



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

*Registro de los metales pesados con PIXE en anillos de
crecimiento de árboles de los parques Nacionales Desierto de los
Leones y El Chico, Hgo.*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

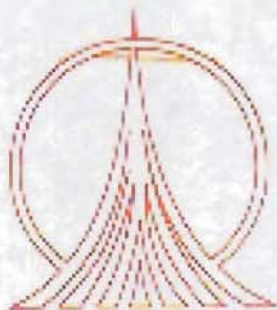
B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

G I S E L A R A Z O Á N G E L



DIRECTOR DE TESIS: M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ



FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA

MEXICO, D. F. JUNIO DEL 2005.

0350234



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.

AGRADECIMIENTOS

➤ **A Dios**

Por darme la oportunidad de estar en este momento y haber conocido a personas tan maravillosas en el.

➤ **A mi Mamá**

Por darme la vida, cariño, amor y estar siempre a mi lado, ya que sin su apoyo yo no sería lo que ahora soy.

➤ **A mi hermana**

Parte esencial de mi vida, por su cariño tan difícil de expresar, apoyo y por ser ella misma.

➤ **A mi hermano**

Por el tiempo de convivencia que llevamos juntos, por su confianza de creer en mí, te dedico esta tesis.

➤ **A mi familia**

Tete, Tía Leti, Bibis, Abuelo, Tía Mati, Tía Lucy, Poncho, Janeth y a la Familia Alemán, etc. Por su apoyo que cada uno me brinda gracias.

➤ **A mis amigos**

Edel y Ehecatl por su amistad y buenos consejos que me han dado.

Nayamil, Luvinda y Jesús por su compañía, amistad y cariño brindado.

Esther por ser una amiga tan especial.

Claudia Marina por ser mi confidente, amiga y sobre todo una persona tan ejemplar en todo lo que hace.

Sinai, Víctor, Rebeca, Almita, Vero, Ricardo, Pedro, Hugo, Saúl, Vicky, Nancy, Julia, Susana, Lalito, Luis, Leonardo, Elena, Eloy, Pato, Leo, Jorge, Caridad, Carmen, Alma, Hilario, etc. Por permitirme convivir y aprender de cada uno de ustedes.

Hugo Jaramillo por su tiempo, apoyo y cariño que me ha brindado.

A la Familia Jaramillo Lara por su apoyo incondicional que me ha brindado a mí y a mi familia en los momentos más difíciles de ella.

A Pedro Nemer Garay por su apoyo brindado.

De la Preparatoria Abierta

Del Museo de La Luz

De la Preparatoria de Xochimilco

➤ **A mis Profesores de la Facultad**

José Núñez Fernández por ser un amigo y darme sabios consejos y su apoyo moral que siempre me ha brindado.

Carlos Martínez Montoya por su amistad.

José Ponce, Grimaldo, Zavala, Carlos Castillejos, Mari, Dolores Escorza, Arcadio Monroy, Ángeles Galván, Carlos Pérez Malvaez, Manuel Rico, Alberto Méndez, Judith Villavicencio, Patricia etc. Por darme la oportunidad de haber sido su alumna.

A SEDESOL por la beca otorgada por servicio social.

➤ **Al Instituto de Física**

Dr. Luis Rodríguez Fernández por el asesoramiento impartido para el análisis de los datos para mi tesis.

Dr. José Luis Ruvalcaba Sil por la asistencia técnica brindada para la realización del análisis PIXE, y por su paciencia.

Sr. Karim López por el apoyo brindado en el Peletrón y su amistad.

Sr. Francisco Javier Jaