, se podría saber cómo ha sido el efecto del depósito atmosférico en los bosques que rodean la ciudad de México por lo menos en los últimos 30 años, y como es que la depositación atmosférica afecta el crecimiento de los árboles. No se sabe en que grado los *Pinus sp* y *Abies sp* son dañados por el depósito atmosférico.

La coincidencia en el tiempo con un decline en el crecimiento de *Picea roja* con las emisiones aceleradas al oeste de Norte América sugiere que la depositación ácida puede estar involucrada. Un principio por el cual la depositación ácida puede afectar el crecimiento de los árboles es a través de cambios inducidos en el ambiente químico del suelo. Estos cambios incluyen alteraciones en la relativa disponibilidad de nutrimentos y de iones que compiten por la absorción de nutrimentos y limita su translocación. Los disturbios químicos en las porciones orgánicas de suelos forestales que involucran los ciclos de magnesio (Horn *et al.* 1989; Oren *et al.* 1988, citados por Bondietti *et al.* 1990) y calcio (Horn *et al.* 1989; Shortle y Smith 1988; Urich 1983; en citados por Bondietti *et al.* 1990) han sido asociados como una causa del decline en el crecimiento de los árboles.

4.2 Consideraciones anatómicas del árbol

Los árboles no pueden sanar, no se reparan. En su lugar se defienden de las consecuencias de la herida o infección cercando el daño. En una palabra compartimentalizan. Al mismo tiempo disponen de nuevas células en nuevas posiciones. Cada año crece un nuevo árbol sobre un árbol viejo. Los resultados del proceso son los añillos de crecimiento, visibles en cualquier corte transversal de un tronco, raíz o rama (Shigo, 1985).

Para comprender la enfermedad y pudrimiento de los árboles es esencial entender su función y crecimiento normales. Los propios árboles —esto es, las coníferas y los árboles maderables (gimnospermas y angiospermas)— son perennes, leñosos, compartimentalizados y desgajables (Shigo, 1985).

La planta en crecimiento requiere una extensa circulación de una amplia variedad de sustancias para el mantenimiento de sus actividades metabólicas. Al mismo tiempo las hojas verdes necesitan un suministro constante de agua y de ciertos elementos minerales que no pueden adquirirse sin la ayuda de las raíces. Para conectar estos tejidos separados, la planta ha desarrollado dos tipos distintos de elementos conductores que

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

actúan como canales para el movimiento de las sustancias. Estos elementos conductores son el xilema y el floema. (Richardson, 1979).

En gran escala, el cambium deposita una capa interna cada año: esos son los anillos anuales de crecimiento (Fig. 2), claramente visibles en sección transversal del árbol (salvo en árboles tropicales). En una escala más fina, el cambium forma dos tipos de células básicas: las que tienen el eje mayor perpendicular al eje del tronco, raíz o rama, y aquellas otras con su eje mayor paralelo al eje del tronco, raíz o rama (Shigo, 1985).

La sensibilidad, es definida como la cantidad de la variabilidad relativa en la anchura de un anillo al siguiente. Frecuentemente las series de anillos anuales más largas, homogéneas y sensibles, son de árboles viejos que crecen en precipicios, lugares inclinados y sitios rocosos donde hay poco espacio de suelo para el crecimiento de las raíces (Fritts, 1976).

Ha sido muy reconocido que los cambios en los anillos de crecimiento en los árboles son influenciados por el clima, y que se identifican mejor los factores climáticos por la variación en el ancho de los anillos, por la reconstrucción a lo largo del tiempo del cambio climático (Fritts, 1976).

El uso de los anillos de crecimiento como monitoreo temporal del cambio ambiental es posible porque los árboles en las regiones templadas producen anillos anuales de crecimiento, caracterizados por un período de crecimiento rápido en primavera el cual produce madera temprana ligeramente coloreada, seguido por un período de lento crecimiento en verano y otoño, resultando mas oscura, la formación de la madera tardía (Fritts, 1976).



Figura 2: Anillo de crecimiento anual modificado de <http://www.ltr.arizona.edu/dendrochronology.html>

Las células perpendiculares serán los radios del parénquima, que forman tabiques radiales en la madera, mientras que las células longitudinales rellenarán los compartimentos entre los radios. Estas células son de tres tipos, en algunas de ellas, el contenido vivo muere a los pocos días o semanas, quedando solo la pared celular tubular, en coníferas, se denominan traqueidas (Fig. 3), sirven para transportar líquidos. La pared celular es gruesa. Las fibras celulares o fibras traqueoidales, proporcionan soporte mecánico a la madera (Shigo, 1985).

Finalmente, las células denominadas parénquima retienen su contenido vivo dentro de una pared celular delgada. Por el contrario, a los vasos y traqueidas (interior vacío), las células parenquimáticas almacenan nutrimentos y otros materiales (Shigo, 1985).

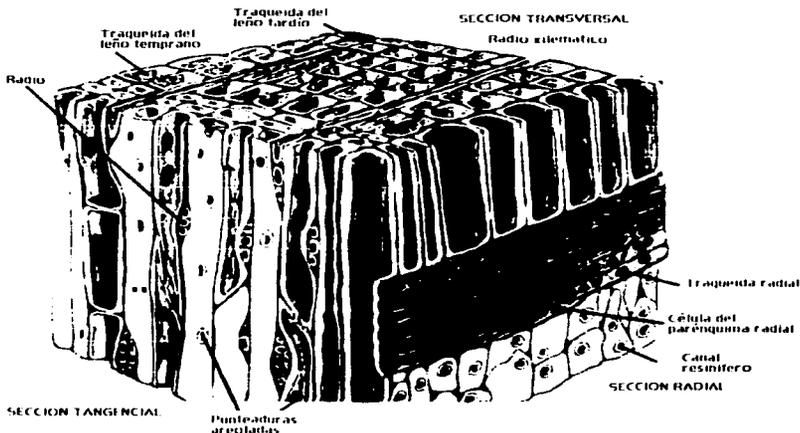


Figura 3: Tejido leñoso constituido principalmente por traqueidas, elementos imperforados con puntuaciones areoladas. En un anillo de crecimiento se distingue el leño temprano formado por traqueidas, son de mayor diámetro y el leño tardío caracterizado por la presencia de fibrotraqueidas, de paredes gruesas, lumen reducido y puntuaciones areoladas con abertura interna alargada. Las traqueidas y fibrotraqueidas miden entre 0.1 a 11 mm de longitud. <http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/maderas.htm>.

En cualquier momento de la vida de un árbol las capas de madera más reciente, aquellas en que el parénquima aún retiene su contenido vivo, forman la albura del árbol. En muchos árboles las capas más viejas, las más próximas al eje del árbol, forman un distrito denominado duramen, que con frecuencia presenta un color más oscuro. Parte de la oscuridad deriva de la depositación de sustancias conocidas por el término colectivo de extractos. El duramen muestra un alto grado de autoaporte mecánico y continúa prestando servicio al árbol. Por el contrario, no tiene capacidad de almacenar nutrimentos ni de transportar sustancias (Shigo, 1985).

El árbol no está dotado para restaurar o regenerar tejidos ya existentes. El generador es el cambium. De ahí la formación de la madera, que es una estructura altamente ordenada de diferentes tipos de células en diferentes etapas de envejecimiento. Así un árbol constituye una jerarquía de compartimentos en su tronco, raíces y ramas, los mayores compartimentos son los anillos anuales (Shigo, 1985).

Las zonas de compartimentalización para aislar las heridas y enfermedades, pueden generar reacción con el árbol (sus límites reforzados químicamente) no son absolutos: pueden alejarse de la infección, con mayor o menor rapidez, a medida que ciertos microorganismos superan la defensa química. Por otra parte, los fenoles no sólo son venenosos para los microorganismos, sino también para el árbol. En efecto, el árbol se envenena en parte de su intento de obstaculizar una invasión. El árbol sobrevive porque, al mismo tiempo que fortalece las defensas, crea un árbol nuevo (Shigo, 1985).

4.3 Factores fisiológicos del xilema

Los factores fisiológicos del xilema están estrechamente relacionados a alteraciones que ocurren cuando sucede la transformación de la savia de la madera a duramen, esas alteraciones son del tipo anatómico, químico y de cambios físicos (Stewart, 1965; en Cutter y Gullette 1993). La savia de la madera se destaca por su actividad fisiológica y por, proveer soporte mecánico al árbol, aunque en el duramen se especializa más en las actividades fisiológicas.

La anchura de la savia de la madera varía entre las especies de árboles, y dentro de las especies, estas son influenciadas por estrés hormonal, estrés hídrico, por la variación de los factores ambientales, genéticos (Cutter y Gullette, 1993), por la disponibilidad de nutrimentos y compuestos tóxicos.

Si un árbol tiene 20 años de desarrollar la savia, entonces teóricamente un elemento mineral pudo ser absorbido hace 19 años y tuvo difusión o translocación para cualquier anillo de crecimiento en esta zona de savia de madera. Unas especies con pocos anillos de savia de madera permiten la investigación más precisa en fecha de tiempo en que el elemento fue detectado (Cutter y Gullette, 1993).

Boshard (1966, 1968) citado por Cutter y Gullette, (1993) clasificó a los árboles con base a la coloración como: **árboles de savia de madera** o árboles con formación retardada de duramen (*Alnus spp.*), **árboles de madera madura**, árboles con duramen ligero (*Abies spp.*), **árboles con duramen regularmente formado** (*Quercus spp.*), y **árboles con formación irregular de madera**.

La transición de savia de madera a duramen no ocurre necesariamente al mismo tiempo, alrededor de la circunferencia podrían confundirse para especificar eventos a través del crecimiento específico de anillos en estas especies. Rudman (1966), citado por Cutter y Gullette, (1993) ha sugerido, que la formación del duramen puede ocurrir de acuerdo a los siguientes procesos: **i)** cuando los requerimientos de agua del cultivo reducen el contenido de humedad del tallo en ciertas épocas del año y **ii)** cuando la reserva de material alimenticio se acumula por niveles mas altos que todos requieren para la actividad metabólica (Cutter y Gullette, 1993).

4.4 Dendroanálisis y dendroquímica

El método, llamado dendroanálisis (Gilboy *et al.* 1976; citado por Hagemeyer y Weinand, 1996) está basado en la suposición de que las concentraciones elementales en los anillos de los árboles esta estrechamente relacionada a la abundancia ambiental del elemento en la época en que el anillo de crecimiento fue formado. Así los cambios en las concentraciones elementales en el ambiente se ven reflejados en los cambios de las concentraciones de los mismos elementos en los anillos de árboles.

La exposición de la superficie del suelo determina el grado de influencia en que los reactantes atmosféricos puedan tener. En dendroquímica muchos (si no todos) de los componentes inorgánicos de la madera se derivan de la solución del suelo, en este análisis es más frecuentemente un análisis del cambio del suelo. Los suelos poco profundos, por su relativa proporción alta de superficie terrestre por volumen, son los más semejantes a los cambios por depositación atmosférica, temperatura, o precipitación. La masa del suelo y volumen ocupados por las raíces de los árboles pueden variar fácilmente (Cutter y Guyette, 1993).

Como resultado de estudios dendrocronológicos, la dendroquímica ha emergido como una herramienta para evaluar la reconstrucción del cambio ambiental (Leep, 1975, Walmough, 1997; citados por Walmough, 1999).

La movilidad de los elementos en el xilema (Tabla 1), está basada en seis factores, i) solubilidad del ion, ii) concentraciones equilibradas en la savia de la madera y el duramen, iii) cara iónica, radio, iv) naturaleza esencial, v) pH de la savia, y vi) unión en la matriz del xilema. Para un ion particular la solubilidad es gobernada por muchos factores como el pH y la quelación.

Tabla 1. Movilidad de los elementos en el xilema (Cuter y Guyette, 1993).

Alta movilidad	As K Na Mg P N S Cl B
Moderada movilidad:	Ca, Sr, Mn, Zn, Rb, Cu, Mo.
Baja movilidad:	Fe, Mo, Ni, Sn, Sb, Ba, Al, Rb, Cd.

La translocación descendiente de moléculas orgánicas de las grandes ramas ocurre en dirección vertical directa a la fibra de tal manera que las substancias sean usadas directamente por el tejido cambial y las raíces (Fritts, 1976).

Una especie que se encuentre creciendo en suelos poco profundos será más sensible al monitoreo atmosférico que una especie la cual este confinada a suelos profundos. Este concepto se ha utilizado en dendroclimatología para relacionar la varianza serial de la anchura de los anillos con los sitios variables (Fritts, 1976, Schweingruber, 1987; citados por Cutter y Gullette, 1993).

Los elementos absorbidos entran al xilema por tres caminos: unos a través de raíces de la solución del suelo, otros a través del folioje después de la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

deposición directa, y a través del tallo seguido de la deposición en la corteza (Burton, 1985, Donnelly *et al.* 1990; citados por Cutter y Gullette 1993).

Los cambios en los ciclos minerales del suelo, pueden resultar de cambios en el suelo o de la contaminación del ambiente, que puede alterar el contenido mineral de las plantas. Cuando otros factores no son limitantes, la disponibilidad de minerales puede ser uno de los más limitantes y pueden influenciar las características de los anillos, tales como la máxima anchura del anillo. Los microelementos o isótopos en el aire, disueltos en el agua de lluvia o llevados como polvo, pueden ser absorbidos por el árbol, a través de las hojas o raíces y ser utilizados en la estructura del anillo (Fritts, 1976).

4.5 Composición Elemental De La Madera

Además de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, la madera de los árboles típicamente contiene pequeñas concentraciones de fósforo, azufre, cloro, potasio, calcio, magnesio, manganeso, hierro, cobre, zinc, y estroncio; a veces otros elementos tales como silicio, níquel, plomo, bario, sodio, y aluminio también están presentes (Yanosky *et al.* 2001).

Comprender la entrada y salida de los elementos en los ecosistemas, durante un tiempo determinado (6 años) en su paso por la vegetación nos permite la comprensión de la translocación de los diversos tipos de elementos (Siccama y Vogt, 1999).

Las concentraciones elevadas de metales traza son potencialmente tóxicas para los árboles (Madji y Persson, 1989 citado por Watmough *et al.* 1998). El análisis químico de los anillos de árboles (Tabla II) se ha utilizado para valorar en que grado la deposición ácida y de elementos, afectan el crecimiento de los árboles. (Bondietti *et al.* 1990).

Tabla II. Contenido de elementos traza ($\mu\text{g/g}$) en madera de Pino (Kabata y Pendias, 1992).

$\mu\text{g/g}$	7	0.9	0.1	0.3	0.6	5	61	0.3	0.1	1	0.2
-----------------	---	-----	-----	-----	-----	---	----	-----	-----	---	-----

Es importante recordar que la concentración de muchos metales traza es menor a $1 \mu\text{g/g}$ en la madera. Se han obtenido por otras técnicas típicamente alrededor de 30 elementos incluyendo Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hf, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sr,

Ti, V, Zn, and Zr. Sin embargo, en madera se detecta raramente al Ag, As, Co, Cr, Ga, Mo, Sb, Se, V, y Zr.

Existen pocas referencias (Siccama y Vogt, 1999) sobre la composición elemental de la madera, debido a que tienen diversas aplicaciones en diferentes disciplinas, Alometría, Fitosociología, Química, Biomasa, y anillos de crecimiento en ecosistemas forestales. Pero fundamentalmente depende del enfoque de estudio, por ejemplo, el proceso que se pretenda estudiar, Ciclo del carbono o nitrógeno, tasas de reciclaje en el balance del ecosistema.

Siccama y Vogt (1999) compararon los datos de Ca y Mg en 7 especies de árbol y encontraron que las concentraciones de Ca eran mucho mas altas que las de Mg (Tabla 2A).

Tabla II-A. Comparación Química entre Diferentes Especies (Siccama y Vogt, 1999)

Árbol	[Ca] madera (ppm)	[Mg] madera (ppm)
<i>Fraxinus excelsior</i>	582	152
<i>Acer saccharum</i> (sitios húmedos)	638	111
<i>Betula alleghaniensis</i> (sitios húmedos)	404	73
<i>Abies spp.</i> (grandes altitudes)	547	121
<i>Picea spp.</i> (grandes altitudes)	521	70
<i>Betula alba</i> (grandes altitudes)	393	101
<i>Betula alleghaniensis</i> (grandes altitudes)	429	106
<i>Fagus gracifolia</i>	694	200
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill) Swingle	892	382

Los metales alcalinos (Li, Na, K, etc.), metales alcalino térreos (Mg, Ca, Sr, etc.), Mn y Zn en coníferas sugiere principalmente que su tasa de absorción cambia con el tiempo o que estos elementos son translocados de los anillos mas jóvenes a los mas viejos. Los patrones de concentración temporal tienden a ser muy similares y algunas veces los metales traza Los patrones de Al, B, Cu, Cd, Fe, Ni, y Pb sugieren que estos metales no se translocan con algún grado significativo (Baes y Ragsdale, 1981).

Los niveles de detección en ppm para Cd, Cr, Co, Pb, Mo, o V en Madera es raro y su presencia en la madera es comúnmente un indicador de contaminación antropogénica (Baes y Ragsdale, 1981).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5. ZONAS DE ESTUDIO

Fisiográficamente la CUENCA DE MÉXICO constituye el sur de la Altiplanicie Mexicana y se rodea por cadenas montañosas del Eje Neovolcánico (Gio-Argáez *et al.*, 1989 citado por Calva, 1999), es una Cuenca endorreica, localizada en la longitud Oeste ($99^{\circ} 30' 52''$) y en la latitud Norte ($19^{\circ} 02' a 20^{\circ} 12'$). Posee una forma elíptica de Norte a Sur (125 Km) y de Oeste a Este (90 km), con un área de 8050 Km² formada por D. F. (1503 km², de ahí la urbe ocupa 725 Km²) y por las regiones; S el Edo. de Hidalgo, SW del Tlaxcala y NE del Edo. de México.



Figura 4. Parques Nacionales Zoquiápan e Iztapopocatepetl.

5.1 Parque Nacional Zoquiápan

Parque Nacional desde 1937 (Melo y Oropeza, 1982; citados por Calva, 1999) ubicado en el Municipio de Chalco, Edo. de México y parte de Puebla, sobre la cordillera Neovolcánica. Se localiza entre los $19^{\circ}13'10''$ y $19^{\circ}18'45''$ de la latitud Norte y entre los $98^{\circ}37'39''$ y $98^{\circ}51'58''$ de la longitud Oeste, (Mass, *et al.* 1981; citado por Calva 1999) con una superficie de 20,454 Ha (Fig. 4).

- **Vegetación:** Los rodales de las tres especies acumuladoras se localizan en el centro Tlatelpa, faldas del Telapón, en la ladera Oeste. Ahí *Abies religiosa* es dominante y *Cupressus lindleyi* y *Pinus montezumae* son acompañantes. También están presentes *Quercus spp.*, *Pinus pseudostrabus*, *Alnus spp.* En las faldas del cerro se localizan cultivos temporales, cuya superficie va en aumento en detrimento del bosque de oyamel-pino.
- **Suelo:** Se reportan (Orantes, 1980; citado por Calva, 1999) andosoles, regosoles, litosoles y flivisoles, ricos en materia orgánica con alto contenido de N, Ca y Mg y bajo contenido de fósforo. Su pH oscila entre 5.5 a 7,1 y suelen ser, poco profundos (90 cm) sin impedimentos físicos para el desarrollo radicular. La textura dominante es Franco-Arenoso con buena aeración. En el andosol predomina la vegetación de pino y oyamel, en presencia de encinos, ailes y cedros, en tanto que los regosoles y litosoles, la vegetación se escasea y en los fluvisoles, se practica la agricultura o se presentan gramíneas.

5.2 Parque Nacional Iztapopocatépetl

El Parque Nacional desde 1935, ocupa parte de varios municipios de Puebla, estado de México y Morelos (Melo, 1977; citado por Calva, 1999). Se localiza geográficamente en las coordenadas 18°59'00" y 19°16'25" de la latitud Norte y de la longitud Oeste, 98°34'54" y 98°42'08". Se ubica en el Eje Neovolcánico, al SE de la Cd. de México (80 km) y posee una superficie de 25679 ha (Fig. 4, Pág. 14).

- **Vegetación:** La comunidad arbórea tiene un gradiente altitudinal similar: Pinar abierto (*Pinus hartwegii*) como especie dominante en los 3300 y 4200 msnm, en presencia de gramíneas amacolladas. En las intermedias (2300-3000), cohabita con *Pinus montezumae* y *Abies religiosa* a medida que disminuye la altitud es más evidente el Oyamel, ya que en las partes más bajas, existen bosquetes de *Cupressus lindleyi* y *Alnus firmifolia*. Las tres especies se colectaron a 70 m de la carretera en Amecameca-Tlaxiaco (Km 17.5).
- **Suelo:** Basamento rocoso de flujo de lava andesítico, en diferentes regiones hay rocas sedimentarias y Vulcano sedimentarias. Basalto y taba intermedia.

5.3 Clima

Las zonas de estudio pertenecen a un tipo de clima templado, semifrío subhúmedo. La mayor incidencia de lluvias se registra en el mes de julio, con un rango que fluctúa entre 200 y 201 mm; la mínima corresponde a febrero, con un valor menor de 10 mm.

La máxima temperatura se presenta en los meses de abril y mayo, con un valor entre 12 y 13°C; los meses más fríos son enero y diciembre, ambos con una temperatura que oscila entre 8 y 9°C (INEGI, 1987).

6. MÉTODO

6.1 Campo

Para establecer la diferencia elemental que existe entre dos zonas, que se encuentran alrededor de la ciudad de México, se eligieron dos bosques, los Parques Nacionales Iztapalapa y Zoquiapan.

Una vez elegidas las zonas, se identificaron las especies de *Pinus montezumae* y *Abies religiosa* que se encontraban en buen estado, y midieron más de 1.4 m de diámetro, se tomaron dos núcleos de cada árbol a una misma altura con un taladro Pressler (Fig. 5), de manera perpendicular a la pendiente del suelo. Para realizar el dendroanálisis y saber cual especie es la más adecuada, se obtuvieron muestras de ocho árboles (cuatro de *Pinus* y cuatro de *Abies*) para cada zona de estudio.

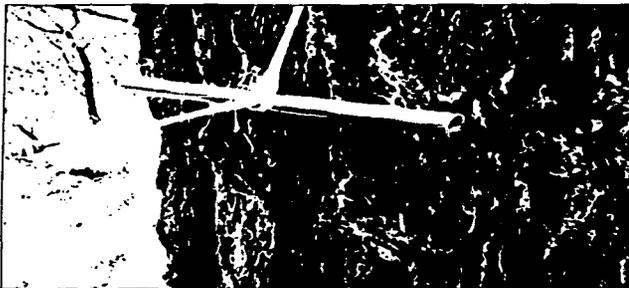


Figura 5. Obtención de la muestra de *Pinus sp* con un taladro Pressler.

Para obtener las muestras de *Pinus montezumae* y *Abies religiosa*, se extrajeron sus núcleos, se colocaron en popotes y después en contenedores para su transporte al laboratorio, en seguida se secaron en la estufa a 40°C para evitar que se contaminen, posteriormente se acomodaron y pegaron los núcleos secos a bastidores de madera, como se describe en las técnicas convencionales (Watmough *et al.*, 1998; Yanosky *et al.*, 2001).

Cuando los núcleos ya estaban secos y fijados en los bastidores, se rasuraron con una navaja de acero inoxidable para poder observarlos en

el estereoscopio (Fig. 6) y se marcó su división en un papel milimétrico adherido al bastidor.



Figura 6. Medición de los diferentes tamaños en anillos de Pino (A), y Oyamel (B).

6.2 Laboratorio

Para relacionar el ancho de los anillos con el depósito atmosférico, se midieron con el Windendro² 30 anillos continuos a partir de la corteza, posteriormente se irradiaron dichos anillos con la técnica de PIXE, y se obtuvo la concentración de los elementos utilizando el programa de cómputo llamado GUPIX en el Instituto de Física, así pudieron observar las cantidades que se encontraban depositadas, luego se llevó a cabo el análisis estadístico relacionando la anchura de cada anillo con su concentración elemental.

Se realizará el registro de los eventos del depósito atmosférico en los bosques de pino-oyamel con los datos que se obtendrán del dendroanálisis de los últimos 30 años, se compararon con los datos de los registros obtenidos de las estaciones de monitoreo más cercanas a la zona de estudio.

Los datos de las emisiones atmosféricas se obtuvieron de las estaciones del SE (Sureste) y CES (Cerro de la Estrella) pertenecientes a la RAMA (de 1986 al 2000) siendo estas las más cercanas a las zonas de estudio.

Los datos climáticos (precipitación y temperatura) se obtuvieron de los archivos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

² Programa de Computo del Instituto de Física

6.3 Emisión De Rayos X Inducida Por Partículas (PIXE)

La técnica de análisis de Emisión de Rayos X inducida por partículas (PIXE) consiste básicamente en la medición de la energía de rayos X característicos de los átomos, al ser ionizados o excitados y posteriormente desexcitados al decaer electrones de las capas superiores. La emisión de rayos X sucede cuando el átomo emite un fotón energético al suplir la vacancia de las capas donde los electrones fueron arrancados por la partícula incidente. Todo esto sucede en las capas internas de los átomos del material que se está analizando. Para el análisis de PIXE (Fig. 7), se usan como haz de protones una energía de 3.3 MeV producidos en un acelerador de partículas tipo Van de Graaff del Instituto de Física de la UNAM.

El nombre de la técnica PIXE proviene de sus siglas en inglés (Particle Induced X-Ray Emission) desarrollada principalmente en los años 70's (Macartur y Xin-Pei 1991; Johanson y Campbell, 1988).



Figura 7. PIXE en los anillos de crecimiento, Instituto de Física UNAM.

Con la medición de los rayos X emitidos se obtiene información de los elementos que componen las muestras. Se bombardean los anillos a un ángulo incidente de 45° para producir la emisión de rayos X. Los rayos X son cuantificados en un detector de estado sólido de Si (Li) y de ahí (por un proceso de electrónica asociada) llevados a una tarjeta multicanal donde son acumuladas las energías producidas, obteniéndose espectros de energía que se analizan posteriormente con un programa de cómputo (GUPIX software package) donde se obtienen las mediciones de elementos totales de las muestras analizadas.

El bombardeo de los anillos por los protones causa la liberación de rayos X desde los cuales se pueden determinar las concentraciones elementales con un 95% de confianza (Yanosky *et al*, 2001)..

Una serie de concentraciones elementales a lo largo del radio del núcleo podría permitir la inferencia concerniente al ambiente químico durante la vida del árbol, en mucho es el mismo camino que una serie de mediciones en la anchura de los anillos, que frecuentemente proveen un poderoso registro de las variables climáticas (Yanosky *et al*, 2001).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1 DENDROANÁLISIS EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS

7.1.1 Elementos del grupo macronutrientes: Ca, K, S, Mg y P

7.1.1. A *Pinus montezumae*

En Iztapopocatópetl la mayor cantidad de **Ca** (Fig. 8-A1) fue durante el período de 1981 a 1985 con 56 881 $\mu\text{g/g}$, en tanto que en el último quinquenio (1996-2000) se encontraron las menores concentraciones con 1025 $\mu\text{g/g}$. Tisdale *et al.* (1985) dice que este elemento es absorbido en forma de ion Ca^{2+} , este es abundante en las hojas. Sus intervalos de concentración normal son de 0.2 al 1%. Aunque el Ca frecuentemente se encuentra libre como Ca^{2+} en la savia celular, también puede estar asociado como inmóvil.

En Zoquiapan el **Ca** (Fig. 8-B1) presento en promedio su mayor concentración durante el periodo de 1971 a 1975 con 5148 $\mu\text{g/g}$, después fue disminuyendo hasta el penúltimo quinquenio (1991-1995) en donde se encontró su menor concentración con 1011 $\mu\text{g/g}$. Prohaska (1998) encontró que el Ca es un elemento de moderada movilidad, y que su tendencia fue del núcleo hacia la corteza (de 500 a 2000 $\mu\text{g/g}$) a partir de 1992 e infirió que sus árboles estaban mas adaptados a las condiciones ambientales.

En promedio el máximo contenido de **K** en Pino del Iztapopocatópetl (Figura 8-A2), fue durante el quinquenio de 1991 a 1995 con 97 086 $\mu\text{g/g}$, mientras que en el ultimo período (1996-2000) se detecto la menor concentración con 1793 $\mu\text{g/g}$. Según Tisdale *et al.* (1985) este elemento es absorbido de la solución del suelo como ion potasio K^{+} .

En cuanto al **K** detectado en Zoquiapan (Fig. 8-B2) las mayores concentraciones se encontraron en el periodo de 1971 a 1975 con 11 098 $\mu\text{g/g}$, mientras que las menores cantidades fueron encontradas en el penúltimo quinquenio con 2 423 $\mu\text{g/g}$. Según Tisdale *et al.* (1985) este macronutriente se encuentra típicamente entre 1 y 5 %, pero este es algunas veces mas alto.

El máximo contenido de **S** detectado (Fig. 8-A3) en los anillos de crecimiento en un promedio de cinco años de *Pinus montezumae* del Iztapopocatópetl fue de 71 719 $\mu\text{g/g}$ en periodo de 1981 a 1985, después se redujo a 1156 $\mu\text{g/g}$ en el último quinquenio (1996-2000). Tisdale *et al.* (1985)

menciona que bajos niveles de SO_2 pueden ser absorbidos por las hojas de las plantas y utilizados dentro de las plantas, aunque altas concentraciones en esta forma gaseosa de azufre es tóxica.

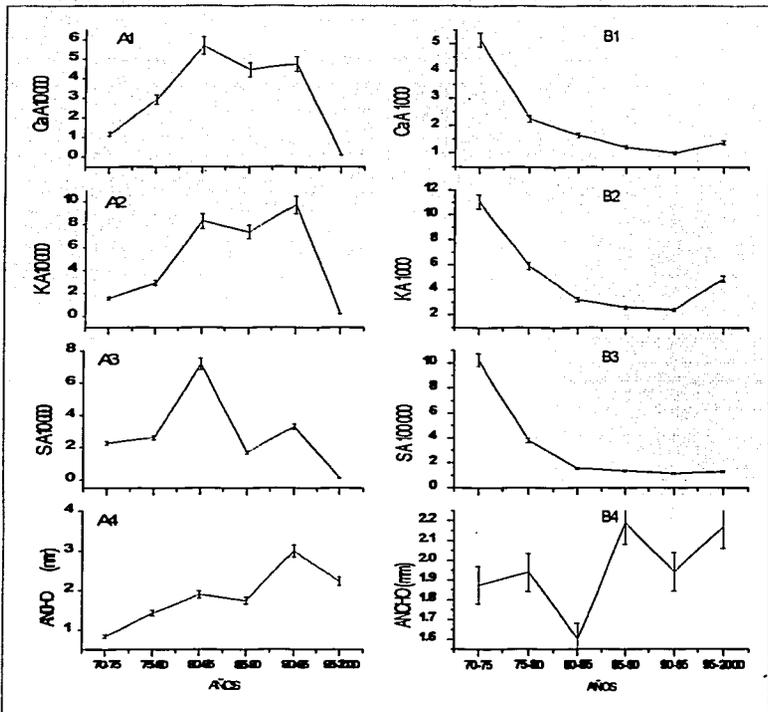


Figura 8. Representación quinquenal, de los macronutrientes detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Pinus montezumae* del Iztapalapa (A1-A4) y de Zaquiapan (B1-B4), y el ancho de sus anillos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En Zoquiapan las máxima concentración de S (Fig. 8-B3) fue durante el quinquenio de 1971 a 1975 con $1 \times 10^6 \mu\text{g/g}$, después comienza a disminuir en el siguiente periodo (1976 - 1980) encontrándose con $380\ 316 \mu\text{g/g}$, y en el penúltimo quinquenio de 1991 a 1995 se presentó la menor concentración con $117\ 296 \mu\text{g/g}$. De acuerdo con Tisdale *et al.* (1985) este macronutriente es absorbido por las raíces de las plantas casi exclusivamente como ion sulfato, SO_4^{2-} .

Las mayores concentraciones de P en *Pinus montezumae* fueron encontradas solamente en Zoquiapan de 1971 a 1976 con $4301439 \mu\text{g/g}$, y fueron menores durante el último periodo de 1986 a 1990 detectándose solamente $498\ 576 \mu\text{g/g}$, mientras que en el último periodo no se detecto el elemento. Tisdale *et al.* (1985) menciona que este macronutriente se encuentra en muchas plantas en concentraciones de 0.1 al 0.4%, un intervalo considerablemente mas bajo que el que se encuentra típicamente en nitrógeno y potasio. El P es fácilmente movilizado en las plantas, y cuando ocurre una deficiencia, el elemento contenido en tejido viejo es transferido a regiones de meristemo activo. Sin embargo un efecto marcado en la deficiencia de este elemento es el retraso en todo el crecimiento.

La época de menor crecimiento en el Iztapopocatépetl (Fig. 8-A4) fue en el quinquenio de 1971 a 1975 con un promedio de 0.84 mm por año, mientras que el mayor crecimiento se observo en el periodo de 1991 a 1995 con 2.99 mm por año, teniendo una relación directa con la máxima concentración de K la cual también se presento en este periodo. Igualmente se puede observar el hecho de que en el último quinquenio (1996-2000) hubo una disminución en la concentración de estos macro nutrientes (S, K y Ca) al igual que en el crecimiento de los anillos (de 2.9 a 2.2 mm).

En Zoquiapan (Fig. 8-B4) el periodo de menor crecimiento fue de 1981 a 1985 con 1.6 mm por año, mientras que el mayor crecimiento se observo al siguiente quinquenio (1986-1990) con 2.1 mm por año. Aquí se observo solamente que cuando comenzó a disminuir la concentración de los macro nutrientes el crecimiento también se redujo, sin embargo en el siguiente periodo hay un aumento en el crecimiento y no en la concentración de los macro nutrientes.

En el dendrograma (Fig. 9) se observó que los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* del Iztapopocatópetl, presentaron las mayores concentraciones de macronutrientes durante dos quinquenios (1985-1990 y 1990 a 1995), así como en el periodo de 1980 a 1985 y de 1995 al 2000 en donde se muestra una asociación menos cercana.

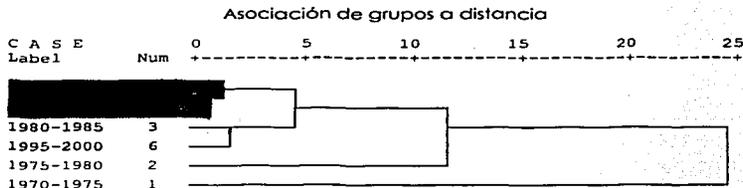


Figura 9: Agrupación histórica de macronutrientes (S, K y Ca) en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* del Iztapopocatópetl por periodos quinquenales.

En el *Pinus montezumae* de Zoquiapan, el dendrograma (Fig. 10) demuestra que las mayores concentraciones de macronutrientes se observaron muy asociadas en los periodos de 1975 a 1985, de 1990 a 1975, de 1970 a 1975, y de 1985 a 1990, y para el último quinquenio se observó una asociación muy lejana y una menor concentración.

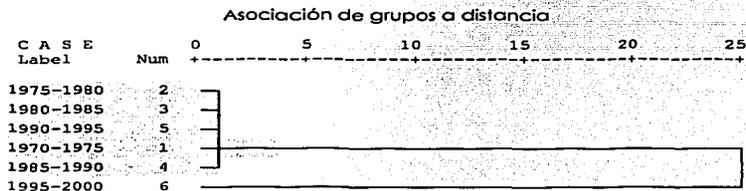


Figura 10: Agrupación histórica de macronutrientes en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* de Zoquiapan por periodos quinquenales.

7.1.1.B *Abies religiosa*

En cuanto al **Ca** en *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl (Fig. 11-A1) igualmente se detectó solo en algunos años; su máxima concentración fue en el último período (1996-2000) con 24 298 $\mu\text{g/g}$, la mínima fue de 1971 a 1976 con 1708 $\mu\text{g/g}$ y de 1976 a 1985 no se detectó el elemento. En el trabajo de Watmough y Hutchinson se encontraron en promedios de 5 años entre 600 y 1400 $\mu\text{g/g}$ de Ca en *Abies religiosa* del Desierto de los Leones.

En Zoquiápan el **Ca** (Fig. 11-B1) tuvo su mayor concentración en el quinquenio de 1981 a 1985 con 6 856 $\mu\text{g/g}$, mientras que la menor fue en el penúltimo quinquenio (1991 a 1995) con 636 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Tisdale *et al.* (1985) el Ca es otro macronutriente requerido por todas las plantas superiores y es absorbido como ion Ca^{2+} , su concentración normal es del 0.2 al 1.0%.

En Iztapopocatépetl la máxima concentración de **K** fue detectada (Fig. 11-A2) en el último quinquenio con 19 615 $\mu\text{g/g}$, mientras que anteriormente, durante el penúltimo quinquenio se encontraron solo 3319 $\mu\text{g/g}$, y de 1976 a 1985 no se detectó el elemento. Tisdale *et al.* (1985) menciona que la concentración de este macro nutriente en las plantas es típicamente entre 1 y 5%, pero este puede ser algunas veces más alto.

En Zoquiápan el **K** (Fig. 11-B2) tuvo su máxima concentración de 1971 a 1975 con 282 395 $\mu\text{g/g}$ y la mínima en el último período (1996-2000) con 13 737 $\mu\text{g/g}$. Tisdale *et al.* (1985) mencionan que el K es absorbido de las solución del suelo como ion K^+ . Existe en varias formas en los suelos, y la fracción que es fácilmente disponible para las plantas usualmente representa una muy pequeña proporción del potasio total en el suelo.

En *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl el **Mg** (Fig. 11-A3) se detectó solo en algunos años (1973, 1989, 1997, 1999 y el 2000) en promedio las máximas concentraciones fueron de 3.3×10^7 $\mu\text{g/g}$ durante el último quinquenio (1996-2000), mientras que anteriormente en el período de 1976 a 1985 no se detectó el elemento. Watmough y Hutchinson (1999) encontraron en *Abies religiosa* una disminución en Mg desde 200 a 100 $\mu\text{g/g}$ en el Desierto de los Leones.

En Zoquiápan el **Mg** de (Fig. 11-B3) tuvo su mayor concentración de 1971 a 1975 con 4.1×10^7 $\mu\text{g/g}$, después fue disminuyendo hasta encontrarse la mínima cantidad con 1.6×10^7 $\mu\text{g/g}$ durante el penúltimo período (1991-1995). Según Tisdale *et al.* (1985) este macro nutriente es absorbido en forma de ion Mg^{2+} y su concentración usual varía entre 0.1 y 0.4%. El Mg es

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

un elemento móvil y es fácilmente translocado de las partes mas viejas de las plantas a las mas jóvenes cuando hay una deficiencia. Por su movilidad y fácil translocación los síntomas de deficiencia (clorosis, necrosis) aparecen primero en las hojas que se encuentran mas abajo.

En Iztlapopocatépetl (Fig.11-A4) se puede observar que durante el periodo (1986-1990) de mayor crecimiento del cambium (1.9 mm por año) hubo un aumento en la concentración de los macro nutrientes (Mg, K y Ca), después (1991-1995) se observo que el crecimiento de los anillos disminuyo a 1.1 mm por año y también la concentración de estos elementos fue menor, nuevamente durante el ultimo quinquenio hubo un aumento en el crecimiento (1.4 mm por año) y se observaron las mayores concentraciones de Mg, K y Ca.

En Zoquiapan el periodo de mayor crecimiento (Fig. 11-B4) fue de 1976 a 1980 con 11 mm por año y la concentración de los macro nutrientes era mayor que en años posteriores, después en el penúltimo quinquenio (1991-1995) el crecimiento se redujo hasta 5.7 mm por año y también en este periodo se observo la menor concentración de Mg, K y Ca.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

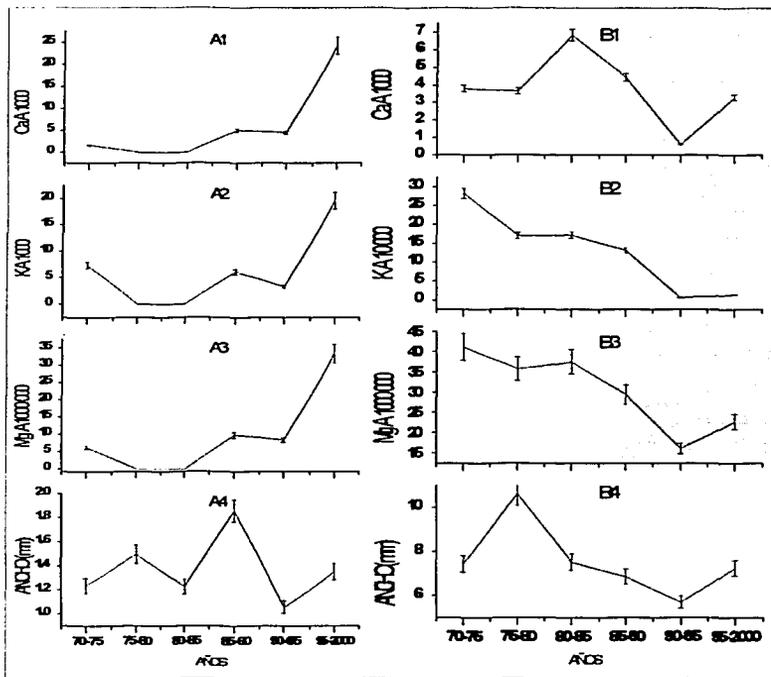


Figura 11: Representación quinquenal, de los macronutrientes detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Abies religiosa* del Iztopopocatépetl (A1-A4) y de Zoquiapan (B1-B4), y el ancho de sus anillos.

Para el ultimo periodo se observa un aumento en la concentración de estos elementos así como en el crecimiento (7.2 mm por año).

Mediante el dendrograma (Fig. 12) se observó que en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* las mayores concentraciones se presentaron en el periodo de 1985 al 2000 y de 1970 a 1975, mientras que las menores se encontraron de 1975 a 1985.

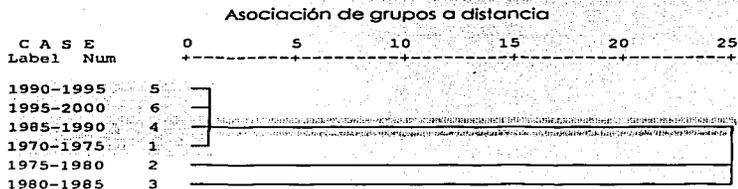


Figura 12: Agrupación histórica de macronutrientos en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* del Izapopocatépetl por periodos quinquenales.

Como se observa en el dendrograma (Fig. 13) las mayores concentraciones de macronutrientos en *Abies religiosa* de Zoquiapan se encontraron de 1975 a 1985, después de 1990 al 2000 y las menores fueron de 1970 a 1975.

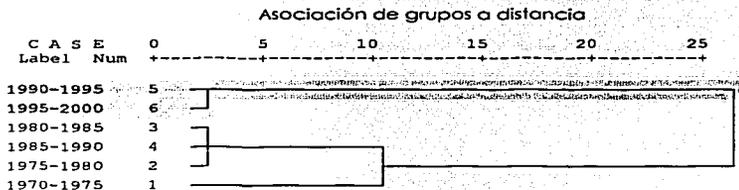


Figura 13: Agrupación histórica de macronutrientos en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* de Zoquiapan por periodos quinquenales.

7.1.2 Elementos del Grupo Micronutrientos: Zn, Co, Cu, Fe, Mn, V y Cl

7.1.2. A *Pinus montezumae*

En cuanto al **Zn** (Fig. 14-A1) del Iztapapocatépell sus mayores concentraciones fueron en el periodo de 1976 a 1985 con 176 y 186 $\mu\text{g/g}$. Y las mínimas se presentaron en el periodos de 1971 a 1975 y de 1996 al 2000 con solo 46 y 3.4 $\mu\text{g/g}$ respectivamente. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992) el Zn es deficiente de 10 a 20 $\mu\text{g/g}$, es suficiente o normal de 27 a 150 $\mu\text{g/g}$ y resulta excesivo o tóxico de 100 a 400 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan se encontraron las mayores concentraciones para el **Zn** (Fig. 14-B1) durante el periodo de 1971 a 1975 con 194 $\mu\text{g/g}$, después fue disminuyendo hasta el penúltimo quinquenio (1991 a 1995) en donde se detecto la menor cantidad con 65 $\mu\text{g/g}$. Según Tisdale *et al.* (1985) el Zinc es un elemento de transición requerido por las plantas. El rango normal de concentración es de 25 a 150 $\mu\text{g/g}$. Las deficiencias de este elemento están usualmente asociadas con concentraciones menores de 20 $\mu\text{g/g}$, y las toxicidades pueden ocurrir cuando el nivel de Zn excede 400 $\mu\text{g/g}$. Las raíces de las plantas absorben el Zn como ion Zn^{2+} y como componente sintético y complejos moleculares naturales. Las sales solubles de zinc y los complejos de zinc también pueden entrar en el sistema de la planta directamente a través de las hojas.

Solamente en Zoquiapan se detecto el **Co** (Fig. 14-B1) y sus máximas concentraciones fueron en el periodo 1981 a 1985 con 11 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima fue en el siguiente quinquenio de 1986 a 1990 con 4 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992) el Co es suficiente o normal de 0.02 a 1 $\mu\text{g/g}$, y excesivo o tóxico de 15 a 50 $\mu\text{g/g}$.

La mayor concentración de **Cu** en el Iztapapocatépell fue en dos quinquenios (de 1976 a 1985) con 77 y 67 $\mu\text{g/g}$; después disminuye hasta el último quinquenio (1996-2000) encontrándose las menores concentraciones con 1.2 $\mu\text{g/g}$ (Fig. 14-A2). Tisdale *et al.* (1985) dice que las concentraciones normales de Cu en las plantas es de 5 a 20 $\mu\text{g/g}$. El Cu es absorbido en las plantas en forma de ion Cu^{2+} , y puede ser absorbido como un componente de otra naturaleza o complejos orgánicos sintéticos. Las sales de Cu y complejos son también absorbidos a través de las hojas.

En Zoquiapan el **Cu** (Fig. 14-B2) tuvo las máximas concentraciones con 74 $\mu\text{g/g}$ en el quinquenio de 1971 a 1975, mientras las menores cantidades se detectaron de 1986 a 1995 con 34 y 36 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992), en ningún periodo las concentraciones de Cu fueron

normales (de 5 a 20 $\mu\text{g/g}$), y durante todo el periodo resultaron excesivas o tóxicas (de 20 a 100 $\mu\text{g/g}$).

En el periodo de 1981 a 1985 se detectó la máxima concentración de **Fe** en el Iztapopocatópetl (Fig. 14-A3) con 8 395 $\mu\text{g/g}$, mientras que durante el último quinquenio se detectó la menor concentración con 334 $\mu\text{g/g}$.

El máximo contenido de **Fe** en Zoquiapan (Fig. 14-B3) fue durante el periodo de 1971 a 1975 y de 1981 a 1985 con 75 y 71 $\mu\text{g/g}$, después en el quinquenio de 1991 a 1995 se detectaron las menores concentraciones con 28 $\mu\text{g/g}$, y durante el último quinquenio (1996 al 2000) aumentó nuevamente encontrándose 47 $\mu\text{g/g}$. Según Tisdale *et al.* (1985), el rango suficiente de **Fe** en cultivos es normalmente entre 50 y 250 $\mu\text{g/g}$. Este funciona tanto como componente estructural y como cofactor para reacciones enzimáticas. El ion requerido en el metabolismo es Fe^{+2} , y este es absorbido en esta forma por las plantas. El hierro en la forma Fe^{+2} , está más disponible y móvil para la incorporación dentro de la estructura biomolecular. Algunos tejidos de plantas que contienen grandes cantidades de Fe^{+3} pueden exhibir síntomas de deficiencia de hierro.

Para el **Mn** del Iztapopocatópetl la máxima concentración (Figura 14-A4) fue en el periodo de 1986 a 1990 con 136 $\mu\text{g/g}$, y durante los periodos de 1976 a 1980 y de 1996 al 2000 casi no se detectó el elemento (entre 0 y 3.5 $\mu\text{g/g}$).

En Zoquiapan el **Mn** (Fig. 14-B4) presentó sus mayores concentraciones en el periodo de 1971 a 1975 siendo de 37.9 $\mu\text{g/g}$, después disminuye hasta 4.4 $\mu\text{g/g}$ de 1986 a 1990, y la menor concentración se detecta en el último quinquenio con 0.8 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Tisdale *et al.* (1985) el **Mn** es otro metal de transición requerido como un micro nutriente. Las concentraciones normales de este elemento en plantas es típicamente de 20 a 500 $\mu\text{g/g}$. Las deficiencias de **Mn** están usualmente asociadas con niveles entre 15 y 25 $\mu\text{g/g}$ en partes superiores de las plantas.

El mayor contenido de **V** en Iztapopocatópetl (Figura 14-A5) se observó en el periodo de 1986 a 1990 con 36 $\mu\text{g/g}$, mientras que en el último quinquenio (1996-2000) se detectaron solo 0.49 $\mu\text{g/g}$.

El **V** de *Pinus montezumae* de Zoquiapan (Fig. 14-B5) solo se detectó en algunos años presentándose las máximas concentraciones en el periodo de 1976 a 1980 con 3.6 $\mu\text{g/g}$, mientras que en los quinquenios de 1971 a 1975 y de 1996 al 2000 no se detectó el elemento. Según Kabata y Pendias (1992) el **V** se encuentra suficiente o normal de 0.2 a 1.5 $\mu\text{g/g}$, y es excesivo o tóxico de 5 a 10 $\mu\text{g/g}$.

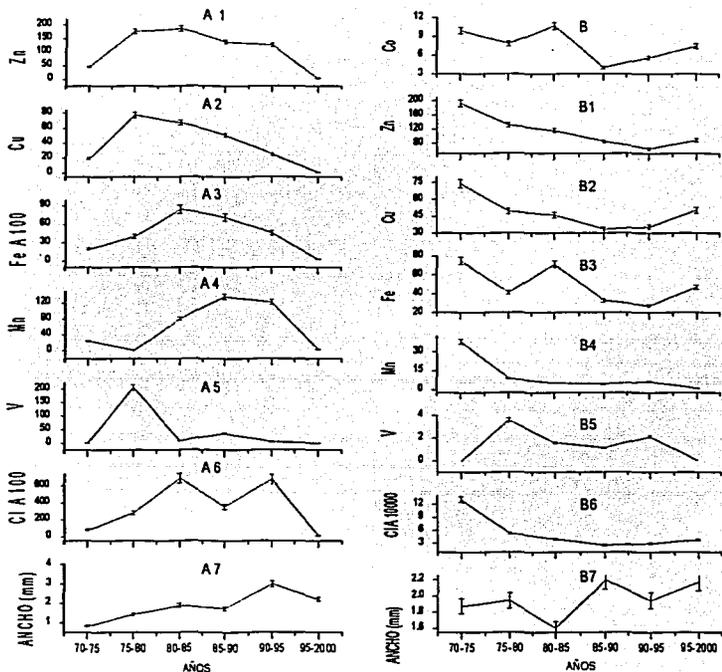


Figura 14: Representación quinquenal, de los micronutrientos detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl (A1-A7) y de Zoquiapan (B1-B7), y el ancho de sus anillos.

TESIS CON
FALLA DE CARGA

En Iztapopocatépetl el máximo contenido de Cl fue en el quinquenio de 1981 a 1985 con 68 860 $\mu\text{g/g}$ (Figura 14-A6), a diferencia del último quinquenio (1996-2000) en donde se encontró la menor concentración con 1123 $\mu\text{g/g}$.

Para el Cl de Zoquiápan (Fig. 14-B6) sus máximas concentraciones fueron en el quinquenio de 1971 a 1975 con aproximadamente 100 000 $\mu\text{g/g}$, después se fue disminuyendo hasta el quinquenio de 1986-1990 en donde se encontraron de 25 438 $\mu\text{g/g}$; luego aumento nuevamente durante la última década (de 1991 al 2000) detectándose de 29 504 a 37 299 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Tisdale *et al.* (1985) este micro nutrimento es absorbido por las plantas en forma de ion Cl^- a través de las raíces y partes aéreas, las concentraciones que se encuentran entre de 70 y 700 $\mu\text{g/g}$ son usualmente indicativas de deficiencia de Cl. Aunque el intervalo normal de concentración de Cl en las plantas es alrededor de 0.2 al 2%, los niveles tan altos como el 10% son comunes. Todos esos valores son mucho mas grandes que los requerimientos fisiológicos de muchas plantas. La absorción tanto de NO_3^- y SO_4^{2-} puede ser reducida por efectos competitivos del cloro.

El período de menor crecimiento en el Iztapopocatépetl (Fig. 14-A7) fue de 1971 a 1975 con 0.84 mm, después aumentó a 1.4 mm por año al mismo tiempo en que se observo un aumento en la concentración de Zn, Cu, Fe, V y Cl. Después durante el último período (1996-2000) hubo una reducción en el crecimiento con respecto al penúltimo período (de 2.9 a 2.2 mm por año) y de manera similar sucedió una disminución en la concentración de los micro nutrimentos como el Zn, Cu, Fe, Mn, V y Cl.

En Zoquiápan (Fig. 14-B7) se observo una disminución en el crecimiento (de 1.9 mm a 1.6 mm por año) en el quinquenio de 1981 a 1985, período en el que se redujo la concentración de Zn, Cu, Mn, V, y Cl. Después durante el último quinquenio (1996-2000) hubo un aumento en la anchura de los anillos (2.1 mm) época en la que se observo un ligero incremento en la concentración de Co, Zn, Cu, Fe y Cl.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el dendrograma (Fig. 15) se observó que la mayor concentración de micronutrientes fue en los períodos de 1975 a 1985 principalmente, después de 1970 a 1975 y de 1995 al 2000. Mientras que las menores concentraciones se encontraron de 1985 a 1990.

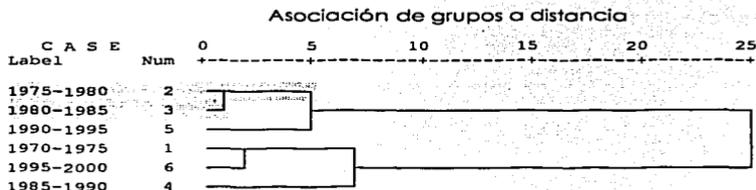


Figura 15: Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl por períodos quinquenales.

En el Dendrograma (Fig. 16) se puede observar un solo cúmulo de asociación muy cercana para los micronutrientes de *Pinus montezumae* de Zoquiapan, ya que se encontraron con una concentración equilibrada durante los treinta años.

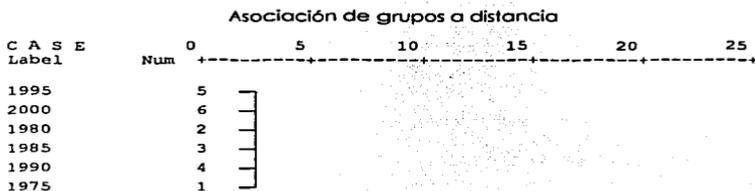


Figura 16: Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* de Zoquiapan por períodos quinquenales.

7.1.2. B *Abies religiosa*

En Iztapopocatópetl el Zn (Fig. 17-A1) presenta la máxima concentración en el último quinquenio con 20 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima se encontró en el penúltimo quinquenio con 7.6 $\mu\text{g/g}$, y de 1976 a 1985 no fue detectado el elemento. De acuerdo con Kabata y Pendias el zinc es deficiente cuando se presenta de 10 a 20 $\mu\text{g/g}$, suficiente o normal de 27 a 150 $\mu\text{g/g}$ y excesivo o tóxico de 100 a 400 $\mu\text{g/g}$. Watmough y Hutchinson (1999) encontraron en *Abies religiosa* un aumento en la concentración de Zn de 150 a 200 $\mu\text{g/g}$ en una zona contaminada; y de 300 a 600 $\mu\text{g/g}$ en otro sitio. Alvarado et al. (1993); en Watmough y Hutchinson (1999) se sugirió que una deficiencia de Zn estaba asociada con el decline de los árboles.

En Zoquiapan el Zn (Fig. 17-B1) tuvo su máxima concentración en el período de 1971 a 1975 con 37 $\mu\text{g/g}$ y la mínima en el penúltimo quinquenio con 3.4 $\mu\text{g/g}$. Según Mortvedt et al. (1983) este micronutriente es deficiente cuando se encuentra con 20 $\mu\text{g/g}$ o menos, es suficiente de 25 a 150 $\mu\text{g/g}$, y se clasifica como excesivo o tóxico cuando tiene 400 $\mu\text{g/g}$ o más.

En Iztapopocatópetl la máxima concentración de Cu (Fig. 17-A2) se observó en el último quinquenio (1995-2000) con 4.48 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima se detectó en el penúltimo quinquenio con 1.18 $\mu\text{g/g}$, y de 1976 a 1985 no se detectó el elemento. Watmough y Hutchinson (1999) encontraron en *Abies religiosa* una tendencia natural radial en la concentración de 1 a 6 $\mu\text{g/g}$ de Cu en los últimos 100 años.

En Zoquiapan el Cu (Fig. 17-B2) tuvo su mayor concentración en el período de 1971 a 1975 con 47.8 $\mu\text{g/g}$, y la mínima se encontró en el penúltimo quinquenio con 6 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Mortvedt et al. (1983) el Cu es deficiente si es menor a 4 $\mu\text{g/g}$, es suficiente de 5 a 20 $\mu\text{g/g}$ y resulta excesivo o tóxico si es mayor a 20 $\mu\text{g/g}$.

El Co en Iztapopocatópetl (Fig. 17-A3) presentó su mayor concentración en el último quinquenio con 1.2 $\mu\text{g/g}$ y la mínima en el período de 1971 a 1975 con 0.6 $\mu\text{g/g}$, mientras que el resto de los años, no se detectó el elemento.

En Zoquiapan el Co (Fig. 17-B3) tuvo su mayor concentración con 4 $\mu\text{g/g}$ en el período de 1981 a 1985, y su menor cantidad se encontró en el penúltimo quinquenio (1991 a 1995) con 0.5 $\mu\text{g/g}$. Según Kabata y Pendias

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

(1992) la concentración suficiente o normal de este elemento es de 0.02 a 1 µg/g, y resulta excesiva o tóxica de 15 a 50 µg/g.

En Iztapopocatépetl el **Fe** (Fig. 17-A4) tuvo su máxima concentración con 3209 µg/g en el último quinquenio (1996-2000), mientras que las menores se encontraron en los quinquenios de 1971 a 1975 con 10.8 µg/g; de 1986 a 1990 con 25.6 µg/g; de 1991 a 1995 con 52.3 µg/g, y de 1976 a 1985 no se detectó el elemento.

En Zoquiapan el **Fe** (Fig. 17-B4) tuvo su máxima concentración en el quinquenio 1971 a 1975 con 18.3 µg/g, y la mínima fue en el último quinquenio (1996-2000) con 8.4 µg/g. De acuerdo con Mortvedt *et al.*, (1983) este micro nutrimento es deficiente cuando es menor a 50 µg/g, es suficiente de 50 a 250 y no se conoce cuando su concentración resulta excesiva o tóxica.

En cuanto al **Mn** del Iztapopocatépetl (Fig. 17-A5) solo se detectó su máxima concentración en el último quinquenio (1996-2000) con 188 µg/g, mientras que las menores concentraciones se detectaron en el quinquenio de 1971 a 1975 con 0.7 µg/g; de 1986 a 1995 con 3.1 y 2.5 µg/g, y durante el periodo de 1976 a 1985 no se detectó el elemento. Kabata y Pendias (1992) reportan al Mn deficiente cuando se encuentra de 15 a 25 µg/g, como suficiente o normal de 20 a 300 µg/g y es excesivo o tóxico de 300 a 500 µg/g. Watmough y Hutchinson encontraron en *Abies religiosa* concentraciones de Mn entre 5 y 10 mg/kg.

En Zoquiapan el **Mn** (Fig. 17-B5) tuvo su mayor concentración en el periodo de 1981 a 1985 con 5.78 µg/g, y en el penúltimo quinquenio se presentó la menor concentración con 0.62 µg/g. Mortvedt *et al.* (1983) reportan este micronutrimento como deficiente cuando es menor a 20 µg/g, como suficiente de 20 a 500 µg/g, y cuando es mayor a 500 µg/g es excesivo o tóxico.

La máxima concentración de **V** en Iztapopocatépetl (Fig 17-A6) fue de 1.74 µg/g en el quinquenio de 1986 a 1990, mientras que en los periodos de 1976 a 1990 y de 1996 al 2000 no se detectó el elemento.

En Zoquiapan el **V** (Fig.17-B6) tuvo sus mayores concentraciones con 4.9 µg/g en el último quinquenio (1996-2000), sus menores concentraciones fueron en los periodos de 1971 a 1975 y de 1991 a 1995 con 0.34 y 0.36 µg/g, y durante el periodo de 1981 a 1985 no se detectó el elemento. Kabata y Pendias (1992) reportan al V como suficiente o normal de 0.2 a 1.5 µg/g y como excesivo o tóxico del 5 a 10 µg/g.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En Iztapopocatépetl la máxima concentración de Na (Fig. 17-A7) se detectó en el último quinquenio (1996 al 2000) con 1×10^{13} $\mu\text{g/g}$, y anteriormente en el periodo de 1971 a 1975 con 8.4×10^{11} $\mu\text{g/g}$, así como también de 1986 a 1995 se detectaron 1.6×10^{12} $\mu\text{g/g}$, mientras que en el periodo de 1976 a 1985 no se encontró el elemento.

En Zoquiapan las concentraciones detectadas de Na (Fig. 17-B7) presentaron su máximo contenido en el periodo de 1971 a 1975 con 4.4×10^{12} $\mu\text{g/g}$, y su menor concentración fue en el penúltimo quinquenio (1991-1995) con 1.6×10^{12} $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Tisdale *et al.* (1985) este micronutriente es absorbido por las plantas como ion Na^+ . Su concentración varía ampliamente de 0.01 a aproximadamente un 10% en las plantas.

El periodo de mayor crecimiento en el Iztapopocatépetl (Fig. 17-A8) fue de 1986 a 1990 con 1.9 mm por año, época en la que se observó un aumento en la concentración de Zn, Cu y V. Durante el siguiente periodo (1991-1995) se observó el menor crecimiento de los anillos (1.1 mm) tiempo en el que la concentración de Zn, Cu y V también disminuyó. Para el último quinquenio (1996-2000) se observó un aumento en la anchura de los anillos (1.4 mm) y en la concentración de Zn, Cu, Co, Fe, Mn y Na.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

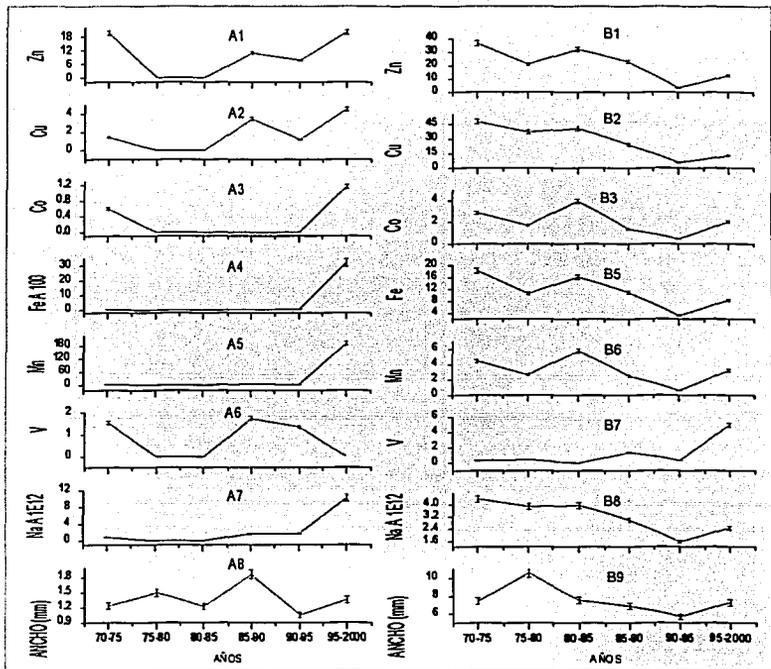


Figura 17: Representación quinquenal, de los micronutrientes detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Abies religiosa* del Iztapocotépetl (A1-A8) y de Zoquiapan (B1-B9), y el ancho de sus anillos.

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

En el Dendrograma (Fig. 18) se puede apreciar un cúmulo de asociación en donde las mayores concentraciones de micronutrientes en *Abies religiosa* del Itzapopocatépetl se presentaron en el periodo de 1985 al 2000 y de 1970 a 1975, y otro grupo mas distante en donde las concentraciones fueron mucho menores de 1975 a 1985.

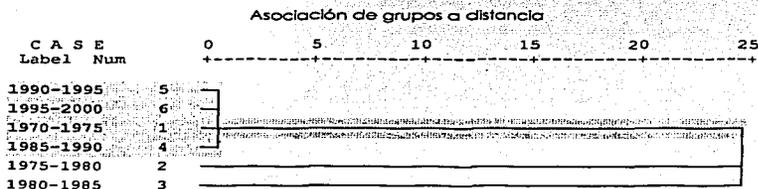


Figura 18: Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* del Itzapopocatépetl por periodos quinquenales.

Al igual que en *Pinus montezumae*, en este dendrograma (Fig. 19) se observo un solo cúmulo en donde los micronutrientes de *Abies religiosa* mostraron una concentración equilibrada durante los treinta años.

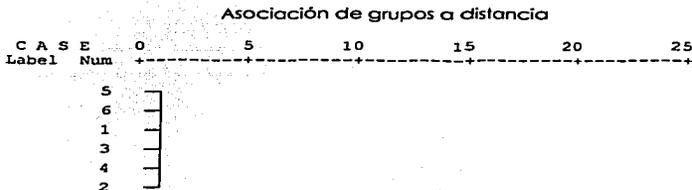


Figura 19: Agrupación histórica de micronutrientes en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* de Zoquiapan por periodos quinquenales.

7.1.3 Grupo de Elementos Traza: Ti, Hg, Zr, Pb, As, Ni, Cr, Ba, Cd, Se, Tl

7.1.3.A *Pinus montezumae*

En Iztapopocatópetl las mayor concentraciones de **Ti** (Fig. 20-A1) fueron en el periodo de 1971 a 1975 con 543 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1990 con 406 $\mu\text{g/g}$; mientras que en el último quinquenio (1996-2000) se detecto la menor concentración con 12.6 $\mu\text{g/g}$. Kabata y Pendas (1992) reportan como excesivas o tóxicas las concentraciones de 50 a 200 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan se detecto la máxima concentración de **Hg** (Fig. 20-B1) en el periodo de 1971 a 1975 con 39 $\mu\text{g/g}$, y la mínima durante el ultimo quinquenio con 1.2 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1976 a 1985, y de 1991 a 1995 no se detecto el elemento. De acuerdo con Kabata y Pendas (1992) para el Hg no se conocen las concentraciones deficientes y normales, sin embargo lo han reportado solo como excesivo o toxico de 1 a 3 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatópetl el mayor contenido de **Zr** (Fig. 20-A2) fue en el periodo de 1976 a 1980 con 723 $\mu\text{g/g}$, así como de 1981 a 1985 con 305 $\mu\text{g/g}$, mientras que las mínimas concentraciones se detectaron de 1986 a 1990 con 30 $\mu\text{g/g}$ y durante el ultimo quinquenio (1996-2000) con 2.7 $\mu\text{g/g}$. Para el Zr no se reportan las concentraciones deficientes ni suficientes o normales, únicamente como excesivas o tóxicas a partir de los 15 $\mu\text{g/g}$ (Kabata y Pendas 1992).

En el Iztapopocatópetl el **Pb** tuvo las máximas concentraciones (Figura 20-A3) en el periodo de 1976 a 1980 con 510 $\mu\text{g/g}$, y la menor fue en el ultimo quinquenio con 2.9 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1981 a 1996 no se detecto el elemento.

En Zoquiapan las máximas concentraciones de **Pb** (Figura 20-B2) se detectaron en el quinquenio de 1971 a 1975 con 136 $\mu\text{g/g}$, mientras que la menor cantidad se observo en el ultimo quinquenio con 20.3 $\mu\text{g/g}$. El resto de los años las concentraciones fueron entre 39 y 52 $\mu\text{g/g}$. Kabata y Pendas (1992) reportaron una concentración normal o suficiente de 5 a 10 $\mu\text{g/g}$ para el Pb, y como excesiva o toxica de 30 a 300 $\mu\text{g/g}$ en las plantas. En la madera de pino reportaron una concentración de 1 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con estos autores las concentraciones de Pb fueron excesivas o tóxicas en algunos años.

El **As** en el Iztapopocatópetl tuvo su máxima concentración (Figura 20-A4) en el periodo de 1986 a 1990 con 60 $\mu\text{g/g}$, y la mínima concentración se presento de 1976 a 1980 con 13 $\mu\text{g/g}$, mientras que en los periodos de 1981 a 1985 y de 1996 al 2000 no se detecto el elemento.

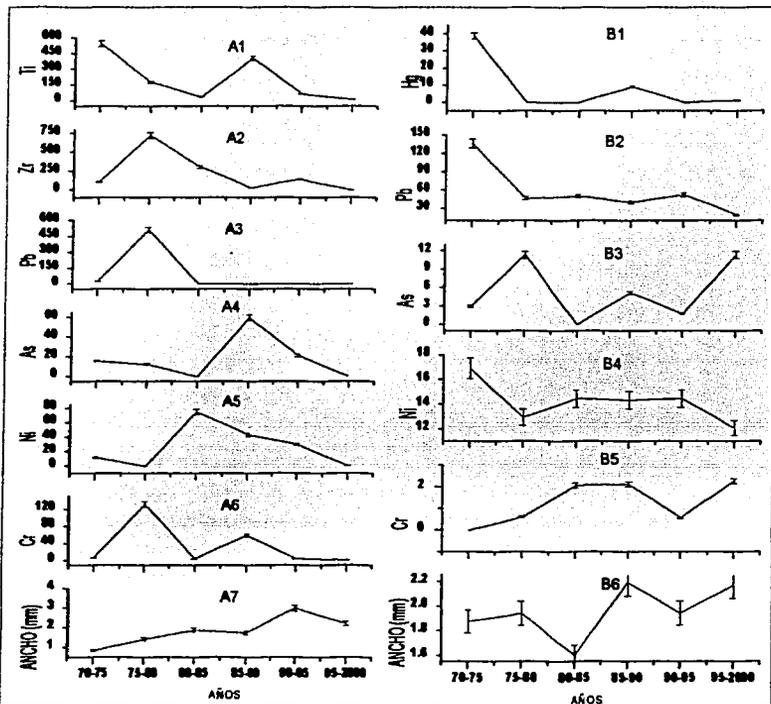


Figura 20: Representación quinquenal, de los elementos traza detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Pinus montezumae* del Itzapotecapetl (A1-A7) y de Zoquiapan (B1-B7), y el ancho de sus anillos.

Las máximas concentraciones de **As** en Zoquiapan (Figura 20-B3) fueron de $11 \mu\text{g/g}$ en los quinquenios de 1976 a 1980 y de 1996 al 2000, y las mínimas se encontraron de 1971 a 1975 con $3 \mu\text{g/g}$ y de 1991 a 1995 con

TEFIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.8 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1981 a 1985 no se detectó el elemento. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992) el As se encuentra suficiente o normal de 1 a 1.7 $\mu\text{g/g}$ y es excesivo o tóxico de 5 a 20 $\mu\text{g/g}$, por lo que las mayores concentraciones mencionadas anteriormente sobrepasaron las cantidades excesivas o tóxicas.

La máxima concentración de Ni en el Iztapopocatépetl (Figura 20-A5) fue en el periodo de 1981 a 1985 con 75 $\mu\text{g/g}$, mientras que para el último quinquenio solo se detectó 1 $\mu\text{g/g}$ y de 1976 a 1980 no se detectó tal elemento.

En Zoquiapan el Ni (Figura 20-B4) tuvo las mayores concentraciones en el periodo de 1971 a 1975 con 16.9 $\mu\text{g/g}$, y las menores cantidades se observaron durante el último quinquenio con 12.1 $\mu\text{g/g}$. Según Kabata y Pendias (1992) la concentración de Ni es suficiente o normal de 0.1 a 5 $\mu\text{g/g}$, y excesiva o tóxica de 10 a 100 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatépetl el Cr (Figura 20-A6) tuvo sus máximas concentraciones en el periodo de 1976 a 1980 con 131 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1990 con 59 $\mu\text{g/g}$, mientras que las mínimas se encontraron de 1981 a 1985 con 4.9 $\mu\text{g/g}$ y en el último quinquenio se detectaron 2.2 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan la máxima concentración de Cr (Fig. 20-B5) se detectó en el último quinquenio con 2.3 $\mu\text{g/g}$, y la mínima se observó en los periodos de 1976 a 1980 y de 1991 a 1995 con 0.6 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1971 a 1975 no se detectó el elemento. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992) el Cr es suficiente o normal de 0.1 a 0.5 $\mu\text{g/g}$ y excesivo o tóxico de 15 a 30 $\mu\text{g/g}$.

En el Iztapopocatépetl (Fig. 20-A7) el periodo de menor crecimiento se observó de 1971 a 1975 con 0.84 mm, tiempo en el cual se presentó la máxima concentración de Ti. En el siguiente periodo (1976-1980) el crecimiento aumentó a 1.4 mm por año, época en la que se observaron las máximas concentraciones de Pb, Zr y Cr, después disminuye notablemente la cantidad de estos elementos y el crecimiento aumentó hasta 1.89 mm. En el penúltimo quinquenio (1991-1995) se observó el máximo crecimiento del cambium (2.99 mm por año) y menores concentraciones de Ti, Pb y Cr.

En Zoquiapan (Fig. 20-B6) el periodo de menor crecimiento se presentó de 1981 a 1985 con 1.6 mm por año el cual está asociado con la mínima concentración de As. En el último quinquenio (1996-2000) se observó un aumento en el crecimiento (2.1 mm por año) y una disminución en la concentración de Ni y Pb, así como también un aumento en la cantidad de Cr y As.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.1.3.B *Abies religiosa*

En Iztapopocatépetl el **Al** (Fig. 23-A) solo se detecto en el ultimo quinquenio con 18 685 $\mu\text{g/g}$. Watmough y Hutchinson (1999) encontraron entre 20 y 60 $\mu\text{g/g}$ en *Abies religiosa* del Desierto de los Leones durante los últimos 100 años. Kabata y Pendias (1992) detectaron 7 $\mu\text{g/g}$ en madera de Pino en los bosques de Ucrania, U.S.S.R.

En Iztapopocatépetl la máxima concentración de **Tl** (Fig. 23-A1) se observo en el ultimo quinquenio con 4.5 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1990 con 4.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que el resto de los años no se detecto el elemento.

Para el **Tl** en Zoquiapan (Fig. 23-B1) sus máximas concentraciones fueron en el periodo de 1986 a 1990 con 38 $\mu\text{g/g}$ y de 1981 a 1985 con 19 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima se encontró en el quinquenio de 1976 a 1980 con 4.1 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Kabata y Pendias la concentración de **Tl** resulta excesiva o toxica a partir de 20 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatépetl el **Se** (Fig.23-A2) únicamente se detecto en el ultimo quinquenio (1996-2000) con 3.3 $\mu\text{g/g}$.

La mayor concentración de **Se** en Zoquiapan (Fig. 23-B2) se encontró en el periodo de 1976 a 1980 con 9.8 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima cantidad se observo en el ultimo quinquenio con 0.17 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Kabata y Pendias este micro nutrimento se encuentra como suficiente o normal de 0.01 a 2 $\mu\text{g/g}$ y resulta excesivo o toxico de 5 a 30 $\mu\text{g/g}$.

En cuanto al **Cd** en Iztapopocatépetl (Fig. 23-A3) solo se detecto en el año ultimo quinquenio (1996- 2000) con 100 $\mu\text{g/g}$.

Para el **Cd** en Zoquiapan (Fig. 23-B3) la máxima concentración fue en el periodo de 1971 a 1975 con 178 $\mu\text{g/g}$; después comienza a disminuir hasta el ultimo quinquenio en donde se detecto la mínima cantidad con 81 $\mu\text{g/g}$. Según Kabata y Pendias (1992) este elemento trazado es suficiente o normal de 0.05 a 0.2 $\mu\text{g/g}$ y resulta excesivo o toxico de 5 a 30 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatépetl la mayor concentración de **Ba** (Fig. 23-A4) se encontró en el quinquenio de 1986 a 1990 con 153 $\mu\text{g/g}$, y la mínima se observo en el periodo de 1971 a 1975, mientras que de 1976 a 1985 y de 1991 a 1995 no se detecto el elemento.

En Zoquiapan el **Ba** (Fig. 23-B4) tuvo sus mayores concentraciones en el quinquenio de 1971 a 1975 con 1839 $\mu\text{g/g}$ después disminuyo a 689 $\mu\text{g/g}$ de 1976 a 1980, mientras que la mínima cantidad se encontró en el

penúltimo período con 338 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992) este elemento es tóxico cuando se encuentran 500 $\mu\text{g/g}$. No mencionan cuando es suficiente y normal o deficiente.

En Iztapopocatépetl el **Ti** (Fig. 23-A5) solo se detecto en el ultimo quinquenio con 502 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1990 con 3.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que el resto de los años no se detecto el elemento.

En Zoquiapan (Fig. 23-B5) el **Ti** tuvo sus máximas concentraciones en el ultimo quinquenio (1996-2000) con 101 $\mu\text{g/g}$ y de 1971 a 1975 con 5.2 $\mu\text{g/g}$, mientras que la menor cantidad se observo de 1986 a 1990 con 0.5 $\mu\text{g/g}$. Kabata y Pendias (1992) reportan a este elemento traza como excesivo o toxico si se encuentra de 50 a 200 $\mu\text{g/g}$.

La mayor concentración de **Pb** en el Iztapopocatépetl (Fig. 23-A6) fue en el ultimo quinquenio (1996-2000) con 32 $\mu\text{g/g}$ y las menores cantidades fueron de 1971 a 1975 con 1 $\mu\text{g/g}$, mientras que el resto de los años no se detecto este elemento.

En Zoquiapan el **Pb** (Fig. 23-B6) tuvo su mayores concentraciones en el periodo de 1971 a 1975 con 57 $\mu\text{g/g}$ y de 1981 a 1985 con 55 $\mu\text{g/g}$, mientras que en el penúltimo y ultimo quinquenio se detectaron las menores concentraciones con 5 y 11 $\mu\text{g/g}$. Kabata y Pendias (1992) dicen que este elemento traza es suficiente o normal de 5 a 10 $\mu\text{g/g}$ y que es excesivo o toxico de 30 a 300 $\mu\text{g/g}$. Watmough y Hutchinson (1999) encontraron de 0.5 a 2 $\mu\text{g/g}$ de **Pb** en *Abies religiosa*.

El **Ni** en Iztapopocatépetl (Fig. 23-A7) presento su máxima concentración en el ultimo quinquenio con 3.3 $\mu\text{g/g}$ y las mínimas de 1971 a 1975 con 0.3 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1990 con 0.9 $\mu\text{g/g}$, mientras que el resto de los años no se detecto el elemento.

En Zoquiapan el **Ni** (Fig. 23-B7) tuvo su máxima concentración en el periodo de 1971 a 1975 con 4.1 $\mu\text{g/g}$, y su menor cantidad se observo en el ultimo quinquenio (1996-2000) con 0.1 $\mu\text{g/g}$. De acuerdo con Kabata y Pendias (1992) la concentración del Ni es suficiente o normal de 0.1 a 5 $\mu\text{g/g}$, y es excesivo o tóxico si se encuentra de 10 a 100 $\mu\text{g/g}$. No reportan cuando es deficiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

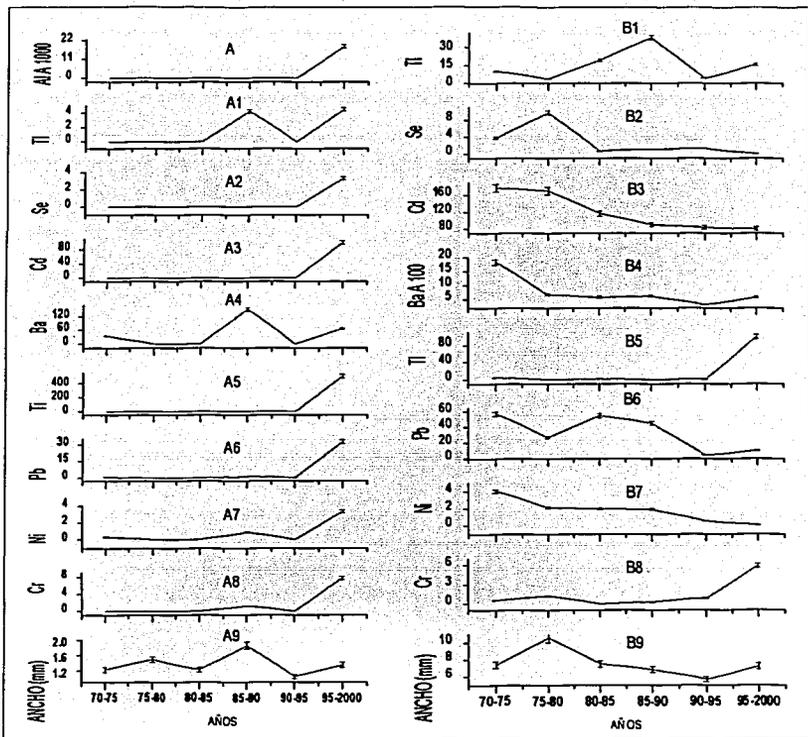


Figura 23. Representación quinquenal, de los elementos traza detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl (A1-A9) y de Zoquiapan (B1-B9), y el ancho de sus anillos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En Iztapopocatépetl el Cr (Fig. 23-A8) tuvo la mayor concentración en el último quinquenio con 7.7 $\mu\text{g/g}$ y la menor en el período de 1986 a 1990 con 1.2 $\mu\text{g/g}$, mientras que el resto de los años no se detectó el elemento.

El máximo contenido de Cr en Zoquiapan (Fig. 23-B8) fue en el último quinquenio con 5.9 $\mu\text{g/g}$, y su menor concentración fue en el período de 1986 a 1990 con 0.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que en el quinquenio de 1981 a 1985 no se detectó. De acuerdo con Kabata y Pendias (*op. cit.*) la concentración suficiente o normal de Cr es de 0.1 a 0.5 $\mu\text{g/g}$, y resulta excesivo o tóxico de 5 a 30 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatépetl el período de mayor crecimiento (Fig. 23-A9) fue de 1986-1990 con 1.9 mm por año el cual estuvo asociado con la mayor concentración de Ba y Tl, después (1991-1995) se observó la época de menor crecimiento (1.1 mm) en la que las concentraciones elementales eran mínimas, y para el último quinquenio (1996-2000) aumenta el crecimiento (1.4 mm) junto con las concentraciones de Al, Ti, Se, Cd, Ba, Tl, Pb, Ni y Cr.

En Zoquiapan el período de mayor crecimiento (Fig. 23-B9) fue de 1976 a 1980 con 11 mm por año al igual que la máxima concentración de Se, sin embargo se observó una disminución en la concentración de Tl, Cd, Ba, Ti, Pb y Ni. Para el siguiente período (1981-1985) se observó una disminución en el crecimiento de los anillos (7.5 mm) y un aumento en la concentración de Ti y Pb. En el penúltimo quinquenio se observó el menor crecimiento (5.7 mm por año) así como también menores concentraciones en Ti, Se, Cd, Ba, Tl, Pb, Ni y Cr.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el Dendrograma (Fig. 24) se aprecian las máximas concentraciones de elementos traza en *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl, las cuales fueron de 1970 a 1975 y de 1985 a 1990, el resto de los años se encontró un cúmulo distante mostrando la menor asociación y por lo tanto las mínimas cantidades.

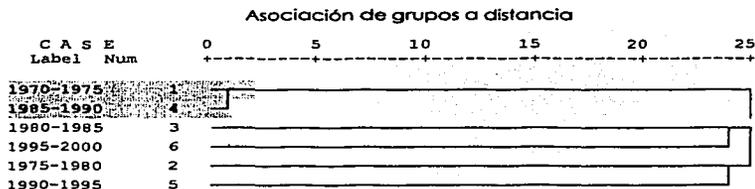


Figura 24: Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales.

En el dendrograma (Fig. 25) se observo que la mayor concentración de elementos traza en *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl fue durante los quinquenios de 1975 a 1980 y de 1990 a 1995; en menor asociación resultaron los periodos de 1970 a 1975 y de 1980 a 1990; y la menor concentración se observo durante el quinquenio más reciente.

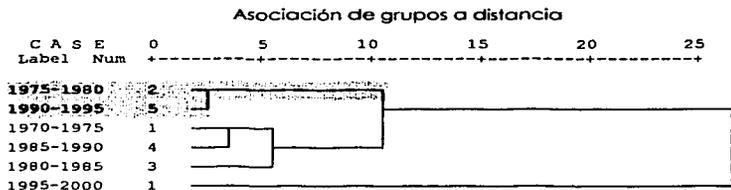


Figura 25: Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* de Zoquilarpan por periodos quinquenales.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

7.1.4 Elementos Parcialmente Necesarios: Y, U, La, Sr, Rb, Br, Ga

7.1.4.A. *Pinus montezumae*

El mayor contenido de **Y** en Iztapopocatépetl (Figura 26-A1) se encontró en el periodo de 1976 a 1980 con 859 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima concentración se observó en el último quinquenio (1996-2000) con 0.6 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1995 no se detectó el elemento.

En Zoquiapan el **U** (Figura 26-B) tuvo las máximas concentraciones en el periodo de 1971 a 1975 con 347 $\mu\text{g/g}$; después comienza a disminuir hasta encontrarse la mínima cantidad en el último quinquenio (1996-2000) con 56 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan el **La** (Figura 26-B1) tuvo la máxima concentración en el periodo de 1991 a 1995 con 22 $\mu\text{g/g}$, y la mínima se detectó en el quinquenio de 1976 a 1980 con 6.4 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatépetl el **Sr** mostró su máxima concentración (Figura 26-A2) en el periodo de 1981 a 1985 con 1991 $\mu\text{g/g}$, después disminuye hasta encontrarse la menor cantidad en el último quinquenio (1996-2000) con 1.3 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan se encontró la mayor cantidad de **Sr** (Figura 26-B2) en el periodo de 1971 a 1975 con 158 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima concentración se observó de 1986 a 1990 con 38.6 $\mu\text{g/g}$.

En cuanto al **Rb** (Figura 26-A3) del Iztapopocatépetl se tuvieron las máximas concentraciones en el periodo de 1981 a 1985 con 121 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima cantidad se observó en el último quinquenio (1996-2000) con 1 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan el **Rb** (Figura 26-B3) tuvo las máximas concentraciones en el último quinquenio (1996-2000) con 75 $\mu\text{g/g}$ y de 1971 a 1975 con 52.8 $\mu\text{g/g}$, mientras que la menor concentración se observó en el periodo de 1986 a 1990 con 15.1 $\mu\text{g/g}$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

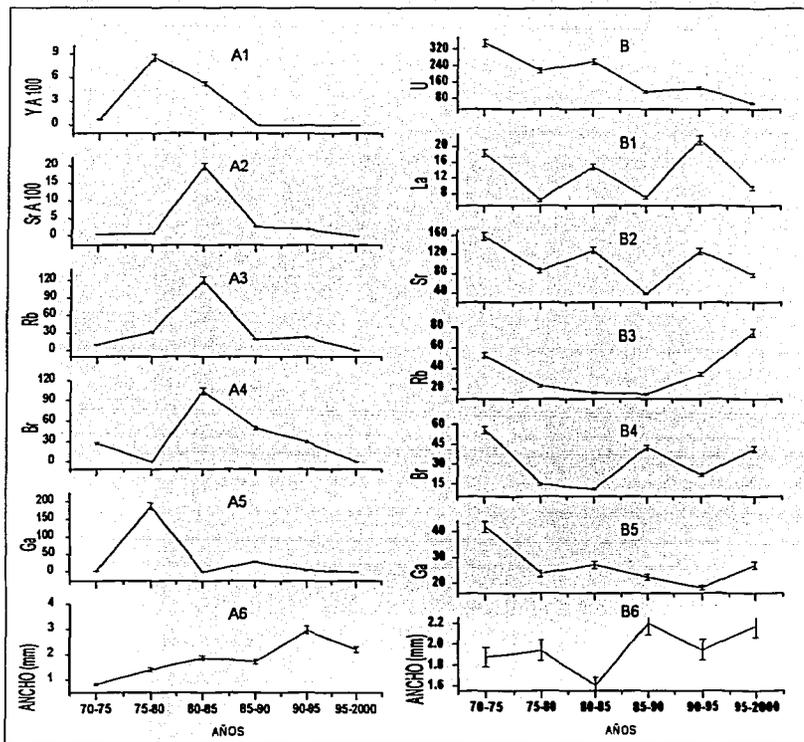


Figura 26: Representación quinquenal, de los elementos detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Pinus montezumae* del Izitapopocatépetl (A1-A6) y de Zoquiapan (B1-B6), y el ancho de sus anillos.

En el Iztapopocatópetl se observó la máxima cantidad de **Br** (Figura 26-A4) en el periodo de 1981 a 1985 con 105 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima fue en el último quinquenio con 0.99 $\mu\text{g/g}$ y de 1976 a 1980 no se detectó el elemento.

En Zoquiapan la mayor cantidad de **Br** (Figura 26-B4) fue detectada en el periodo de 1971 a 1975 con 56 $\mu\text{g/g}$, y su menor concentración se observó de 1981 a 1985 con 11 $\mu\text{g/g}$.

En el Iztapopocatópetl durante el periodo de 1976 a 1980 se presentaron las máximas concentraciones de **Ga** (Figura 26-A5) con 189 $\mu\text{g/g}$ y de 1986 a 1990 con 29 $\mu\text{g/g}$, mientras que para el último quinquenio (1996-2000) disminuyeron hasta 0.3 $\mu\text{g/g}$ y de 1981 a 1985 no se detectó el elemento.

En Zoquiapan las máximas cantidades de **Ga** (Figura 26-B5) fueron de 1971 a 1975 con una concentración de 41.7 $\mu\text{g/g}$, mientras que durante penúltimo quinquenio (1991 a 1995) se observó el menor contenido con 18.2 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatópetl el periodo de menor crecimiento (Figura 26-A6) se observó de 1971 a 1975 con 0.84 mm por año, después de 1976 a 1980 aumento a 1.4 mm por año, tiempo en el que se observó la máxima concentración de **Y** y **Ga**. Durante el siguiente quinquenio (1981-1985) hubo un mayor crecimiento de los anillos siendo de 1.89 mm por año, época en que se presentaron las máximas concentraciones de **Br**, **Rb** y **Sr**. Para el siguiente quinquenio se observó una disminución en la concentración de **Y**, **Sr**, **Rb** y **Br** mientras el crecimiento se mantuvo casi igual (1.74 mm por año). En el penúltimo quinquenio (1991-1995) se observó el máximo crecimiento de los anillos (2.99 mm) y una disminución en la concentración de **Sr**, **Br** y **Ga**.

En Zoquiapan (Figura 26-B6) durante el periodo de 1976 a 1980, cuando se observó un aumento en el crecimiento de los anillos (de 1.87 a 1.94 mm por año) hubo una disminución en la concentración de **U**, **La**, **Sr**, **Rb**, **Br** y **Ga**. Después (1981-1985) cuando se observó el menor crecimiento de los anillos (1.6 mm por año) aumento la concentración de **U**, **La**, **Sr** y **Ga**. Para el siguiente periodo (1986-1990) se tuvo el máximo crecimiento de los anillos (2.1 mm por año) mientras disminuía nuevamente la concentración de **U**, **La**, **Sr**, **Rb** y **Ga**. Durante el penúltimo quinquenio (1991-1995) se presenta una reducción en la anchura de los anillo (1.9 mm por año) y un incremento en la concentración de **U**, **La**, **Sr** y **Rb**. Y para el último quinquenio (1996-2000) se observó un aumento en el crecimiento (2.1 mm por año) y una menor concentración de **U**, **La** y **Sr**.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el dendrograma (Fig. 27) se observaron las máximas concentraciones de los elementos parcialmente necesarios en *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl en el periodo de 1980 a 1995. Después hubo una menor concentración durante el último quinquenio (1995-2000), y en el periodo en que se encontraron las mínimas cantidades fue de 1970 a 1980.

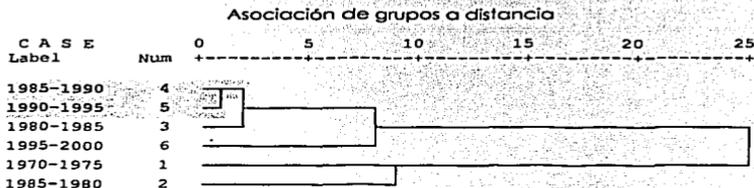


Figura 27: Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales.

En el dendrograma (Fig. 28) se observaron las mayores concentraciones de elementos parcialmente necesarios en *Pinus montezumae* de Zoquiapan a partir de 1970 hasta 1985. Después la concentración va disminuyendo a lo largo del tiempo encontrándose las menores cantidades en el periodo más reciente.

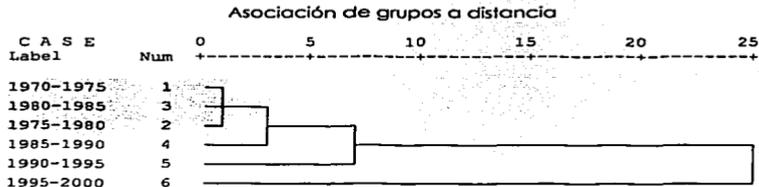


Figura 28: Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de *Pinus montezumae* de Zoquiapan por periodos quinquenales.

7.1.4.B *Abies religiosa*

En el Iztapopocatópetl el **Bi** (Fig. 29-A1) se detecto solamente en el periodo de 1971 a 1975 con 3 $\mu\text{g/g}$ y en el ultimo quinquenio (1996-2000) con 5 $\mu\text{g/g}$.

Y en Zoquiapan el **Bi** (Fig. 29-B1) tuvo su máxima concentración en el quinquenio de 1971 a 1975 con 118 $\mu\text{g/g}$ y la mínima se observo durante el penúltimo quinquenio con 5.1 $\mu\text{g/g}$.

En el Iztapopocatópetl el **Te** (Fig. 29-A2) solo se detecto en el periodo de 1991 a 1995 con 64 $\mu\text{g/g}$ y en el ultimo quinquenio (1995-2000) con 89 $\mu\text{g/g}$.

En Zoquiapan el **Te** (Fig. 29-B2) tuvo su mayor concentración en el periodo de 1981 a 1985 con 660 $\mu\text{g/g}$, después disminuye hasta 81 $\mu\text{g/g}$ en el penúltimo quinquenio (1991-1995).

En el Iztapopocatópetl el **Pd** (Fig. 29-A3) tuvo su máxima concentración en el periodo de 1971 a 1975 con 27 $\mu\text{g/g}$, la mínima se encontró en el penúltimo quinquenio con 2.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1976 a 1990 no se detecto el elemento.

El **Pd** en Zoquiapan (Fig. 29-B3) tuvo sus mayores concentraciones en el periodo de 1971 a 1975 con 98.7 $\mu\text{g/g}$, la menor se observo en el penúltimo quinquenio (1991-1995) con 17 $\mu\text{g/g}$, mientras que durante los periodos de 1976 a 1980 y de 1996 al 2000 no se detecto el elemento.

En el Iztapopocatópetl el **Y** (Fig. 29-A4) tuvo su máxima concentración con 3.38 $\mu\text{g/g}$ de 1986 a 1990, la mínima se observo en el ultimo quinquenio con 0.92 $\mu\text{g/g}$ y anteriormente durante el periodo de 1971 a 1985 no se detecto este elemento.

En Zoquiapan el **Y** (Fig. 29-B4) tuvo su máxima concentración en el periodo de 1976 a 1980 con 20 $\mu\text{g/g}$ y la mínima se observo en el quinquenio de 1986 a 1990 con 1.2 $\mu\text{g/g}$.

Las máximas concentraciones de **Br** en Iztapopocatópetl (Fig. 29-A5) se detectaron en los periodos de 1971 a 1975 y de 1986 a 1990 con 2.16 $\mu\text{g/g}$, y la mínima se encontró en el último quinquenio con 0.38 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1976 a 1985 no se detecto el elemento.

En Zoquiapan el **Br** (Fig. 29-B5) tuvo su mayor concentración en el periodo de 1971 a 1975 con 13 $\mu\text{g/g}$, mientras que la mínima se detecto de 1986 a 1990 con 1.9 $\mu\text{g/g}$.

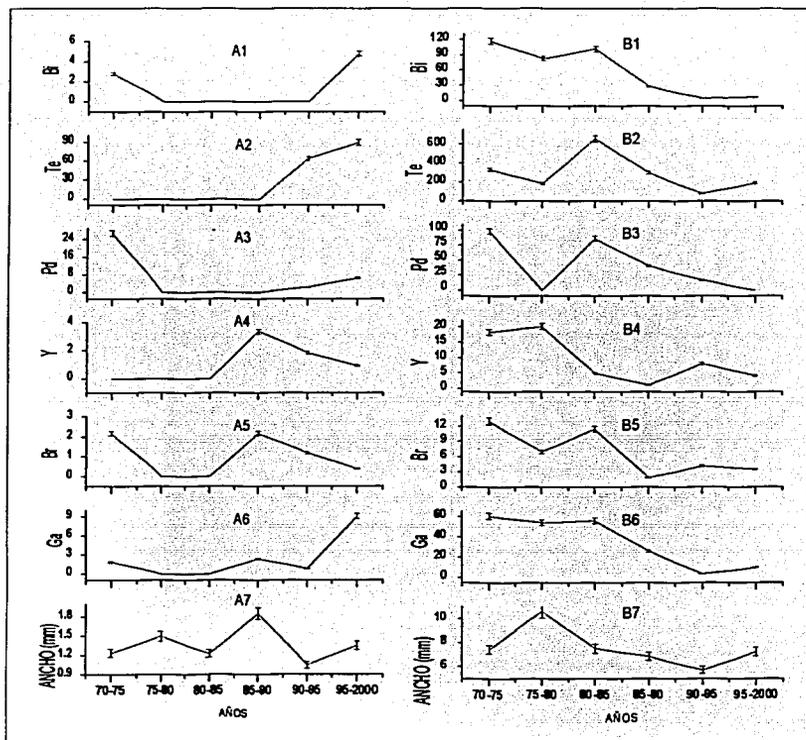


Figura 29. Representación quinquenal, de los elementos detectados ($\mu\text{g/g}$) por PIXE en *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl (A1-A7) y de Zoquiapan (B1-B7), y el ancho de sus anillos.

El **Ga** en Iztapopocatópetl (Fig. 29-A6) tuvo su mayor concentración en el último quinquenio con 9.1 $\mu\text{g/g}$ y la menor se observó durante el penúltimo quinquenio con 0.8 $\mu\text{g/g}$, mientras que de 1976 a 1985 no se detectó el elemento.

En Zoquiapan el **Ga** (Fig. 29-B6) tuvo la máxima concentración en el periodo de 1971 a 1975 con 60.3 $\mu\text{g/g}$, después disminuye hasta encontrarse la mínima cantidad en el penúltimo quinquenio (1991-1995) con 3.4 $\mu\text{g/g}$.

En Iztapopocatópetl se observó un aumento en el crecimiento (Fig. 29-A7) de los anillos (de 1.2 a 1.5 mm por año) durante el periodo de 1976 a 1980 en lo que disminuía la concentración de Bi, Pd, Br y Ga. Después se reduce el ancho de los anillos y no se observa una variación en la concentración de los elementos. Para el periodo de 1986 a 1990 se presenta el máximo crecimiento (1.9 mm por año) y las máximas concentraciones de Br e Y. Posteriormente (1991-1995) se presenta el menor crecimiento de los anillos (1.1 mm por año) mientras aumentaba la concentración de Te y Pd. Durante el último quinquenio se observó un mayor crecimiento (1.4 mm por año) junto con el aumento en la concentración de Te, Bi, Pd y Ga; y la disminución en Br e Y.

En Zoquiapan se observó aumento en el crecimiento (de 7.4 a 11 mm por año) en el quinquenio de 1976 a 1980 (Fig. 29-B7), época en que disminuyó la concentración de Bi, Te, Pd, Br y Ga. Después (1981-1985) el crecimiento se redujo a 7.5 mm por año y hubo un incremento en la concentración de Bi, Te, Pd, Br y Ga. Para el penúltimo quinquenio se observó la menor anchura de los anillos (5.7 mm por año) así como la menor concentración de Bi, Te y Ga, junto con un ligero aumento en la cantidad de Y y Br. En el último quinquenio se observó un mayor crecimiento de los anillos y una disminución en la concentración de Pd, Y y Br.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el dendrograma (Fig. 30) se observó que las mayores concentraciones de elementos parcialmente necesarios en *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl, se detectaron en la última década (1990 al 2000), y que las menores cantidades estuvieron presentes de 1975 a 1990. En el periodo donde no se observó asociación fue de 1970 a 1975.

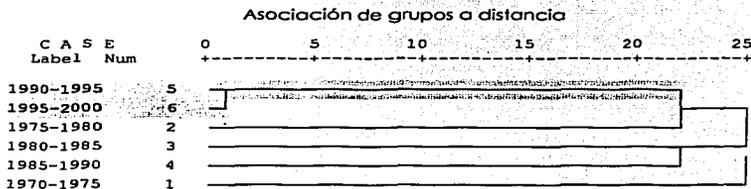


Figura 30. Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl por periodos quinquenales.

En el dendrograma (Fig. 31) se observó una asociación cercana en los últimos cuatro quinquenios (de 1980 al 2000) encontrándose en este periodo las mayores concentraciones de los elementos parcialmente necesarios en *Abies religiosa* de Zoquiapan, mientras que las menores cantidades se presentaron de 1970 a 1980.

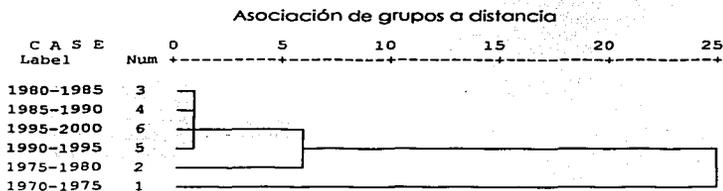


Figura 31. Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* de Zoquiapan por periodos quinquenales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.2 DENDROQUÍMICA CON EL REGISTRO CLIMÁTICO Y LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Los datos de precipitación y temperatura (Fig. 32-A) se obtuvieron de la estación meteorológica San Luis Ameca, debido a que se encuentra cerca de la zona de estudio Parque Nacional Iztapopocatépell (IZTA) en donde se observó que durante el periodo de 1970 a 1980 la temperatura aumentó progresivamente desde 14 hasta 16 °C, después (de 1981 a 1990) la temperatura se mantuvo entre 16 y 17 °C, y para los últimos 10 años (de 1991 al 2000) se encontraba entre los 15.5 y 16.5 °C. En tanto que la precipitación se encontraba entre 850 y 450 mm de 1970 a 1979, y en el periodo de 1980 a 1989 se mantuvo entre 600 y 500 mm, y para el último periodo (1990 al 2000) la precipitación estaba entre los 420 y 600 mm.

Para la zona de Zoquiapan (ZQ) los datos meteorológicos (Fig. 32-B) se obtuvieron de la estación Río Frío donde la temperatura aumento progresivamente en los últimos 15 años desde 9 hasta 11.5 °C, a diferencia del periodo anterior (de 1970 a 1985) en donde se mantuvo oscilando entre 9 y 10 °C. Por otro lado, la precipitación aumentó en los últimos 10 años (1991 al 2001) desde 1000 a 1400 mm, mientras que de 1970 a 1990 hubo variaciones entre los 800 y 1150 mm.

Se puede observar (Fig. 32-C) como ha sido la contaminación durante 30 años (1970 al 2000) en donde los niveles más altos se registraron de 1980 a 1990 presentándose desde los 300 hasta 425 ppm de PST, a diferencia de la década anterior (1970 a 1980) en donde se registraban desde 100 hasta 280 ppm, y durante el periodo de 1990 al 2001 disminuye paulatinamente de 340 a 190 ppm.

Igualmente el contenido de SO₂ (Fig. 32-C) se ha reducido desde 38 ppm en 1990 hasta 15 ppm en el 2000. Las emisiones de SO₂ a la atmósfera fueron mayores de 1985 a 1992 (de 28 a 36 ppm) y a partir de ese año disminuyeron hasta 16 ppm para el 2001. De acuerdo con Long y Davis (1999) las emisiones de SO₂ de una fundidora en British Columbia, afectaron el desarrollo de *Larix occidentalis* con las mas severas reducciones del crecimiento cuando las emisiones fueron mas altas. La disminución en el crecimiento puede estar relacionada con una función alterada de los estomas como se mostró en *Pinus banksiana* Lamb cuando fue expuesto a SO₂ bajo condiciones controladas (L'Hirondelle y Addison, 1985; citado por Long y Davis, 1999)

Las emisiones de PM₁₀ han disminuido desde 200 en 1987 hasta 100 en 1991, y a partir de esta fecha hubo una variación entre 100 y 50 ppm.

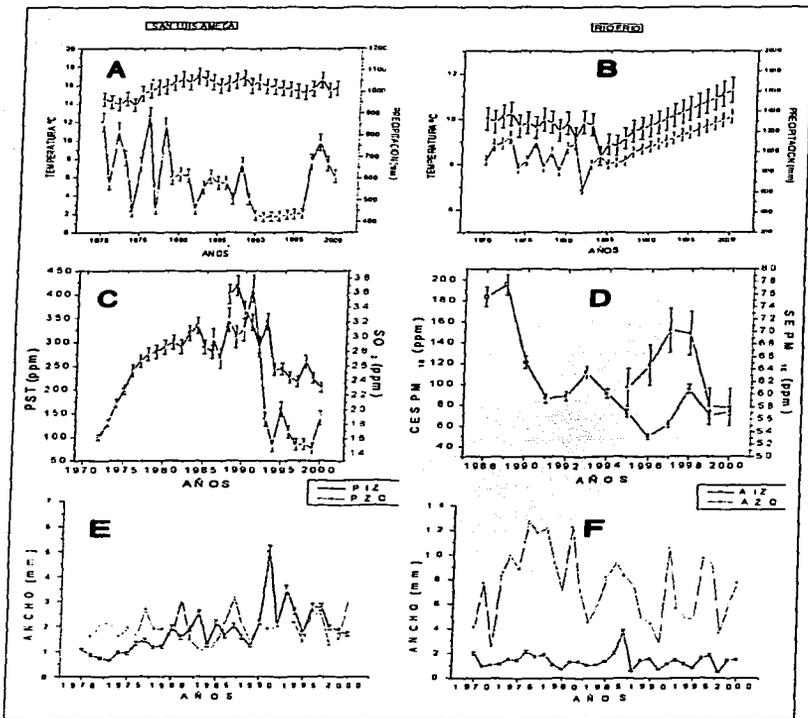


Figura 32. Precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de San Luis Ameca (A) y Río Frío (B), representando a los Parques Nacionales Iztapopocatépetl "IZ" y Zoquiapan "ZQ" respectivamente. Emisiones atmosféricas de PST y SO₂ (C) y las PM₁₀ del CES y el SE (D); el ancho de los anillos de *Pinus montezumae* Lamb. (E) y de *Abies religiosa* Schelcht. (F).

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Para las PM₁₀ del CES (Fig. 32-D) también se observó una disminución de 200 a 60 ppm, durante el periodo de 1990 al 2001, aunque no se tienen registros de años anteriores a 1986, cuando el crecimiento de los anillos era mayor, que en los años más recientes.

El crecimiento del **PINO-IZTA** (Fig. 32-E) fue de 1 mm de 1970 a 1980, después aumentó a 2 mm de 1980 a 1990 y la década más reciente de 1990 a 2000 el crecimiento fue de 2 a 4 mm por año, excepto en los últimos tres años que fue menor a 2 mm. Así como el uso de las anchuras de los anillos de los árboles para poder desarrollar series hidrológicas y climáticas ha sido exitoso en el oeste de los E. U. (Cook y Jacoby, 1977), aquí la anchura de los anillos nos indicaría que hubo una mayor precipitación en el periodo de 1991 a 1996.

En la Ciudad de México varias especies de pino incluyendo *Pinus hartwegii* (Lindl.), *Pinus leiophylla* y *Pinus montezumae* (Lam. Var. Lindley) han mostrado síntomas de decline siendo la contaminación atmosférica el principal factor (Walmough y Hutchinson, 1999).

En la Figura 32-E se muestra que el crecimiento del **PINO-ZQ** fue de 1.6 a 2.7 mm de 1970 a 1979, y de 1980 a 1989 el crecimiento fue de 1 a 3 mm y para el periodo de 1990 al 2000 el crecimiento osciló entre 1.3 y 3 mm.

En **ABIES-IZTA** (Fig. 32-F) se puede observar que el crecimiento fue entre 1 y 2 mm, de 1970 a 1979; para la siguiente década (1980 a 1989) el crecimiento del cambium fue de 0.5 a 1.3 mm y solo en 1986 y 1987 el crecimiento fue de 2 y 3.7 mm respectivamente, y para la última década (1990 al 2000) el crecimiento varió de 0.4 a 1.8 mm.

En **ABIES-ZQ** (Fig. 32-F) se puede observar el crecimiento de los anillos, el cual fue mayor de 1970 a 1980 (de 2.2 mm hasta 13 mm) y de 1980 a 1990 la anchura se encontró de 12 a 4 mm, y de 1991 al 2001 el crecimiento disminuyó desde 10.3 hasta 2.3 mm. Similarmente Alvarado *et al.* (1993) citado por Walmough y Hutchinson (1999), reportó un decline en la anchura de anillos durante los últimos 30 años en *Abies religiosa* del Desierto de los Leones, y Alarcón *et al.* (1995) citado por Walmough y Hutchinson (*op. cit.*) describió una drástica reducción en el crecimiento de *Pinus hartwegii* a principios de 1970 el cual no pudo ser atribuido al cambio climático.

7.2.1 Relación Entre el Ancho de los Anillos y las Concentraciones de los Elementos

Se obtuvieron las correlaciones (Tabla III) entre la anchura, los elementos detectados en los anillos, temperatura, precipitación, y emisiones atmosféricas (PST, SO₂, CES PM₁₀, SE PM₁₀) de la Ciudad de México.

Como se puede observar en el *Pinus montezumae* Lamb. del Iztapacatlépetl no hubo correlaciones significativas entre el ancho de los anillos y los elementos detectados. Tampoco se encontró una correlación significativa entre la anchura y los factores climáticos.

En cuanto a las emisiones atmosféricas se encontró una correlación significativa entre los SO₂ y las PST (0.765); también entre las PST y las CES PM₁₀ (0.889); y los SO₂ con las CES PM₁₀ (.590). Esto indica que la tendencia a lo largo del tiempo es similar entre los diferentes contaminantes.

También se encontró una correlación significativa entre las emisiones de SO₂ y el S detectado (0.598), así como de los SO₂ con el Pb detectado en los anillos (-0.533).

Igualmente se observaron correlaciones significativas entre las emisiones del CES PM₁₀ y algunos elementos detectados en los anillos de crecimiento, como son el Ti (0.699), el V (0.537), el Cr (0.541), el Fe (0.699), el Cu (0.614), el Ga (0.641), el As (0.639), el Br (0.649), el Rb (0.520), y el Sr (0.724). También se observó una correlación significativa y negativa entre las emisiones de SE PM₁₀ y el Ca detectado.

En la Tabla IV se pueden observar las correlaciones de los elementos detectados en los anillos, la anchura de *Pinus montezumae* Lamb. de Zoquiapan, la precipitación y temperatura de la estación meteorológica Río Frío y las emisiones atmosféricas de la Ciudad de México.

Como lo muestra la Tabla IV, se encontraron correlaciones poco significativas (.002 a 0.318) entre la anchura y los elementos detectados, siendo únicamente la más significativa para el As (0.557).

En cuanto a la anchura contra los factores climáticos (precipitación y temperatura) la correlación igualmente resultó muy débil (0.163 y 0.214).

En lo que se refiere a las emisiones atmosféricas y los elementos detectados en los anillos, solamente se observaron correlaciones significativas negativas entre las PST con el S (-0.517), Cl (-0.568), K (-0.694) y Ca (-0.681).

Tabla III. Correlaciones Pearson entre precipitación, temperatura, emisiones atmosféricas, anchura de los anillos de *Pinus montezumae* del Ixtapopocaltépetl, su concentración de macronutrientes, micronutrientes, elementos traza y elementos no esenciales.

	TEMP	PP	ANCHO	PST	SO ₂	CO ₂	SEM _{Na}	SE	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Pb
TEMP	1	0,19	0,354	0,76	0,543	0,66	0,467	0,19	0,36	0,331	0,376	-0,21	0,254	0,304	0,191	0,408	0,153	0,383	0,399	0,25	0,235	0,106	0,066	0,257	0,168	0,175	-0,52	
PP	-0,192	1	-0,5	-0,35	-0,314	0,05	0,347	-0,1	-0,22	-0,36	-0,27	-0,11	0,046	0,046	-0,337	-0,245	-0,168	0,009	-0,121	0,077	-0,104	-0,028	-0,053	-0,062	0,092	0,195	0,057	
ANCHO	0,354	-0,5	1	0,36	0,118	-0,35	0,839	0,04	0,28	0,318	0,193	-0,27	0,024	-0,084	0,219	0,099	0,114	-0,022	0,082	-0,074	0,002	0,028	0,07	0,030	0,02	0,02	0,429	
PST	0,761	-0,35	0,315	1	0,785	0,89	0,417	0,1	0,33	0,356	0,349	-0,12	0,095	0,102	0,176	0,408	0,097	0,255	0,209	0,097	0,27	0,187	0,126	0,22	0,052	0,021	-0,265	
SO ₂	0,543	-0,31	0,118	0,77	1	0,59	-0,46	0,8	0,28	0,199	0,209	0,442	0,454	0,343	0,042	0,383	0,315	0,431	0,242	0,424	0,287	0,513	0,103	0,203	-0,441	-0,25	0,45	
CO ₂	0,664	0,051	-0,35	0,89	0,59	1	0,122	0,1	0,23	0,302	0,410	0,099	0,537	0,541	0,228	0,099	0,161	0,814	0,134	0,041	0,639	0,648	0,52	0,724	-0,196	0,075	-0,44	
SEM _{Na}	0,467	0,347	0,639	0,42	0,464	0,12	1	-0,6	-0,52	-0,23	-0,803	-0,49	-0,32	-0,168	-0,525	-0,16	-0,178	-0,313	-0,119	-0,79	-0,225	-0,422	-0,831	-0,413	0,13	-0,91	-0,33	
SE	0,191	-0,07	0,04	0,17	0,598	0,1	-0,6	1	0,80	0,351	0,418	-0,03	-0,13	-0,16	-0,153	0,31	-0,119	-0,117	0,411	-0,108	-0,167	-0,137	-0,074	0,673	-0,14	-0,15	-0,16	
S	0,359	-0,22	0,262	0,33	0,277	0,23	-0,52	0,68	1	0,822	0,064	-0,16	0,154	0,051	0,411	0,098	-0,014	0,102	0,797	0,08	0,083	-0,084	-0,152	0,675	0,051	0,272	-0,21	
Cl	0,331	-0,36	0,318	0,36	0,199	0,3	-0,23	0,35	0,82	1	0,956	0,02	0,057	0,064	0,668	0,838	0,42	0,7	0,712	-0,01	0,369	0,281	0,212	0,603	0,15	0,173	-0,23	
K	0,376	-0,27	0,193	0,35	0,209	0,41	-0,8	0,42	0,80	0,956	1	0,046	0,133	0,183	0,622	0,89	0,296	0,284	0,819	0,096	0,346	0,195	0,132	0,687	0,15	0,301	-0,22	
Ca	-0,211	-0,11	-0,27	-0,12	0,442	0,7	-0,49	-0,16	0,02	0,046	1	-0,09	0,078	0,129	0,207	0,09	0,2	-0,003	-0,061	0,423	0,054	0,02	-0,093	-0,05	-0,16	0,224		
Ti	0,254	0,046	0,024	0,09	0,654	0,54	-0,32	-0,1	0,15	0,057	0,133	-0,09	0	0,822	-0,091	0,312	-0,091	0,699	0,574	0,918	-0,029	-0,073	-0,082	-0,105	0,799	0,067	0,161	
V	0,304	0,046	-0,08	0,1	0,343	0,54	-0,17	-0,2	0,05	0,064	0,183	0,078	0,022	1	0	0,305	-0,085	0,384	0,513	0,862	0,274	-0,1	-0,071	-0,167	0,514	0,56	0,04	
Mn	0,191	-0,34	0,219	0,18	0,042	0,23	-0,53	-0,2	0,41	0,668	0,822	0,129	-0,09	0	1	0,547	0,259	0,136	0,302	-0,145	0,438	-0,012	-0,016	0,143	-0,116	0,238	-0,15	
Fe	0,406	-0,25	0,099	0,41	0,383	0,7	-0,16	0,31	0,7	0,838	0,89	0,207	0,312	0,305	0,547	1	0,415	0,509	0,789	0,245	0,316	0,358	0,304	0,672	0,416	0,324	-0,1	
Ni	0,153	-0,17	0,114	0,1	0,315	0,16	-0,18	-0,1	-0,01	0,42	0,298	0,09	-0,09	-0,085	0,299	0,415	1	0,579	0,11	-0,158	0,131	0,821	0,805	0,29	0,468	-0,13	-0,14	
Cu	0,385	0,069	-0,02	0,26	0,431	0,61	-0,31	-0,1	0,1	0,3	0,284	0,2	0,499	0,384	0,136	0,509	0,579	1	0,373	0,493	0,164	0,536	0,528	0,158	0,783	0,336	-0,05	
Zn	0,399	-0,12	0,082	0,21	0,242	0,32	-0,12	0,41	0,8	0,712	0,815	-0,0574	0,153	0,302	0,769	0,11	0,373	1	0,484	0,198	-0,004	-0,098	0,508	0,384	0,505	-0,06		
Ga	0,25	0,077	-0,07	0,1	0,424	0,64	-0,79	-0,1	0,08	-0,01	0,098	-0,06	0,918	0,882	0,145	0,245	-0,158	0,493	0,484	1	-0,019	-0,112	-0,014	-0,122	0,887	0,658	0,097	
As	0,235	-0,1	0,002	0,27	0,267	0,84	-0,23	-0,2	0,08	0,369	0,346	0,423	-0,03	0,274	0,438	0,316	0,131	0,164	0,198	0,19	1	0,113	-0,005	-0,102	-0,168	-0,11	-0,2	
Br	0,106	-0,03	0,028	0,19	0,513	0,65	-0,42	-0,1	-0,08	0,281	0,195	0,054	-0,07	-0,1	-0,012	0,358	0,821	0,536	-0,004	-0,112	0,113	1	0,843	0,325	0,483	-0,12	-0,13	
Rb	0,086	-0,05	0,07	0,13	0,103	0,52	-0,83	-0,1	-0,15	0,212	0,132	0,02	-0,08	-0,07	-0,016	0,304	0,805	0,528	-0,098	-0,014	0,005	0,843	1	0,357	0,533	-0,11	-0,12	
Sr	0,257	-0,06	0,039	0,22	0,203	0,72	-0,41	0,87	0,60	0,603	0,687	-0,09	-0,11	-0,167	0,143	0,879	0,29	0,158	0,508	-0,122	-0,102	0,325	0,357	1	0,161	0,037	-0,13	
Y	0,168	0,082	0,02	0,05	0,441	0,16	0,13	-0,1	0,02	0,15	0,15	-0,05	0,739	0,514	-0,116	0,416	0,468	0,783	0,384	0,687	-0,168	0,493	0,533	0,161	1	0,482	0,132	
Zr	0,175	0,195	0,02	0,02	-0,259	-0,08	-0,01	-0,1	0,27	0,173	0,301	-0,16	0,667	0,56	0,228	0,324	-0,125	0,306	0,505	0,858	-0,113	-0,119	-0,118	0,126	0,482	1	0,038	
Pb	-0,524	0,057	-0,29	-0,25	-0,533	-0,44	-0,33	-0,2	-0,21	-0,23	-0,217	0,224	0,161	0,04	-0,149	-0,095	-0,136	-0,051	-0,075	0,097	-0,196	-0,131	-0,115	-0,131	0,132	0,038	1	

**Correlación a nivel significativo de 0.01 y 0.05.

TESIS CON
 FALLA DE CALIBRE

Tabla IV: Correlaciones Pearson entre precipitación, temperatura, emisiones atmosféricas, anchura de los anillos de *Pinus montezumae* de **Zoquepán**, su concentración de macronutrientos, micronutrientos, elementos traza y elementos no esenciales.

TEMP PP	ANCHOR PST	SO2	CESPM ₀	SEPM ₀	M	Cl	K	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Br	Sr	Rb	Sr	La	Hg	Pb	U			
TEMP	1	0,691	0,163	-0,436	-0,775	-0,737	-0,361	-0,014	0,028	0,054	0,169	0	-0,154	0,134	-0,001	-0,213	0,002	-0,124	0,175	-0,097	0,169	0,251	0,107	0,401	0,099	0,053	0,096	-0,118	-0,198
PP	0,691	1	0,214	-0,232	-0,706	-0,747	-0,361	-0,357	-0,243	-0,199	-0,06	-0,163	0,024	-0,169	-0,145	-0,058	-0,08	-0,109	-0,009	-0,237	0,037	0,071	0,162	0,345	0,132	0,440	-0,15	-0,097	-0,071
ANCHOR	0,163	0,214	1	-0,203	-0,003	-0,272	-0,123	-0,011	0,054	-0,051	0,03	-0,059	-0,108	-0,005	-0,067	-0,349	-0,37	-0,039	-0,024	-0,149	0,187	0,557	-0,035	0,006	-0,258	-0,128	0,092	-0,318	-0,016
PST	-0,436	-0,23	-0,203	1	0,765	0,887	0,418	-0,398	-0,517	-0,568	-0,894	-0,681	0,289	0,183	-0,498	-0,187	-0,01	-0,149	-0,353	-0,439	-0,381	-0,243	-0,189	-0,22	-0,16	-0,157	-0,468	-0,187	-0,061
SO ₂	-0,775	-0,77	-0,003	0,765	1	0,589	-0,464	0,284	0,159	-0,115	-0,363	-0,206	0,092	-0,186	0,295	-0,176	-0,177	-0,12	-0,171	-0,087	-0,439	-0,199	0,09	-0,57	-0,208	0,18	0,262	0,475	0,015
CESPM ₀	-0,737	-0,75	-0,272	0,887	0,589	1	0,12	0,141	0,277	0,031	-0,241	0,077	0,102	-0,081	0,328	0,044	0,26	-0,019	0,343	0,033	0,03	-0,324	0,137	-0,34	0,015	-0,095	0,104	0,2	0,383
SEPM ₀	-0,361	-0,36	-0,123	0,418	-0,464	0,12	1	-0,225	0,249	-0,351	-0,641	-0,062	-0,225	-0,084	0,093	0,116	0,152	0,54	0,218	0,08	0,147	-0,28	0,793	-0,03	0,643	-0,451	0,588	-0,497	-0,081
P	-0,014	-0,36	-0,011	-0,398	0,284	0,141	-0,225	1	0,844	0,789	0,802	0,589	-0,144	0,032	0,518	0,112	0,212	0,286	0,819	0,594	0,015	0,37	0,007	-0,26	-0,118	0,043	0,233	0,075	0,36
S	0,028	-0,24	0,054	-0,517	0,159	0,277	0,249	0,844	1	0,929	0,8	0,732	-0,195	-0,158	0,842	0,309	0,351	0,384	0,873	0,718	0,28	0,297	0,165	-0,12	-0,029	0,031	0,286	0,361	0,248
Cl	0,054	-0,2	-0,051	-0,588	0,116	0,031	-0,351	0,789	0,929	1	0,794	0,873	-0,177	-0,103	0,723	0,487	0,404	0,386	0,736	0,863	0,39	0,197	0,212	-0,02	0,006	-0,058	0,265	0,489	0,324
K	0,169	-0,06	0,03	-0,094	-0,363	-0,241	-0,841	0,802	0,6	0,794	1	0,816	0,08	0,187	0,85	0,438	0,042	0,162	0,485	0,732	0,392	0,188	0,992	0,011	0,289	-0,097	0,305	0,283	0,254
Ca	0	-0,16	-0,059	-0,681	-0,206	0,077	-0,082	0,589	0,732	0,873	0,816	1	-0,152	-0,128	0,358	0,543	0,279	0,347	0,858	0,884	0,053	0,091	0,278	0,03	0,345	-0,034	0,526	0,905	0,45
V	-0,154	0,024	-0,108	0,289	0,092	0,102	-0,225	-0,144	-0,195	-0,177	0,06	-0,152	1	0,245	0,046	0,032	-0,188	-0,094	-0,341	-0,132	0,441	-0,25	-0,287	-0,32	0,062	-0,265	-0,088	0,098	-0,209
Cr	0,014	-0,17	-0,005	0,183	-0,084	-0,081	-0,084	0,032	-0,158	-0,103	0,197	-0,128	0,245	1	-0,071	-0,157	-0,235	-0,01	-0,239	-0,148	-0,015	-0,128	-0,114	-0,1	-0,132	-0,232	-0,128	-0,216	-0,3
Mn	-0,081	-0,15	-0,067	-0,488	0,285	0,328	0,093	0,518	0,842	0,723	0,85	0,755	0,046	-0,071	1	0,222	0,032	0,054	0,401	0,577	0,359	-0,207	0,32	0,07	0,199	-0,033	0,387	0,357	0,252
Fe	-0,213	-0,06	-0,349	-0,187	-0,178	0,044	0,118	0,112	0,309	0,487	0,438	0,543	-0,032	-0,157	0,222	1	0,523	0,418	0,16	0,648	0,333	-0,007	0,245	0,103	0,427	0,118	0,446	0,486	0,298
Co	0,002	-0,08	-0,37	-0,01	-0,177	0,26	0,152	0,212	0,391	0,404	0,642	0,279	-0,188	-0,235	0,032	0,523	1	0,405	0,85	0,538	0,148	-0,036	0,298	0,05	0,292	-0,139	0,404	0,503	0,183
Ni	-0,124	-0,11	-0,039	-0,149	-0,12	-0,019	0,54	0,286	0,384	0,386	0,162	0,347	-0,094	-0,01	0,054	0,418	0,409	1	0,366	0,457	0,299	0,138	0,174	0,037	0,363	-0,21	0,169	0,212	0,337
Cu	0,175	-0,01	-0,024	-0,353	-0,171	0,043	0,218	0,619	0,673	0,738	0,485	0,858	-0,341	-0,239	0,401	0,618	0,618	0,366	1	0,814	0,374	0,337	0,324	0,158	0,286	-0,268	0,214	0,319	0,531
Zn	-0,097	-0,24	-0,149	-0,439	-0,087	0,323	0,08	0,594	0,716	0,863	0,732	0,894	-0,132	-0,146	0,577	0,649	0,538	0,457	0,814	1	0,535	0,169	0,234	0,025	0,417	-0,261	0,251	0,515	0,508
Ga	0,169	0,037	0,157	-0,381	-0,439	0,03	0,147	0,015	0,28	0,39	0,392	0,552	-0,041	-0,015	0,359	0,333	0,148	0,299	0,374	0,535	1	0,192	0,171	0,257	0,354	-0,273	0,255	0,223	0,207
As	0,251	0,071	0,157	-0,243	-0,199	-0,324	-0,28	0,37	0,287	0,197	0,188	0,091	-0,25	-0,129	-0,207	-0,007	-0,038	0,138	0,337	0,189	0,192	1	-0,034	0,038	-0,305	0,052	0,041	-0,325	0,251
Br	0,107	0,162	-0,035	-0,189	0,09	0,137	0,793	0,007	0,185	0,212	0,092	0,278	-0,287	-0,114	0,32	0,245	0,298	0,174	0,324	0,234	0,171	-0,034	1	0,051	0,021	0,015	0,263	0,16	0,025
Rb	0,401	0,345	0,088	-0,222	-0,571	-0,344	0,034	-0,284	-0,115	-0,018	0,011	0,03	-0,018	-0,104	0,07	0,103	0,05	0,037	0,158	0,025	0,038	0,151	1	0,278	-0,149	-0,052	-0,057	0,205	
Sr	0,009	0,132	-0,258	-0,16	-0,208	0,015	-0,843	-0,118	-0,029	0,208	0,289	0,345	0,062	-0,132	0,159	0,427	0,292	0,363	0,286	0,417	0,354	0,305	0,021	0,276	1	-0,257	0,095	0,382	0,204
La	0,053	0,048	-0,128	-0,157	0,18	-0,895	-0,451	0,043	0,031	-0,058	-0,097	-0,034	-0,283	-0,033	0,019	-0,139	-0,261	-0,268	-0,261	-0,273	0,052	-0,015	-0,15	-0,257	1	0,374	-0,11	0,13	0,293
Hg	0,098	0,15	0,092	-0,488	0,262	0,104	0,588	0,233	0,286	0,285	0,305	0,528	-0,088	-0,128	0,387	0,146	-0,04	0,169	0,214	0,251	0,255	0,041	0,283	-0,05	0,095	0,74	0,1	0,13	0,293
Pb	-0,118	-0,1	-0,318	-0,187	0,475	0,2	-0,487	0,175	0,361	0,489	0,283	0,585	0,098	-0,216	0,357	0,466	0,503	0,212	0,319	0,515	0,223	-0,325	0,16	-0,06	0,382	-0,11	0,13	1	0,019

**Correlación a nivel significativo de 0,01 y 0,05.

TESIS CON
 FALLA DE CALIDAD

En el dendrograma (Fig. 33) se puede observar la primera agrupación encontrándose una asociación entre dos subgrupos; el primero estuvo mas cercano (a una distancia de 5) y fue entre los micronutrientes (V, Cu, Fe y Zn) y elementos traza (Cr, Ti y Br), dejando en el segundo subgrupo la precipitación (PP), la temperatura (TEMP), el Ni y al Y mas distantes.

Un cúmulo menor muestra la asociación entre los micronutrientes (Mn, y elementos traza (Ga, Pb y Zr).

Otro grupo importante que se observo esta compuesto de macronutrientes (S, K y Ca), micronutrientes (Cl) y elementos traza (Sr, As y Rb).

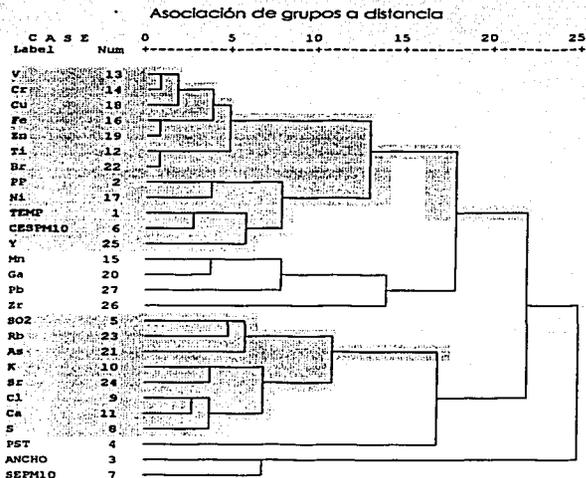


Figura 33. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Pinus montezumae* del Parque Nacional Iztapopocátépetl.

TESIS CON
VALOR DE ORIGEN

Para la anchura se observo la asociación mas amplia y lejana (a 24) de todos los grupos abarcando a casi todas las variables (Fig. 33), excepto las PM_{10} las cuales se encontraron mas cercanas (a una distancia de 7).

En el dendrograma (Fig. 34) se observaron los cúmulos donde se asociaron las variables a distancia, encontrándose a los macronutrientes (S y P), micronutrientes (V y Mn), elementos traza (Ni), elementos parcialmente necesarios (U y La) junto con las PST y SO_2 .

Se presentaron tres grupos pequeños (Fig. 34); en el primero se observo que la anchura de los anillos de *Pinus montezumae* de Zoquiapan esta asociada con el Rb y el As, mientras que en el segundo se encontraron las $SEPM_{10}$ unidas al Br y Hg, lo cual indica que estos elementos pueden constituir a dichas particulas. En el tercer grupo (mas pequeño) se asociaron dos elementos traza (Cr y Pb).

En un grupo mayor (Fig. 34) se observaron asociados dos macronutrientes (K y Ca), cinco micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Co y Cl), un elemento parcialmente necesario (Sr), la temperatura, la precipitación y las $CESPM_{10}$. Esto indica dos sucesos principalmente: uno es, de que están constituidas las $CESPM_{10}$ y el otro, que la precipitación influye indirectamente al haber una mayor absorción y acumulación de los elementos en los anillos de crecimiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

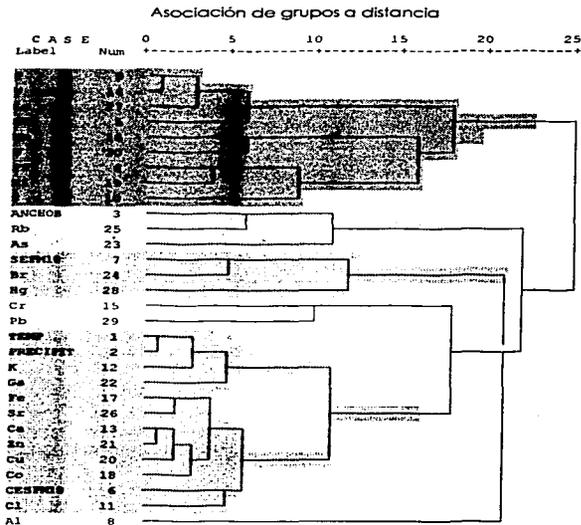


Figura 34. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Pinus montezumae* del Parque Nacional Zoquiapan.

En la Tabla V se pueden observar las correlaciones de Pearson entre en ancho de los anillos de *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl y cada uno de los elementos detectados en los anillos, las variables climáticas (precipitación y temperatura) así como de las emisiones atmosféricas (PST, SO₂, CESP_{M10} y SEPM₁₀).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como se muestra en la Tabla V, hubo una correlación muy débil y poco significativa entre el ancho y la temperatura (-0.154); así como del ancho y la precipitación (0.060).

En cuanto a la anchura y los elementos detectados (Tabla V) en los anillos no se observó ninguna correlación significativa pues se encontraron valores muy débiles (de 0.008 a 0.088).

La única correlación significativa que se observó con las emisiones atmosféricas y los elementos detectados en los anillos fue entre los SO_2 y el Pd (0.559).

Similarmente en la Tabla VI se pueden observar las correlaciones de Pearson entre la anchura de los anillos de *Abies religiosa* de Zoquiapan y los elementos detectados en los anillos, precipitación, temperatura y las emisiones atmosféricas (PST, SO_2 y PM10).

En este análisis (Tabla VI) se observó que las correlaciones fueron muy débiles y negativas entre el ancho con la temperatura (-0.213); y el ancho con la precipitación (-0.069).

En cuanto a las emisiones atmosféricas y los elementos detectados, solamente se observaron algunas correlaciones significativas entre las CESP10 con el K (0.599), el Ni (0.622) y el Bi (0.549); así como también entre las SEPM10 con el K (0.954), el Ti (0.912) y el Pb (0.860).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla V: Correlaciones Pearson entre precipitación, temperatura, emisores atmosféricos, anchura de los anillos de *Ables religiosa* del Itzapotecpeté, su concentración de macro nutrientes, micro nutrientes, elementos traza y elementos no esenciales.

	TEMP	PP	ANCHO	PST	SO2	PM10	SE	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Se	Br	V	Pd	Cd	Te	Ba	Ti	Pb	Bi			
	PM10 PM2.5																																		
TEMP	1																																		
PP	0.192	1																																	
ANCHO	0.192	0.06	1																																
PST	0.154	0.346	0.154	1																															
SO2	0.543	0.314	0.154	0.346	1																														
CES	0.664	0.051	0.154	0.346	0.154	1																													
PM10	0.467	0.347	0.154	0.346	0.154	0.664	1																												
SE	0.467	0.347	0.154	0.346	0.154	0.664	0.467	1																											
Na	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	1																										
Mg	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	1																									
Al	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1																								
K	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	1																							
Ca	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	1																						
Ti	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	1																					
V	0.143	0.101	0.143	0.101	0.143	0.101	0.143	0.101	0.143	0.101	0.143	0.101	0.143	0.101	1																				
Cr	0.044	0.088	0.044	0.088	0.044	0.088	0.044	0.088	0.044	0.088	0.044	0.088	0.044	0.088	0.044	1																			
Mn	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	1																		
Fe	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	1																	
Co	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	1																
Ni	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	1															

TESIS CON FALLA DE CUBREN

	TEMP	PP	ANCHO	PST	SO ₂	CES	SE	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Se	Br	Y	Pd	Cd	Te	Ba	Tl	Pb	Bi		
	PM ₁₀ PM _{2.5}																																	
Cu	-	-	-0,024	-0,05	-	0,05	-0,75	0,42	0,569	0,118	0,434	0,355	0,14	0,674	0,196	0,14	0,151	0,115	0,166	1	0,512	0,325	0,161	0,543	0,878	0,153	0,118	0,647	0,213	0,282	0,202	0,136		
	0,069	0,189		0,317																														
Zn	-	0,057	0,009	-0,25	-	0,163	-0,68	0,572	0,765	0,228	0,855	0,415	0,377	0,802	0,466	0,359	0,374	0,607	0,885	0,512	1	0,610	0,41	0,836	0,517	0,788	0,228	0,329	0,498	0,539	0,432	0,660		
	0,217		0,296																															
Ga	-	0,038	0,054	-0,17	-	0,04	-0,61	0,95	0,874	0,888	0,643	0,954	0,334	0,32	0,516	0,218	0,287	0,796	0,38	0,325	0,610	1	0,568	0,333	0,296	0,226	0,898	0,763	0,285	0,566	0,887	0,259		
	0,067		0,211																															
Se	-	0,11	0,053	-0,19	-	0,27	-0,73	0,757	0,763	0,428	0,803	0,43	0,955	-	0,972	0,905	0,936	0,282	0,441	0,161	0,41	0,568	1	-	0,15	0,062	0,428	0,326	-	0,46	0,842	0,738		
	0,049		0,364										0,081										0,084						0,069					
Br	-	-	-0,005	-0,02	0,023	0,519	0,588	0,204	0,454	-0,06	0,521	0,185	-	0,578	0,046	-	-	0,352	0,651	0,543	0,836	0,333	-0,08	1	0,7	0,863	-	0,139	0,746	0,527	-	0,273		
	0,167	0,047											0,067		0,046	0,055													0,062		0,022			
Y	-	0,012	-	0,017	0,288	-	0,507	-0,5	0,318	0,547	-0,05	0,51	0,219	0,188	0,767	0,329	0,212	0,201	-	0,222	0,678	0,517	0,296	0,15	0,7	1	0,004	-	0,218	0,747	0,799	0,108	0,142	
		0,172			0,009													0,091											0,053					
Pd	-	0,144	-0,026	-0,41	-	0,35	-0,01	0,118	0,276	-0,04	0,492	0,033	0,082	0,577	0,063	0,093	0,09	0,568	0,875	0,153	0,788	0,226	0,062	0,663	0,004	1	-	-	0,19	0,002	0,049	0,381		
	0,273			0,559																									0,044	0,011				
Cd	0,001	0,03	0,044	-0,17	-	0,18	-0,5	0,838	0,616	1	0,281	0,957	0,141	-	0,295	0,002	0,082	0,73	0,009	0,118	0,228	0,888	0,426	-	-	1	0,808	-	0,24	0,843	-			
				0,163										0,059															0,062	0,053	0,044	0,051	0,046	
Te	-	-	0,008	-0,19	-	0,19	-0,5	0,79	0,67	0,808	0,312	0,88	0,093	0,231	0,215	-	0,056	0,57	-	0,647	0,329	0,763	0,326	0,139	0,218	-	0,808	1	-	0,163	0,682	-		
	0,026	0,098		0,319										0,011	0,029														0,011		0,072		0,066	
Ba	-	-	0,061	0,235	0,107	0,507	0,588	0,151	0,349	-0,05	0,357	0,149	-	0,873	0,11	-	-	0,191	0,377	0,213	0,498	0,285	-0,07	0,746	0,747	0,19	-	-	1	0,817	-	0,039		
	0,013	0,029											0,051	0,036	0,048														0,051	0,072	0,021			
Tl	-	0,02	-0,02	0,088	0,221	-	0,396	-0,55	0,558	0,702	0,24	0,669	0,417	0,432	0,499	0,609	0,41	0,421	0,201	0,381	0,282	0,539	0,556	0,46	0,527	0,799	0,002	0,24	0,163	0,817	1	0,453	0,309	
				0,031																														
Pb	-	0,078	0,056	-0,21	-	0,24	-0,76	0,961	0,849	0,843	0,878	0,837	0,647	-	0,757	0,536	0,602	0,619	0,306	0,202	0,432	0,887	0,842	-	-	0,108	0,049	0,843	0,682	-	0,453	1	0,439	
	0,037			0,311										0,019																0,022		0,021		
Bi	-	0,163	0,01	-0,29	-	0,2	-0,5	0,39	0,561	-0,05	0,852	0,006	0,844	0,23	0,787	0,86	0,854	0,229	0,834	0,136	0,666	0,259	0,758	0,273	0,142	0,581	-	-	0,039	0,309	0,439	1		
	0,181			0,314																									0,046	0,066				

**Correlación a nivel significativo de 0.01 y 0.05.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla VI: Correlaciones Pearson entre precipitación, temperatura, emisiones atmosféricas, anchura de los anillos de *Ables religiosa* de Zoquelepan, su concentración de macronutrientes, micronutrientes, elementos traza y elementos no tóxicos.

	TEMP PP	ANCHOPST	SO ₂	CES PM ₁₀	SE PM ₁₀	Na	Mg	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Se	Br	Y	Pd	Cd	Ta	Ba	Tl	Pb	Bi		
TEMP	1	0.091	-0.213	-0.436	-0.775	-0.737	-0.361	-0.339	-0.316	-0.171	0.024	0.394	0.471	0.471	0.010	0.001	-0.022	-0.296	-0.265	-0.262	-0.296	-0.063	0.035	-0.004	-0.048	0.117	-0.08	-0.019	-0.254	-0.362	-0.231
PP	0.091	1	-0.069	-0.232	-0.704	-0.747	-0.361	-0.412	-0.383	-0.370	-0.144	0.296	0.453	0.432	0.143	-0.187	-0.424	-0.457	-0.481	-0.441	-0.599	-0.129	-0.14	-0.083	-0.342	-0.008	-0.069	-0.114	-0.24	-0.487	-0.549
ANCHO	-0.213	-0.069	1	-0.161	-0.25	-0.161	0.073	0.252	0.008	0.067	-0.159	-0.002	0.096	0.135	-0.152	-0.139	-0.184	-0.171	0.151	0.151	0.209	0.165	0.166	0.366	0.403	0.022	-0.06	0.040	0.028	0.063	0.1
PST	-0.436	-0.232	-0.161	1	0.765	0.067	0.416	-0.233	-0.211	-0.307	-0.055	-0.183	0.092	-0.243	-0.249	-0.226	-0.196	-0.106	-0.21	-0.31	-0.219	0.190	-0.322	-0.234	-0.193	-0.245	-0.329	-0.146	-0.383	-0.230	-0.229
SO ₂	-0.775	-0.704	-0.25	0.765	1	0.509	-0.464	0.065	0.222	0.38	0.090	-0.183	0.270	-0.272	-0.135	0.217	-0.002	0.358	0.193	0.191	0.306	-0.04	-0.141	-0.225	-0.223	0.034	0.011	0.067	0.214	0.002	0.364
CES PM ₁₀	-0.737	-0.747	-0.161	0.067	0.509	1	0.12	0.138	0.066	0.599	-0.109	-0.179	-0.093	-0.295	-0.465	0.13	0.015	0.822	0.261	0.264	0.36	0.559	-0.227	-0.227	0.256	0.011	-0.209	-0.096	0.301	0.532	0.649
SE PM ₁₀	-0.361	-0.361	0.073	0.161	-0.464	0.12	1	0.628	0.995	0.984	-0.367	-0.300	-0.192	-0.261	-0.332	0.081	-0.269	-0.364	0.36	0.033	0.079	0.543	0.016	-0.115	-0.225	-0.017	-0.214	0.597	0.912	0.86	0.155
Na	-0.339	-0.412	0.252	-0.233	0.065	0.130	0.620	1	0.830	0.891	0.424	-0.192	-0.184	-0.372	0.435	0.481	0.405	0.630	0.790	0.790	0.793	0.019	0.421	0.226	0.306	0.254	0.063	0.411	0.464	0.737	0.600
Mg	-0.316	-0.383	0.008	-0.211	0.222	0.066	0.995	0.836	1	0.772	0.817	-0.198	-0.29	-0.444	0.623	0.683	0.273	0.570	0.600	0.783	0.983	0.006	0.619	0.16	0.219	0.302	0.013	0.353	0.36	0.704	0.800
K	-0.171	-0.370	-0.047	-0.307	0.30	0.559	0.864	0.911	0.772	1	0.840	-0.106	-0.206	-0.171	0.882	0.882	0.363	0.873	0.890	0.900	0.8	-0.049	0.642	0.189	0.236	0.261	0.06	0.413	0.577	0.640	0.787
Ca	0.024	-0.144	-0.159	-0.055	0.090	-0.109	-0.367	0.424	0.817	0.840	1	0.311	-0.074	-0.055	0.990	0.990	0.175	0.363	0.430	0.632	0.919	-0.099	0.991	0.031	0.033	0.409	-0.11	0.305	0.907	0.864	0.862
Ti	0.394	0.296	-0.042	-0.183	-0.183	-0.179	-0.509	-0.192	-0.180	0.150	0.311	1	0.980	0.890	0.316	0.307	0.291	-0.045	0.018	0.136	-0.056	0.124	-0.102	0.293	-0.149	-0.047	0.103	0.053	0.042	0.042	
V	0.473	0.453	0.096	-0.092	-0.280	-0.093	0.192	-0.184	-0.29	-0.296	-0.074	0.980	1	0.800	-0.083	-0.077	0.17	-0.17	-0.180	-0.132	-0.204	-0.081	-0.083	-0.241	-0.191	0.066	-0.239	-0.14	0.067	-0.165	-0.222
Cr	-0.339	-0.432	0.135	-0.243	-0.272	-0.293	-0.501	-0.372	-0.444	-0.171	-0.055	0.890	0.890	1	-0.049	-0.065	0.238	-0.242	-0.183	-0.121	-0.179	-0.089	-0.069	-0.028	-0.134	0.151	-0.159	-0.165	-0.125	-0.251	-0.114
Mn	0.018	-0.145	-0.152	-0.240	-0.135	-0.445	-0.332	0.453	0.623	0.862	0.990	0.316	-0.063	-0.040	1	0.993	0.183	0.372	0.461	0.672	0.237	0.290	0.986	-0.023	0.053	0.054	-0.106	0.297	0.59	0.861	0.963
Fe	0.061	-0.187	-0.139	-0.226	-0.217	0.13	0.081	0.461	0.635	0.862	0.994	0.307	-0.077	-0.065	0.993	1	0.219	0.423	0.384	0.704	0.284	-0.068	0.993	-0.116	0.083	0.44	-0.063	0.35	0.613	0.71	0.612
Co	-0.022	-0.424	0.184	-0.196	-0.042	0.015	-0.269	0.463	0.273	0.363	0.175	0.291	0.17	0.238	0.183	0.219	1	0.224	0.6	0.586	0.990	0.224	0.187	0.174	0.359	0.446	0.301	0.246	0.236	0.374	0.436
Ni	-0.268	-0.457	-0.171	-0.196	0.350	0.622	-0.366	0.634	0.576	0.673	0.633	-0.045	-0.17	-0.224	0.372	0.423	0.224	1	0.800	0.657	0.645	0.079	0.358	0.241	0.430	0.130	0.277	0.290	0.323	0.600	0.882
Cu	-0.263	-0.461	0.188	-0.261	0.193	0.261	0.58	0.790	0.990	0.890	0.430	0.018	-0.160	-0.163	0.461	0.564	0.6	0.990	1	0.919	0.949	0.427	0.265	0.474	0.463	0.286	0.421	0.392	0.379	0.630	
Zn	-0.262	-0.441	0.15	-0.31	0.191	0.264	-0.073	0.795	0.773	0.990	0.632	0.130	-0.132	-0.121	0.672	0.798	0.586	0.657	0.912	1	0.737	0.146	0.84	0.187	0.147	0.451	0.187	0.42	0.6	0.877	0.774
Ga	-0.298	-0.50	0.299	-0.219	0.306	0.36	0.079	0.703	0.552	0.6	0.218	-0.056	-0.204	-0.179	0.237	0.294	0.565	0.945	0.911	0.737	1	0.271	0.212	0.255	0.429	0.454	0.370	0.355	0.173	0.600	0.85
Se	-0.063	0.129	0.185	0.108	-0.04	0.459	0.543	0.019	-0.086	-0.049	-0.069	-0.103	-0.061	-0.069	-0.096	-0.068	-0.224	0.079	0.049	-0.146	0.271	1	-0.057	0.028	-0.179	0.222	-0.09	0.182	-0.29	0.064	0.279
Br	0.033	-0.14	-0.186	-0.023	-0.141	-0.227	0.018	0.421	0.818	0.842	0.999	0.290	-0.063	-0.069	0.996	0.993	0.187	0.358	0.427	0.64	0.212	0.067	1	-0.029	0.027	0.407	-0.115	0.311	0.567	0.846	0.981
Y	-0.004	-0.065	0.068	-0.234	-0.245	-0.227	-0.115	0.220	0.16	0.189	-0.031	-0.124	-0.241	-0.026	-0.023	-0.016	0.174	0.241	0.263	0.187	0.255	0.028	-0.029	1	-0.036	0.095	0.073	-0.103	0.057	0.1	
Pd	-0.246	-0.342	-0.043	-0.193	0.323	0.264	-0.258	0.396	0.219	0.298	0.033	-0.102	-0.181	-0.134	0.053	0.063	0.359	0.430	0.474	0.617	0.429	0.179	0.022	-0.030	1	0.014	0.085	0.39	0.070	0.26	0.478
Cd	0.117	-0.086	0.022	-0.252	0.037	-0.01	-0.877	0.254	0.302	0.461	0.409	0.293	0.086	0.151	0.404	0.44	0.440	0.130	0.463	0.451	0.454	0.232	0.407	0.997	0.014	1	-0.069	0.930	0.990	0.281	0.446
Ta	-0.08	-0.469	-0.08	-0.074	0.101	-0.299	-0.214	0.083	0.013	0.06	-0.11	-0.149	-0.239	-0.159	-0.106	-0.063	0.301	0.277	0.266	0.187	0.378	-0.09	-0.115	-0.005	-0.005	1	0.037	0.016	0.209	0.330	
Ba	0.073	-0.114	0.048	-0.329	0.067	0.096	0.597	0.411	0.353	0.413	0.305	-0.047	-0.14	-0.165	0.297	0.35	0.246	0.296	0.421	0.42	0.355	0.182	0.311	0.073	0.39	0.598	0.937	1	0.112	0.284	0.446
Tl	-0.254	-0.24	0.028	0.146	0.214	0.361	0.912	0.464	0.58	0.577	0.597	0.103	0.067	-0.125	0.59	0.613	0.236	0.323	0.932	0.6	0.173	-0.29	0.547	0.193	0.078	0.096	0.016	0.112	1	0.265	0.246
Pb	-0.362	-0.407	0.063	-0.083	0.402	0.532	0.86	0.757	0.784	0.648	0.654	0.053	-0.165	-0.251	0.861	0.71	0.374	0.899	0.779	0.807	0.658	0.964	0.646	0.057	0.296	0.281	0.209	0.264	0.725	1	0.758
Bi	-0.331	-0.549	0.1	-0.226	0.366	0.640	0.915	0.899	0.868	0.787	0.852	0.042	-0.222	-0.219	0.563	0.612	0.436	0.642	0.824	0.774	0.85	0.279	0.551	0.1	0.476	0.446	0.326	0.440	0.246	0.758	1

**Correlaciones con un nivel significativo de 0.01 y 0.005.

TESIS CON FALTA DE ORIGEN

En *Abies religiosa* (Fig. 35) se puede observar un gran cumulo de elementos asociados, como son los macronutrientes (K y Mg), micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu y Na), elementos traza (Ti, Cr, Se, Ni, Ti, Ti y Pb) y elementos parcialmente necesarios (Y, Bi, y Pd). Esta unión hace suponer que todos estos elementos fueron absorbidos al mismo tiempo.

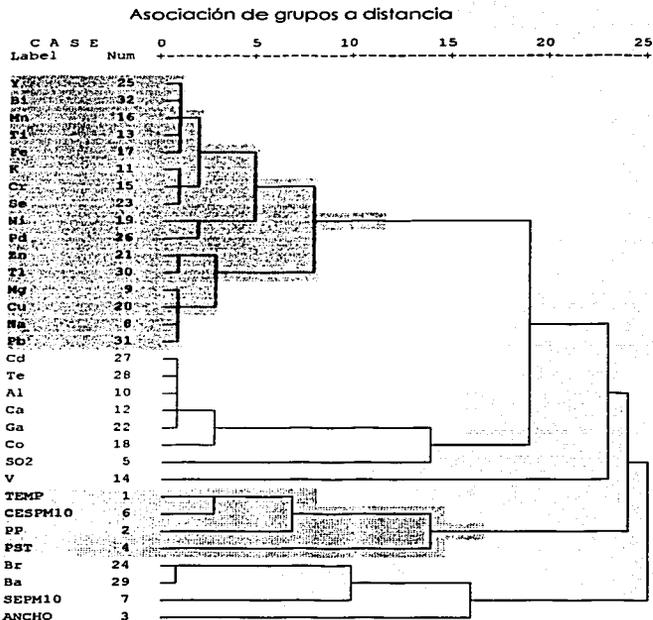


Figura 35. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Abies religiosa* del Parque Nacional Iztapopocatepetl.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En *Abies religiosa* de Zoquiapán (Fig. 36) se observó un gran cúmulo de variables asociadas, entre las que se encuentran jerárquicamente a la temperatura y precipitación, encadenados a dos grupos, uno pequeño: V, Bi y anchura de los anillos; y uno donde la asociación es ascendente (Cu, Ga, SO₂, Cd, Mn, Zn, Ti, Cr, Ca y Co).

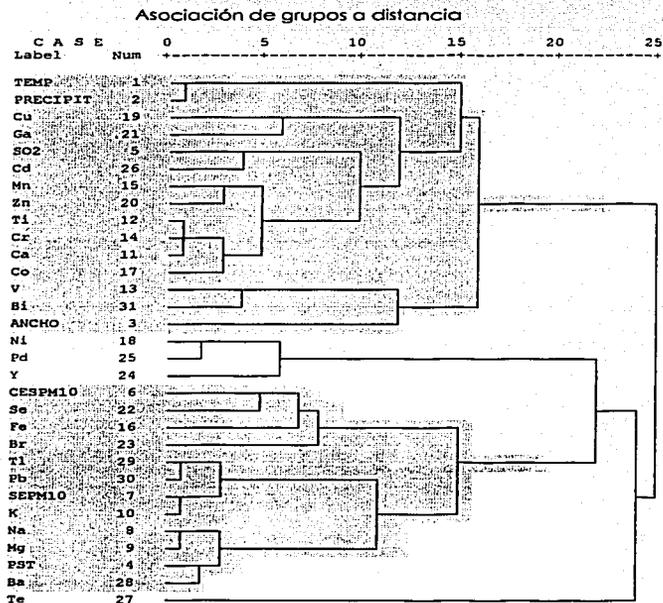


Figura 36. Dendrograma donde se muestran las correlaciones de Pearson, entre la anchura del anillo, las emisiones atmosféricas, factores climáticos y los elementos detectados en los anillos de *Abies religiosa* del Parque Nacional Zoquiapán.

En el otro gran cúmulo se observaron las emisiones atmosféricas asociadas con los macronutrientos (K y Mg), micronutrientos (Fe y Na), elementos traza (Se, Ti, Pb y Ba) y parcialmente necesarios (Br). Lo cual indica que algunos de estos elementos son de origen antropológico por estar asociados con las partículas suspendidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.3 DIFERENCIA ELEMENTAL ENTRE EL IZTAPOPOCATEPETL Y ZOQUIAPAN

Se calculó el promedio (Tabla VII) de los elementos detectados de 1970 al 2000 en cada una de las especies, tanto del Iztapopocatépetl como de Zoquiapan, así de como los datos climáticos y emisiones atmosféricas.

Se observo (Tabla VII) que en *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl se detectaron 20 elementos, y en el *Pinus m.* de Zoquiapan se encontraron 22 elementos; de los cuales 17 elementos (S, Cl, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr y Pb) se detectaron en las dos zonas; a parte de otros elementos (Y y Zr) que solo se encontraron en el Iztapopocatépetl, y el P, La, Hg y U solamente se detectaron en Zoquiapan.

En *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl hubo en promedio una mayor concentración de K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Ga, As, Br y Sr, mientras que en Zoquiapan las mayores cantidades se encontraron en S, Cl, Cu, Zn, Rb y Pb.

En *Abies religiosa* se detectaron 25 elementos, de los cuales el Al, Na, Mg, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Br, Y, Pd, Cd, Te, Ba, Tl, Pb y Bi en la zona del Iztapopocatépetl, mientras que en Zoquiapan se encontraron los mismos elementos excepto el Al.

En cuanto a la concentración elemental de *Abies religiosa* se observo una mayor cantidad de Ti, Cr, Mn, y Fe en el Iztapopocatépetl; mientras que en Zoquiapan se encontró que en el resto de los elementos (Na, Mg, K, Ca, V, Co, Ni, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Br, Y, Pd, Cd, Te, Ba, Tl, Pb y Bi) hubo una mayor concentración.

Cabe mencionar que en el Iztapopocatépetl se detecto una mayor concentración de Cr, Mn y Fe, mientras que en Zoquiapan las mayores cantidades fueron para el Cu, Zn y Pb; en ambas especies.

También se observo que en promedio la anchura de los anillos fue mayor en Zoquiapan que en el Iztapopocatépetl, tanto en *Pinus montezumae* como en *Abies religiosa*.

En lo que se refiere a los datos climáticos se observo que existe en promedio una mayor temperatura (15.6 °C) y una menor precipitación (588 mm) en el Iztapopocatépetl; a diferencia de Zoquiapan donde la temperatura es menor (9.8 °C) y la precipitación mayor (1034 mm). Por lo tanto se puede decir que las condiciones climáticas de Zoquiapan son mejores pues han favorecido un mayor crecimiento para los árboles de 1970 al 2000 a pesar de que se haya encontrado una mayor cantidad de

Pb, Cu y Zn que podrían afectar su desarrollo pues en algunos años resultaron cantidades excesivas o tóxicas.

Tabla VII: Descripción estadística de *Pinus montezumae* y *Abies religiosa*

Descriptive Statistics PINO-IZTA			
	Mean	Std. Deviation	N
TEMP	15.8962	8.8445	31
PP AMECA	588.3167	140.4935	31
ANCHO	1.8297	.8875	31
PST	269.2214	73.4555	28
SO2	23.3524	7.5812	15
CESPM10	99.8154	44.1334	13
SEPM10	63.6055	5.4971	6
S	2377.0298	45966.8721	31
Cl	33663.53	459811.2109	31
K	48334.37	58322.9603	31
Ca	30616.29	33133.9604	31
Ti	201.2281	380.8426	31
V	40.9803	152.9759	31
Cr	33.8219	66.8371	31
Mn	58.9923	103.5120	31
Fe	4270.9406	4543.1445	31
Ni	25.9329	55.9624	31
Cu	38.8568	52.9066	31
Zn	108.4842	135.4405	31
Ga	36.5077	63.8170	31
As	17.6510	34.2153	31
Br	34.7119	101.9031	31
Rb	33.5397	112.1770	31
Sr	420.9026	1045.3903	31
Y	235.5210	747.6343	31
Zr	211.7510	506.6935	31
Pb	6.7105	17.8564	31

Descriptive Statistics PINO-ZOQUAPAN			
	Mean	Std. Deviation	N
TEMP	9.9963	6.7469	31
PP RIO FRIO	1034.4993	163.7489	31
ANCHO	1.9522	.5605	31
PST	266.3510	73.4579	28
SO2	23.3524	7.5812	15
CESPM10	99.8066	44.1626	13
SEPM10	63.6055	5.4971	6
Al	0.0000	0.0000	31
P	1712340	2765831.0447	31
S	338137.6	472347.3612	31
Cl	84910.23	46447.8418	31
K	5516.4226	4465.5838	31
Ca	2156.0258	1350.0287	31
V	1.5097	2.3721	31
Cr	1.5245	3.4063	31
Mn	11.4058	14.6536	31
Fe	49.3129	31.6291	31
Zn	114.6065	56.0017	31
Ni	14.2355	5.9547	31
Cu	48.3120	23.9113	31
Zn	114.6065	56.0017	31
Ga	26.1181	13.6940	31
As	13.0714	13.1017	31
Br	36.5603	32.5897	31
Rb	34.9813	43.6970	31
Sr	104.6003	104.5821	31
La	12.9181	16.4377	31
Hg	7.9464	22.5810	31
Pb	55.9516	71.5499	31
U	163.4871	222.1752	31

Descriptive Statistics ABIES IZTA			
	Mean	Std. Deviation	N
TEMP	15.8962	8.8445	31
PP AMECA	588.3167	140.4935	31
ANCHO	1.8297	.7700	31
PST	269.3214	73.4535	28
SO2	23.3524	7.5812	15
CESPM10	99.8154	44.1334	13
SEPM10	63.6055	5.4971	6
Na	2.36E+12	5.4971E+12	31
Mg	6337300	22200404.28	31
Al	3010.4839	16781.9848	31
K	3636.4161	14749.0396	31
CA	5743.8230	21098.3587	31
Ti	81.5645	396.4996	31
V	7.4523	3.2385	31
Cr	1.4587	5.4486	31
Mn	31.5032	163.0533	31
Fe	531.6811	2976.7626	31
Co	.2639	.8187	31
Ni	1.2226	3.6417	31
Cu	3.4181	11.0848	31
Zn	9.3226	22.5315	31
Ga	2.2710	6.8496	31
Se	5.887	2.2029	31
Br	6.8484	2.8508	31
Pb	.9025	3.4769	31
Cd	5.7290	24.2153	31
Cg	16.0484	89.3536	31
Te	26.8548	96.8526	31
Ba	40.8129	149.6606	31
Tl	1.4181	4.4030	31
Bi	5.8355	20.7047	31
Bh	1.7203	4.9528	31

Descriptive Statistics ABIES ZOQUAPAN			
	Mean	Std. Deviation	N
TEMP	9.9963	6.7470	31
PP RIO FRIO	1034.4993	163.7489	31
ANCHO	6.8060	3.0830	31
PST	269.3510	73.4579	28
SO2	23.3524	7.5812	15
CESPM10	99.8066	44.1629	13
SEPM10	63.6055	5.4971	6
Na	3.36E+12	1.5136E+12	31
Mg	13.26E+07	118124.1752	31
K	163320.	229030.8972	31
Ca	19476.77	87408.5335	31
Ti	23.3548	63.2548	31
V	1.2161	2.8145	31
Cr	1.4355	3.9579	31
Mn	10.7516	12.1561	31
Fe	21.7935	58.2422	31
Co	2.2484	2.1072	31
Ni	1.3516	2.1961	31
Cu	30.0000	21.8165	31
Zn	29.6774	18.6269	31
Ga	35.8323	28.9667	31
Se	2.7677	6.6337	31
Br	64.9813	323.5731	31
Y	9.4168	9.4168	31
Pb	40.7067	65.7606	31
Cd	131.4516	155.9335	31
Te	282.8387	412.0221	31
Ba	626.1613	905.9755	31
Tl	17.7419	22.4862	31
Pb	37.7097	36.5880	31
Bh	63.8129	82.5697	31

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se utilizaron los mismos datos de las emisiones atmosféricas para el Iztapopocatépetl y Zoquiapan debido a que no existen estaciones de monitoreo atmosférico en las zonas de estudio, por lo que se obtuvieron los registros de la zona sureste de la Ciudad de México.

Como se puede observar en el dendrograma (Fig. 37) los macronutrientes detectados en los anillos de *Pinus montezumae* fueron separados en dos grupos, de los cuales cada uno pertenece a la zona de estudio correspondiente, los cuales a su vez se unen de acuerdo a sus correlaciones, tales como la que se observo entre el K y el Ca, y entre el K y el S, en las dos zonas, siendo mas intensa entre los primeros elementos.

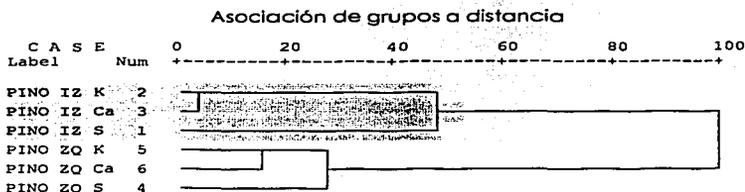


Figura 37: Dendrograma donde se muestran los macronutrientes K, Ca y S detectados en los anillos de *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl (IZ) y Zoquiapan (ZQ).

Se determino la diferencia elemental de los macronutrientes entre las dos zonas con el análisis de cúmulos, en Iztapopocatépetl el grado de asociación es del 50% de amalgamiento, y para Zoquiapan fue aproximadamente el 30 %.

En la tabla VIII se muestran las correlaciones de Pearson, entre los elementos detectados en *Pinus montezumae* de la zona Iztapopocatépetl y Zoquiapan, en donde se observo una correlación significativa entre el K y el Ca (0.956) del Iztapopocatépetl, mientras que en Zoquiapan se observaron mas correlaciones entre el S con el K (0.594) y el Ca (0.738), y a su vez el K con el Ca (0.808). Por lo cual en el *Pinus montezumae* de Zoquiapan existe un mayor equilibrio entre los macronutrientes, pues se encuentran distribuidos de manera similar.

En la Tabla IX se aprecian las correlaciones de Pearson, entre los macronutrientes detectados (Mg, K y Ca) en *Abies religiosa* tanto del Iztapopocatópelli como de Zoquiapan, en donde se presentaron altas correlaciones para el Mg con el K (0.8 94) y el Ca (.633) del Iztapopocatópelli, mientras que en Zoquiapan se encontraron mas correlaciones pues se tuvieron entre el Mg con el K (0.772) y el Ca (0.617); así como del K y el Ca (0.848).

Tabla IX: Correlaciones Pearson de los macronutrientes Mg, K y Ca de *Abies religiosa* del Iztapopocatópelli y Zoquiapan

		Correlations					
		ABIZT AMG	ABIZK	AIZCA	ZOMG	ZOK	ZOCA
ABIZTA MG	Pearson	1.000	.894**	.633**	-.556**	-.253	-.079
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.001	.169	.674
	N	31	31	31	31	31	31
ABIZK	Pearson	.894**	1.000	.297	-.377*	-.207	-.080
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.105	.037	.264	.669
	N	31	31	31	31	31	31
AIZCA	Pearson	.633**	.297	1.000	-.423*	-.130	-.021
	Sig. (2-tailed)	.000	.105	.	.018	.486	.912
	N	31	31	31	31	31	31
ZOMG	Pearson	-.556**	-.377*	-.423*	1.000	.772**	.817**
	Sig. (2-tailed)	.001	.037	.018	.	.000	.000
	N	31	31	31	31	31	31
ZOK	Pearson	-.253	-.207	-.130	.772**	1.000	.848**
	Sig. (2-tailed)	.169	.264	.486	.000	.	.000
	N	31	31	31	31	31	31
ZOCA	Pearson	-.079	-.080	-.021	.817**	.848**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.674	.669	.912	.000	.000	.
	N	31	31	31	31	31	31

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

En el dendrograma (Fig. 39) se observo la separación en dos grandes grupos: los micronutrientes detectados en los anillos de *Pinus montezumae* pertenecientes a cada zona de estudio, de los cuales se unen entre sí, siendo los más cercanos el Cl y el Zn, para ambas zonas, mientras que los demás elementos se encuentran distribuidos de diferente manera entre una zona y otra, mostrándose la cercanía de los elementos de una manera escalonada en Zoquiapan, a diferencia del Iztapopocatópelli donde se muestran las uniones separadas en dos subgrupos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Asociación de grupos a distancia

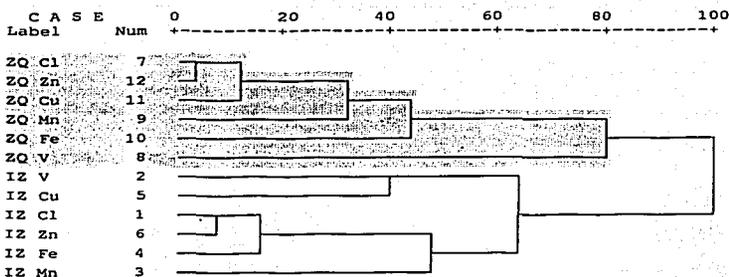


Figura 39. Dendrograma donde se muestran los micronutrientos Cl, Zn, Cu, Mn, Fe y V detectados en los anillos de *Pinus montezumae*, del Iztapopocatepetl (IZ) y Zoquiapan (ZQ).

En la Tabla X se pueden observar las correlaciones de Pearson entre los micronutrientos detectados en *Pinus montezumae* del Iztapopocatepetl y de Zoquiapan. Las correlaciones mas significativas fueron entre el Cl con el Fe (0.698); Cl con el Zn (0.797); V con Zn (0.574); Mn con Fe (0.548); Fe con Cu (0.509) y con Zn (0.769) en el Iztapopocatepetl, mientras que en Zoquiapan las correlaciones mas significativas fueron entre el Zn con el Cl (0.862), el Mg (0.576), el Fe (0.649) y el Cu (.0811); así como el Cl con el Mg (0.723) y el Cu (0.734).

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
 DE LA BIBLIOTECA

Tabla X: Correlaciones Pearson entre los micronutrientos Cl, V, Mn, Fe, Cu y Zn de *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl y Zoquiapan

		Correlations											
		IZTACL OR	IZTVA NAD	IZMNI	IZFE	IZCU	IZZIN C	ZOCL OR	ZQVA NAD	ZQMA NG	ZQFE	ZQC U	ZQZI NC
IZTACL LOR	Pearson	1,000	,154	,411*	,698	,102	,797*	-,280	-,069	-,103	-,156	-,085	-,201
	Sig. (2-tailed)		,408	,022	,000	,585	,000	,157	,710	,582	,402	,649	,278
IZTVA NAD	Pearson	,154	1,000	-,091	,312	,496*	,574*	-,104	,037	-,072	-,146	-,043	-,043
	Sig. (2-tailed)	,408		,627	,088	,004	,001	,579	,844	,699	,433	,617	,617
IZMNI	Pearson	,411*	-,091	1,000	,548*	,136	,302	-,181	-,114	-,131	-,025	-,079	-,101
	Sig. (2-tailed)	,022	,627		,001	,484	,099	,388	,541	,484	,896	,674	,588
IZFE	Pearson	,698*	,312	,496*	1,000	,509*	,768*	-,188	-,075	-,123	-,022	-,065	-,065
	Sig. (2-tailed)	,000	,088	,001	,003	,000	,000	,310	,405	,690	,508	,905	,729
IZCU	Pearson	-,102	,496*	-,136	,509*	1,000	,374*	-,256	-,109	-,093	-,220	-,207	-,176
	Sig. (2-tailed)	,585	,004	,464	,003		,038	,165	,580	,618	,233	,263	,343
IZZIN C	Pearson	,797*	,574*	,302	,768*	,374*	1,000	-,150	-,085	-,039	-,208	-,048	-,058
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,069	,000	,038		,422	,648	,835	,262	,808	,768
ZOCL OR	Pearson	-,280	-,104	-,181	-,188	-,256	-,150	1,000	,198	,723*	,467*	,734*	,862*
	Sig. (2-tailed)	,157	,579	,368	,310	,165	,422		,290	,000	,005	,000	,000
ZQVA NAD	Pearson	-,069	,037	-,114	-,155	-,109	-,085	,196	1,000	,252	,020	-,095	,075
	Sig. (2-tailed)	,710	,844	,541	,405	,580	,648	,290		,171	,915	,809	,888
ZQMA NG	Pearson	-,103	-,072	-,131	-,075	-,093	-,039	,723*	,252	1,000	,219	,400*	,576*
	Sig. (2-tailed)	,582	,699	,484	,690	,618	,835	,000	,171		,236	,026	,001
ZQFE	Pearson	-,156	-,146	-,025	-,123	-,220	-,208	,487*	,020	,219	1,000	,417*	,649*
	Sig. (2-tailed)	,402	,433	,896	,508	,233	,262	,005	,915	,236		,020	,000
ZQCU	Pearson	-,065	-,043	-,079	,027	-,207	-,048	,734*	-,095	,400*	,417*	1,000	,617
	Sig. (2-tailed)	,649	,817	,674	,905	,263	,808	,000	,609	,026	,020		,000
ZQZIN C	Pearson	-,201	-,043	-,101	-,065	-,176	-,058	,862*	,075	,576*	,649*	,617*	1,000
	Sig. (2-tailed)	,278	,817	,588	,729	,343	,766	,000	,688	,001	,000	,000	
		N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

En el dendrograma (Fig. 40) se puede observar la unión entre los elementos detectados en dos grandes grupos, en el primer grupo se encuentran todos los micronutrientos del Iztapopocatépetl y el V de Zoquiapan, aunque este está muy alejado del grupo, mientras que los elementos más cercanos fueron el Mn y Fe; después el Cu y el Zn. En el segundo grupo (más pequeño) se tiene el resto de los micronutrientos los cuales pertenecen a Zoquiapan, en donde también los elementos más cercanos fueron el Mn y Fe; seguidos del Cu con el Zn, notándose que este grupo de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

elementos fue menor pero se encontraron sus correlaciones mas cercanas en esta zona.

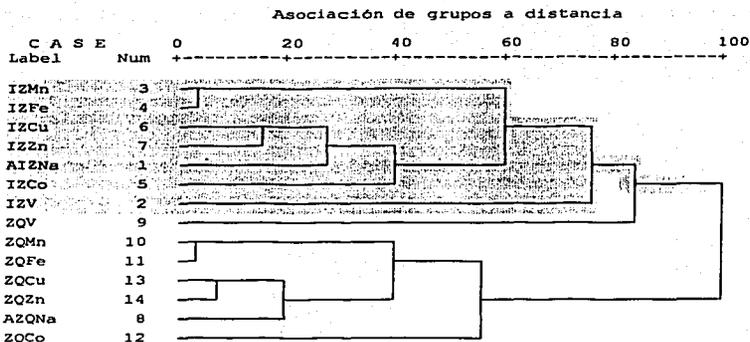


Figura 40. Dendrograma donde se muestran los micronutrientes Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Co y V detectados en los anillos de *Abies religiosa* Scheicht del Iztapopocatepetl (IZ) y Zoquiapan (ZQ).

En la Tabla XI se observan la correlaciones de Pearson, entre los elementos detectados en los anillos de *Abies religiosa* Scheicht del Iztapopocatepetl y de Zoquiapan, en donde las correlaciones más significativas fueron para el Na con el Mn (0.537), Fe (0.597), Co (0.626), Cu (0.781) y Zn (0.589); el Mn con el Fe (0.997) así como el Zn con el Co (0.681) y el Cu (0.816) del Iztapopocatepetl, mientras que en Zoquiapan se observaron mas correlaciones significativas entre los diferentes micronutrientes como son el Na con el Mn (0.534); el Mn con el Fe (0.993); el Cu con el Na (0.776), Fe (0.504) y Co (0.558); así como el Zn con el Na (0.794), Mn (0.672), Fe (0.706), Co (0.572) y Cu (0.912).

Tabla XI: Correlaciones de Pearson, entre los micronutrientos Na, V, Mn, Fe, Cu y Zn detectados en los anillos de *Abies religiosa*

Correlations

	AIZNA	IZV	IZMN	IZFE	IZCO	IZCU	IZZN	AZQNA	ZQV	ZQMN	ZQFE	ZQCO	ZQCU	ZQZN
AIZNA Pearson	1,000	.187	.537*	.597*	.626*	.781*	.589*	-.515*	.235	-.061	-.085	.030	-.315	-.219
Sig. (2-tailed)		.313	.002	.000	.000	.000	.000	.003	.204	.743	.649	.872	.084	.238
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZV Pearson	.187	1,000	-.027	.027	-.001	.307	.371*	-.357*	.053	-.049	-.079	-.193	-.233	-.224
Sig. (2-tailed)	.313		.885	.884	.995	.093	.040	.049	.779	.793	.673	.299	.207	.227
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZMN Pearson	.537*	.027	1,000	.997*	.030	.443*	.359*	-.189	.062	-.049	-.060	-.185	-.215	-.143
Sig. (2-tailed)	.002	.885		.000	.874	.013	.047	.309	.742	.791	.749	.319	.244	.442
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZFE Pearson	.597*	.027	.997*	1,000	.030	.469*	.373*	-.216	.032	-.050	-.061	-.164	-.224	-.148
Sig. (2-tailed)	.000	.884	.000		.874	.008	.039	.244	.863	.789	.743	.379	.226	.426
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZCO Pearson	.626*	.001	.030	.030	1,000	.438*	.601*	-.238	.346	-.046	-.056	.243	-.101	-.034
Sig. (2-tailed)	.000	.995	.874	.874		.014	.000	.198	.056	.805	.764	.187	.590	.856
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZCU Pearson	.781*	.307	.443*	.469*	.438*	1,000	.816*	-.520*	.060	-.086	-.115	-.114	-.370*	-.265
Sig. (2-tailed)	.000	.093	.013	.008	.014		.000	.003	.747	.647	.539	.543	.041	.149
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZZN Pearson	.589*	.371*	.359*	.373*	.601*	.816*	1,000	-.335	.006	-.088	-.108	-.025	-.237*	-.148
Sig. (2-tailed)	.000	.040	.047	.039	.000	.000		.066	.974	.637	.563	.892	.200	.427
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
AZQNA Pearson	-.515*	-.357*	-.189	.216	-.238	-.520*	-.335	1,000	.146	.488*	.534*	.347	.776*	.784*
Sig. (2-tailed)	.003	.049	.309	.244	.198	.003	.066		.432	.005	.002	.056	.000	.000
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQV Pearson	.235	-.053	-.062	.032	.346	.060	.006	-.146	1,000	-.085	-.057	.030	-.044	-.187
Sig. (2-tailed)	.204	.779	.742	.863	.056	.747	.974	.432		.648	.762	.872	.815	.370
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQMN Pearson	-.061	-.049	-.049	.050	.046	.086	-.088	.488*	.085	1,000	.993*	.190	.461*	.672*
Sig. (2-tailed)	.743	.793	.791	.789	.805	.647	.637	.005	.648		.000	.307	.009	.000
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQFE Pearson	-.085	-.079	-.060	.061	.056	.115	-.108	.534*	.057	.993*	1,000	.222	.504*	.708*
Sig. (2-tailed)	.649	.673	.749	.743	.764	.539	.563	.002	.762	.000		.229	.004	.000
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQCC Pearson	.030	-.193	-.185	.164	.243	-.114	-.025	.347	.030	.190	.222	1,000	.558*	.572*
Sig. (2-tailed)	.872	.299	.319	.379	.187	.543	.892	.056	.872	.307	.229		.001	.001
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQCU Pearson	-.315	.233	-.215	.224	-.101	-.370*	-.237	.776*	.044	.461*	.504*	.558*	1,000	.912*
Sig. (2-tailed)	.084	.207	.244	.226	.590	.041	.200	.000	.815	.009	.004	.001		.000
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQZN Pearson	-.219	-.224	-.143	.148	-.034	.265	-.146	.794*	.167	.672*	.706*	.572*	.912*	1,000
Sig. (2-tailed)	.238	.227	.442	.426	.856	.149	.427	.000	.370	.000	.000	.001	.000	
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla XII: Correlaciones de Pearson, entre los elementos traza Cr, Ni, As, y Pb de *Pinus Montezumae*.

		Correlations							
		IZCR	IZNI	ISAS	ISPB	ZQCR	ZQNI	ZQAS	ZQPB
IZCR	Pearson Correlation	1,000	-.084	-.275	.720**	-.019	.085	.241	.044
	Sig (2-tailed)	.	.654	.134	.000	.920	.648	.192	.818
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
IZNI	Pearson Correlation	-.084	1,000	.131	-.090	-.103	-.013	-.107	-.152
	Sig (2-tailed)	.654	.	.481	.828	.582	.946	.567	.416
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
ISAS	Pearson Correlation	-.275	.131	1,000	-.103	.001	.170	.031	-.087
	Sig (2-tailed)	.134	.481	.	.583	.997	.361	.870	.641
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
ISPB	Pearson Correlation	.720**	-.090	-.103	1,000	-.054	-.104	-.079	.129
	Sig (2-tailed)	.000	.828	.583	.	.773	.577	.674	.488
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQCR	Pearson Correlation	-.019	-.103	.001	-.054	1,000	.001	-.118	-.230
	Sig (2-tailed)	.920	.582	.997	.773	.	.997	.533	.214
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQNI	Pearson Correlation	.085	-.013	-.170	-.104	.001	1,000	.131	.221
	Sig (2-tailed)	.648	.946	.361	.577	.997	.	.483	.232
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQAS	Pearson Correlation	.241	-.107	.031	-.079	-.118	.131	1,000	-.325
	Sig (2-tailed)	.192	.567	.870	.874	.533	.483	.	.075
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQPB	Pearson Correlation	.044	-.152	-.087	.129	-.230	.221	-.325	1,000
	Sig (2-tailed)	.818	.416	.641	.488	.214	.232	.075	.
	N	31	31	31	31	31	31	31	31

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

En el dendrograma (Fig. 42) se muestran los elementos detectados por PIXE en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en dos grupos pertenecientes a cada zona, así el Br, Rb y Sr se encuentran en una región la cual corresponde al Itzapopocatépetl en donde el Br y el Rb se encuentran muy cercanos a diferencia de los demás elementos, y por otro lado el Ga, Sr, Rb y Br están unidos en un grupo que pertenece a la zona de Zoquiapan. El único elemento que quedo fuera de su grupo fue el Ga del Itzapopocatépetl, el cual quedo totalmente aislado de los elementos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Asociación de grupos a distancia

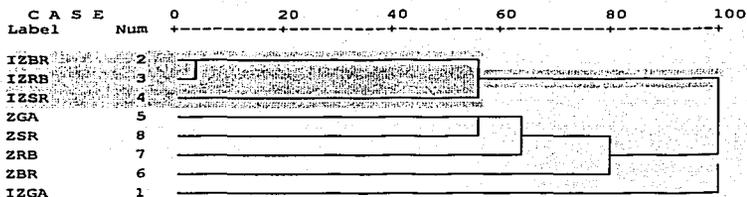


Figura 42. Dendrograma donde se muestran los elementos parcialmente necesarios Br, Rb, Sr y Ga detectados en los anillos de *Pinus montezumae* del Iztapopocatópetli (IZ) y Zoquiapan (ZQ).

En la tabla XII se muestran las correlaciones de Pearson para los elementos detectados por PIXE en los anillos de crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb de cada zona, en donde se observo que la única correlación significativa fue entre el Br y Rb (0.843) del Iztapopocatópetli.

Tabla: XIII. Correlaciones de Pearson para los elementos parcialmente necesarios Ga, Br, Rb y Sr de *Pinus montezumae*

		Correlations							
		PZGA	IZBR	IZRB	IZSR	PZGA	PZBR	PZRB	PZSR
PZGA	Pearson Correlation	1.000	-.112	-.014	-.122	-.192	-.226	-.049	-.080
	Sig (2-tailed)		.550	.941	.515	.301	.221	.792	.668
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
IZBR	Pearson Correlation	-.112	1.000	.843**	.325	-.083	-.138	-.158	.159
	Sig (2-tailed)	.550		.000	.074	.657	.458	.392	.392
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
IZRB	Pearson Correlation	-.014	.843**	1.000	.357*	-.118	-.201	-.143	-.100
	Sig (2-tailed)	.941	.000		.048	.528	.278	.442	.593
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
IZSR	Pearson Correlation	-.122	.325	.357*	1.000	.082	-.152	-.106	-.146
	Sig (2-tailed)	.515	.074	.048		.739	.414	.569	.432
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
PZGA	Pearson Correlation	-.192	-.083	-.118	.082	1.000	.177	.255	.350
	Sig (2-tailed)	.301	.657	.528	.739		.341	.166	.054
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
PZBR	Pearson Correlation	-.226	-.138	-.201	-.152	.177	1.000	.152	.023
	Sig (2-tailed)	.221	.458	.278	.414	.341		.415	.904
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
PZRB	Pearson Correlation	-.049	-.158	-.143	-.106	.255	.152	1.000	.276
	Sig (2-tailed)	.792	.392	.442	.569	.166	.415		.133
	N	31	31	31	31	31	31	31	31
PZSR	Pearson Correlation	-.080	.159	.100	.148	.350	.023	.276	1.000
	Sig (2-tailed)	.668	.392	.593	.432	.054	.904	.133	
	N	31	31	31	31	31	31	31	31

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

En *Pinus montezumae* de Zoquiapan se observaron la maximas correlaciones entre el Pb con Ni y Ti, al igual que el Cd con el Ba.

Tabla XIV. Correlaciones Pearson, entre los elementos traza Cr, Ni, Ti, Se, Cd, Ba, Ti y Pb de *Abies religiosa*

		Correlations															
		AIZCR	IZNI	IZTI	IZSE	ISCD	ISBA	ISTL	IZPB	AZOCR	ZONI	ZQTI	ZQSE	ZOCD	ZOBA	ZQTL	ZOPB
AIZC R	Pearson	1,000	.664	.720	.868	.268	.111	.624	.751	.047	-.268	-.271	-.101	-.076	-.137	-.160	-.265
	Sig (2-tailed)		.000	.000	.000	.000	.118	.000	.000	.800	.261	.140	.590	.690	.481	.391	.148
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZNI	Pearson	.664	1,000	.448	.769	.021	.410	.697	.493	-.063	-.265	.019	-.118	-.109	-.029	-.157	-.291
	Sig (2-tailed)	.000		.011	.000	.909	.022	.000	.005	.508	.149	.821	.528	.559	.875	.400	.112
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZTI	Pearson	.720	.448	1,000	.811	.863	.066	.417	.697	.297	-.220	.813	-.118	.034	-.188	-.140	-.243
	Sig (2-tailed)	.000	.011		.000	.000	.723	.020	.000	.104	.234	.000	.528	.652	.269	.31	.187
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZSE	Pearson	.868	.769	.811	1,000	.456	.070	.477	.658	-.129	-.208	.424	-.117	-.014	-.166	-.152	-.251
	Sig (2-tailed)	.000	.000	.000		.010	.709	.007	.000	.489	.261	.017	.530	.940	.373	.416	.173
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ISCD	Pearson	.268	.021	.863	.456	1,000	-.051	.237	.844	.370	-.168	.843	-.085	.153	-.170	-.089	-.166
	Sig (2-tailed)	.118	.909	.000	.010		.766	.199	.000	.041	.366	.000	.649	.411	.362	.835	.372
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ISBA	Pearson	.111	.410	-.066	-.070	-.051	1,000	.810	-.019	-.126	-.192	.028	-.017	-.103	.110	-.097	-.203
	Sig (2-tailed)	.552	.022	.723	.709	.786		.000	.920	.500	.300	.880	.929	.581	.556	.604	.374
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ISTL	Pearson	.624	.697	.417	.477	.237	.810	1,000	.462	-.012	-.233	.242	-.048	-.168	-.079	.146	-.299
	Sig (2-tailed)	.000	.000	.020	.007	.199	.000		.009	.947	.208	.189	.799	.366	.683	.433	.107
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZPB	Pearson	.751	.493	.697	.658	.844	.019	.462	1,000	.278	-.238	.764	-.122	.092	-.178	-.156	-.261
	Sig (2-tailed)	.000	.005	.000	.000	.020	.909			.130	.166	.000	.514	.622	.339	.402	.156
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
AZQC R	Pearson	.047	-.083	.297	.129	.370	.128	-.012	.278	1,000	-.078	.321	.167	.234	-.010	-.244	-.230
	Sig (2-tailed)	.800	.059	.104	.489	.041	.500	.947	.130		.877	.078	.370	.205	.956	.186	.214
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZONI	Pearson	-.208	-.265	-.220	-.208	-.168	.162	.233	-.238	-.078	1,000	.049	.079	.138	.298	.323	.699
	Sig (2-tailed)	.261	.149	.234	.261	.366	.300	.208	.196	.677		.792	.672	.458	.104	.076	.000
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQTI	Pearson	.271	.019	.813	.424	.643	.026	.242	.794	.321	-.049	1,000	-.102	.287	-.046	.100	.047
	Sig (2-tailed)	.140	.921	.000	.017	.000	.899	.189	.000	.078	.792		.586	.117	.608	.594	.801
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQSE	Pearson	-.101	-.118	-.118	-.117	-.085	.017	.048	-.122	.167	.078	-.102	1,000	.232	.162	-.290	-.064
	Sig (2-tailed)	.590	.528	.528	.530	.649	.929	.799	.514	.370	.672	.566		.210	.327	.113	.734
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZOC D	Pearson	-.075	-.109	.084	-.014	.153	.103	.168	.092	.234	.138	.287	.322	1,000	.559	.096	.281
	Sig (2-tailed)	.690	.359	.652	.940	.411	.581	.366	.622	.205	.458	.117	.210		.001	.608	.126
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZOBA	Pearson	-.137	-.029	-.186	-.166	-.170	.110	.076	-.178	-.010	.298	-.046	.182	.559	1,000	.112	.284
	Sig (2-tailed)	.481	.875	.299	.373	.362	.556	.683	.339	.956	.104	.808	.327	.001		.549	.121
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQTL	Pearson	-.160	-.157	-.140	-.152	-.089	-.097	-.146	-.156	-.244	.323	.100	-.290	.096	.112	1,000	.725
	Sig (2-tailed)	.391	.400	.453	.416	.835	.804	.433	.402	.186	.078	.594	.113	.608	.549		.000
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZOPB	Pearson	-.265	-.291	-.243	-.251	-.186	-.203	.295	-.261	-.230	.899	.047	-.064	-.281	.284	.725	1,000
	Sig (2-tailed)	.149	.112	.187	.173	.372	.274	.107	.156	.214	.000	.601	.734	.126	.121	.000	
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla XV. Correlaciones de Pearson, entre los elementos parcialmente necesarios
Ga, Br, Y, Pd, Te y Bi de *Abies religiosa*

Correlations

	AIZGA	IZBR	IZY	IZPD	IZTE	IZBI	AZQGA	ZQBR	ZQY	ZQPD	ZQTE	ZQBI
AIZG Pearson	1,000	,332	,308	,217	,761*	,260	-,269	-,065	-,174	-,172	-,188	-,244
A Sig. (2-tailed)		,068	,092	,240	,000	,158	,144	,728	,350	,355	,312	,186
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZBR Pearson	,332	1,000	,695*	,662*	,139	,274	-,206	-,062	-,069	-,111	-,228	-,152
I Sig. (2-tailed)	,068		,000	,000	,457	,136	,266	,742	,713	,551	,217	,414
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZY Pearson	,308	,695*	1,000	,004	,207	,160	-,364*	-,058	-,129	-,053	-,145	-,242
I Sig. (2-tailed)	,092	,000		,981	,263	,391	,044	,755	,490	,779	,435	,189
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZPD Pearson	,217	,662*	,004	1,000	-,013	,585*	,016	-,039	-,007	-,152	-,136	-,024
I Sig. (2-tailed)	,240	,000	,981		,946	,001	,930	,834	,972	,415	,466	,898
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZTE Pearson	,761*	,139	,207	-,013	1,000	-,07	-,246	-,048	-,175	-,163	-,174	-,236
I Sig. (2-tailed)	,000	,457	,263	,946		,726	,182	,796	,345	,381	,348	,202
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IZBI Pearson	,260	,274	,160	,585*	-,066	1,0	-,147	-,047	-,091	-,159	,003	-,135
I Sig. (2-tailed)	,158	,136	,391	,001	,726		,430	,803	,626	,392	,985	,467
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
AZQGA Pearson	-,269	-,206	-,364*	,016	-,246	-,15	1,000	,212	,255	,429*	,378*	,850*
A Sig. (2-tailed)	,144	,266	,044	,930	,182	,430		,253	,166	,016	,036	,000
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQBR Pearson	-,065	-,062	-,058	-,039	-,048	-,05	,212	1,000	-,029	,027	-,115	,552*
Z Sig. (2-tailed)	,728	,742	,755	,834	,796	,803	,253		,879	,883	,538	,001
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQY Pearson	-,174	-,069	-,129	-,007	-,175	-,09	,255	-,029	1,000	-,036	-,005	,099
Z Sig. (2-tailed)	,350	,713	,490	,972	,345	,626	,166	,879		,846	,977	,595
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQPD Pearson	-,172	-,111	-,053	-,152	-,163	-,16	,429*	,027	-,036	1,000	,555*	,476*
Z Sig. (2-tailed)	,355	,551	,779	,415	,381	,392	,016	,883	,846		,001	,007
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQTE Pearson	-,188	-,228	-,145	-,136	-,174	,003	,378*	-,115	-,005	,555*	1,000	,326
Z Sig. (2-tailed)	,312	,217	,435	,466	,348	,985	,036	,538	,977	,001		,074
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
ZQBI Pearson	-,244	-,152	-,242	-,024	-,236	-,14	,850*	,552*	,099	,476*	,326	1,000
Z Sig. (2-tailed)	,186	,414	,189	,898	,202	,467	,000	,001	,595	,007	,074	
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B. CONCLUSIONES

- ✓ Existe una fuerte asociación entre las emisiones atmosféricas PM10 y PST con los macronutrientes (K, Ca, S), micronutrientes (Cl), fisiológicamente esenciales (Rb, Sr) y parcialmente necesario (As).
- ✓ La precipitación y la temperatura se asociaron fuertemente con la anchura de los anillos de *Abies religiosa*, reflejo su sensibilidad.
- ✓ La asociación entre el ancho de los anillos de *Pinus montezumae* y la concentración de las emisiones PM10 (Sureste) y los elementos Rb, As y Sr acumulados en sus correspondientes anillos.
- ✓ Los micronutrientes Cu, Fe y Zn acumulados en los anillos de *Pinus montezumae* se asociaron fuertemente con la precipitación.
- ✓ El Cu y el Zn reflejaron concentraciones que se clasifican como tóxicas (oligoelementos) en *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl de 1976 a 1985, y deficiente en el último quinquenio.
- ✓ En *Pinus montezumae* de Zoquiapan solo se encontraron concentraciones excesivas de Zn (de 1971 a 1975) y Cu (1971 al 2000). El Pb se encontró en cantidades excesivas o tóxicas de 1971 a 1995, además del Ni (1981 a 1985), As (1976 a 1980 y de 1996 al 2000) y Hg (1971 a 1975).
- ✓ El V (parcialmente necesario) resulto excesivo o tóxico de 1986 a 1990.
- ✓ Las concentraciones elevadas de los elementos traza (Ti, Zr, Pb, As, Ni y Cr) resultaron excesivas o tóxicas en *Pinus montezumae* del Iztapopocatépetl de 1976 a 1990.
- ✓ En los anillos de *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl se determinó bajas en las concentraciones de los micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe) a medida que disminuyo el crecimiento de los anillos.
- ✓ En los anillos *Abies religiosa* del Iztapopocatépetl se observaron concentraciones tóxicas para los elementos traza Ti, Pb, Cr, Cd y Se.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Probar la posible intervención de los S, Rb, As, K, Sr, y Cl, en procesos edáficos-simbióticos y fisiológicos del árbol, el Dendroanálisis es la respuesta a la alta mortalidad de los árboles.
- ✓ Continuar con la línea de investigación, determinando la tendencia en el crecimiento de los anillos de *Pinus sp* y *Abies religiosa* para realizar la Dendrocronología de más de 80 años.
- ✓ Aprovechar los núcleos extraídos para determinar la especie indicadora del clima en la República Mexicana.
- ✓ Aprovechar las ventajas del método PIXE para realizar el análisis químico de los anillos de crecimiento a nivel de tejidos (microPIXE) y así, establecer la diferencia elemental entre leño temprano y leño tardío.
- ✓ Analizar químicamente el agua de la sabia de *Abies religiosa* para observar los elementos de mayor movilidad en esta especie.
- ✓ Aplicar otras técnicas de haz externo (PIGE, RBS, IL, RFX) con fines de incrementar el conocimiento teórico de la movilidad de iones en la madera de los árboles.
- ✓ Probar la migración de elemental entre las regiones del leño para confirmar la bioacumulación en los anillos de crecimiento.

10. BIBLIOGRAFÍA

ALARCON, M.A., DE BAUER, L.I., SEGURA, G., JASSO, J., ZEPEDA, M. 1995. Dendrochronology of *Pinus hartwegii* in forested regions near Mexico City. XIII International Plant Protection Congress, The Hague, The Netherlands. Abstract in European Journal of Plant Pathology, 1338.

ALVARADO, R., DE BAUER, L.I., GALINDO, A.J., 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. Environmental Pollution 80, 115±121.

AMATO, I. 1988. Tapping tree rings for the environmental tales they tell. Anal. Chem. 60, 1103A±1107A.

AOKI T.; KATAYAMA Y.; KAGAWA A.; KOH S.; YOSHIDA K. 1998. Measurement of trace elements in tree rings using the PIXE method. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 136-138:919-922.

ARP, P.A., MANASC, J., 1988. Red spruce stands downwind from a coal-burning power generator: tree-ring analysis. Can. J. For. Res. 18, 251±264.

BAES, C.F. III., MCLAUGHLIN, S.B., 1984. Trace elements in tree rings: evidence of recent and historical air pollution. Science 224, 494±497.

BAES, C. F., III, AND RAGSDALE, H. L. (1981). "Age-specific lead distribution in xylem rings of three tree genera in Atlanta, Georgia." *Environ. Pollut. Ser. B.* 2: 21-35.

BONDIETTI E.A.; MOMOSHIMA N.; SHORTLE W.C.; SMITH K.T. 1990. A historical perspective on divalent cation trends in red spruce stemwood and the hypothetical relationship to acidic deposition. Can. J. For. Res. 20:1850-1858.

BOSSHARD, H.H. 1966. Notes on the biology of the heartwood formation. News Bull. IAWA 1966-1-14.

BOSSHARD, H.H. 1968. On the formation of facultatively colored heartwood in *Beilschmiedia tawa*. Wood Sci. Technol. 2:1-12.

BURTON, M.A.S. 1985. Tree rings. Historical monitoring. Monitoring and Assessment Res. Centre Rep. No. 31 Univ. London. 175-202.

CALVA G.; CORONA C. 1990. Los vegetales potencialmente útiles para el registro de los niveles de contaminación en el D.F. Tópicos de Investigación y postgrado. 1,3:3-9.

CALVA G. 1999. Monitoreo de la depositación ácida en zonas boscosas de la cuenca de México, usando como superficie de exposición, la corteza arbórea de tres Pináceas. Tesis de Maestría en Ciencias. México. 3- 38.

COOK, E.R., JACOBY, G., 1977. Tree ring-drought relationships in the Hudson Valley, New York. Science 198, 399±402.

CORENA (DDF). INF 1995. Reunión de expertos en parásitos y contaminación que de afectan los bosques del D.F., Centro de Capacitación para Ecoguardas, Carretera Panorámica al Ajusco Km 25, Nov. 95.

CUTTER B.; GUYETTE R. 1993. Anatomical, Chemical, and Ecological Affecting Tree Species Choice in Dendrochemistry Studies. J. Environ. Qual. 22:611-619.

DONNELLY, J.R., SHANE, J.B., SCHABERG, P.G. 1990. Lead mobility within the xylem of red spruce seedlings: implications for the development of pollution histories. J. Environ. Qual. 19; 268±271.

EKLUND, M., 1995. Cadmium and lead deposition around a Swedish battery plant as recorded in oak tree rings. Journal of Environmental Quality 24. 126±131.

FERRETTI, M., R. UDISTI AND E. BARBOLAMI. 1993. Mineral nutrients and trace metals in tree rings of *Pinus* sp. J. Anal. Chem. 347:467-470.

FRELICH, L.E., BOCKHEIM J.G., LEIDE, J.E. 1989. Historical trends in tree-ring growth and chemistry across an air-quality gradient in Wisconsin. Can. J. For. Res. 19:113-121.

FRITTS, H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press London.

GILBOY, W.B., TOUT R.E., SPYROU N.M. 1976. Dendroanalysis: the study of trace elements in tree rings. Proc. ERDA. X-and Gamma-Ray Symp., Ann Arbor, MI. 164-165.

GIO-ARGAEZ, R.; HERNÁNDEZ RUIZ I.; SAINZ HERNÁNDEZ E. 1989. Aspectos climáticos de la Cuenca del Valle de México. Ed. Sociedad Mexicana de Historia Natural. 25-39 p.

HAGEMeyer, J., 1993. Monitoring trace metal pollution with tree rings: a critical reassessment. In: Markrt, B. (Ed.), In. Plants as Biomonitors. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany, pp. 541±563.

HAGEMeyer J., WEINAND T. 1996. Radial distributions of Pb in stems of young Norway spruce trees grown in Pb-contaminated soil. *Tree Physiology*. 16, 591-594.

HORNBECK, J.W., AND SMITH, R.B. 1985. Documentacion of red spruce growth decline. *Can. J. For. Res.* 15_ 1199-1201.

HORN, R., SCHULZE, E.-D., and Hanstschel, R. 1989. Nutrient balance and element cycling in healthy and declining Norway spruce stands. In *Forest decline and air pollution*. Edited by E.-D. Schulze, O.L. Lange, and R. Oren. Springer-Verlag, Berlin, New York. *Ecol. Stud.* 77: pp. 444-455.

<http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/maderas.htm>

<http://www.ltr.arizona.edu/dendrochronology.html>

INEGI, 1987. Síntesis Geográfica Nomenclátor y Anexo Cartográfico del Estado de México.

INEGI, 1995. Distrito Federal resultados definitivos. VII Censo Agrícola-Ganadero, DDF.

JOHANSSON A. E., SVEN Y., CAMPBELL J. L. 1988. PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis. John Wiley & Sons, Toronto.

JOHNSON, A.H., SICCAMa, T.G., 1983. Acid deposition and forest decline. *Environ. Sci. Technol.* 17, 294±305.

JOHNSON, S.A., SICCAMa, T.G. 1983. Acid deposition and forest decline. *Environ. Sci. Technol.* 17: 294-305.

JOHNSON, S.A., SICCAMa, T.G., WANG, D., TURNER, R.S., BARRINGER, T.H. 1981. Recent changes in patterns of tree growth rate in New Jersey pinelands: a possible effect of acid rain. *J. Environ. Qual.* 10: 427-430.

KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, PH.D. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2nd. Edition. U.S.A. 67-87.

- KRAMER, P.J., KOZLOWSKI, T.T., 1979. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press, New York.
- LACY R., LÓPEZ M., ORTEGA J.A. 2000. *Conciencia ciudadana y contaminación atmosférica: estado de situación (MÉXICO)*. CEPAL. 1:7-8
- LEGG, A.H., KAUFMANN, H.C., WINCHESTER, J.W., 1984. Tree-ring analysis by PIXE for a historical record of soil chemistry response to acidic air pollution. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 83, 507± 510.
- LEPP, N.W., 1975. The potential of tree-ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns. *Environmental Pollution* 9, 49±61.
- LEVY, G., CRÉCHET, C., BECKER, M. 1996. Element analysis of tree rings in pendunculate oak heartwood: an indicator of historical trends in the soil chemistry, related to atmospheric deposition. *Ann Sci For.* 53: 685-696.
- LONG R.P., DAVIS, D.D. 1999. Growth variation of white oak subjected to historic levels of fluctuating air pollution. *Environmental Pollution* 106:193±202.
- L'HIRONDELLE, S.J., ADDISON, P.A. 1985. Effects of SO₂ on leaf conductance, xylem tension, fructose and sulphur levels of jack pine seedlings. *Environ. Pollut. Ser. A Ecol. Biol.* 39, 373±386.
- MACARTUR J.D., XIN-PEI M.A. 1991. A Review of Particle-Induced X-Ray in Geology. 313-331.
- MCCLLENAHEN, J.R., DOCHINGER, L.S., 1985. Tree ring response of white oak to climate and air pollution near the Ohio river Valley. *Journal of Environmental Quality* 14, 274±280.
- MADJI, H., PERSSON, H., 1989. Effects of road-traffic pollutants (lead and cadmium) on tree roots along a major road. *Plant and Soil* 119, 1±5.
- MCLAUGHLIN, S.B. 1985. Effects of air pollution on forests: a critical review. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 35: 516-534.
- MELO-GALLEGOS, S.C. 1977. Desarrollo de los parques Nacionales Mexicanos. *Instituto de Geografía, Serie varia* 1(3):58-154.
- MELO-GALLEGOS, S.C., OROPEZA-OROSCO O. 1982. Bases geográficas para la reestructuración operativa del Parque Nacional Zoquiapan, Edo. De México. *Boletín No. 12, Instituto de Geografía*: 16-56 p.

MASS, J.R., PATRON, A. SUAREZ, S. BLANCO, G. CEVALLOS, C. GALINDO., PESCADOR, A. 1981. Ecología de la estación experimental Zoquiapan UACH. Ed. Colección de Cuadernos Universitarios.

MOMOSHIMA, N. BONDIETTI, E.A. 1994. The radial distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in trees. *J. Environ. Radioact.* 22:93-109.

MORTVEDT, J.J., GIORDANO, P.M. LINDSAY, W.L. 1983. Micronutrientes en agricultura. 3a. Edición. AGT Editor, S.A. México, D.F. 362-373 pp.

NABAIS C., FREITAS H., HAGEMEYER J. 1999. Dendroanalysis: a tool for biomonitoring environmental pollution?. *The Science of the Total Environment* 232:33-37.

OREN, R., SCHULZE, E.-D., WERK, K.S., MEYER, J. 1988. Performance of low *Picea abies* (L) Karst. Stands at different stages of decline. VII. Nutrient relations and growth. *Oecologia* (Berlin). 77: 163-173.

PROHASKA T., STADLBAUER C., WIMMER R., STINGEDER G., LATKOCZY CH., HOFFMANN E., STEPHANOWITZ, H. 1998. Investigation of element variability in tree rings of young Norway spruce by laser-ablation-ICPMS. *The Science of the Total Environment* 219:29-39.

PUCKETT, L.J. 1982. Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York. *J. Environ. Qual.* 11: 376-381.

RICHARDSON M. 1979. Translocación en las plantas. *Cuadernos de Biología*. Ed. Omega, S. A. Barcelona. 1-11.

RUDMAN, P. 1966. Heartwood formation in trees. *Nature* (London) 210:608-610.

SHIGO A. 1985. Compartimentalización de la podredumbre en los árboles. *Investigación y Ciencia*. 105:58-66.

SHORTLE, W.C., SMITH, K.T. 1988. Aluminum-induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce. *Science* 240:239-240.

SICCAMA T. Y VOGT D. 1999.
<http://www.vale.edu/fes519b/saltonstall/chemdata.htm>

SCHWEINGRUBER, F.H. 1987. *Tree rings: Basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic, Dordrecht, Holland.

TISDALE, L.S., WERNER, L.N. Y J.D. BEATON. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4a. Ed. Macmillan Publishing Company. U.S.A. 59-91 pp.

TOMMASINI S., GARETH R.D. ELLIOTT, T. 2000. Lead isotope composition of tree-rings as bio-geochemical tracers of heavy metal pollution: a reconnaissance study from Firenze, Italy. Applied Geochemistry. 15. 891-900.

ULRICH, B., PANKRATH, J. (Eds.), 1983. Effects of Accumulation of Air Pollution in Forest Ecosystems. Reidel, Dor-drecht.

VANDERLEI, M.J., ARTAXO, P., FERAZ, E., TABACNIKS, M.H. 1999. Chronological studies of tree-rings from the Amazon Basin using thick target PIXE and proton backscattering analysis. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 150:240-247.

WATMOUGH, S.A., 1997. An evaluation of the use of dendrochemical analyses in environmental monitoring. Environmental Reviews 5. 180±201.

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T.C. 1999. Change in the dendrochemistry of sacred fir close to México City over the past 100 years. Environmental Pollution. 104:79-88.

WATMOUGH, S.A., HUTCHINSON, T. C., SAGUER, E.P.S. 1988. Changes in tree ring chemistry in sugar maple (*Acer saccharum*) along an urban-rural gradient in southern Ontario. Environmental Pollution. 101:381-390.

WATMOUGH, S.A. 1998. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis. Environmental Pollution. 106:391-403.

YANOSKY T. M., HANSEN B. P., SHENING, M. R. 2001. Use of tree rings to investigate the onset of contamination of a shallow aquifer by chlorinated hydrocarbons. Journal of Contaminant Hydrology 50:159-173.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
LABORATORIO DE CONTAMINACION ATMOSFERICA



CARRERA DE BIOLOGÍA

Asunto: Cotejar especie.

**M. en C. Carlos Castillejos Cruz.
HERBARIO FEZA
PRESENTE**

Le solicito de la manera más atenta realizar la determinación y el cotejo de la especie *Pinus montezumae* Lamb. con la cual esta trabajando la alumna Maricela Mojca Avilés, con el proyecto de tesis "Dendroanálisis con PIXE, de núcleos de pino y oyamel para el registro de los eventos del depósito atmosférico en los Parques Nacionales Iztapocatópetl y Zoquiapan". Es importante mencionar que se le dará el crédito correspondiente al Herbario FEZA en el escrito final.

Sin más por el momento, me despido de usted enviándole un saludo cordial.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México, D. F., a 05 de septiembre de 2002.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

M. en C. Germán Calva Vásquez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN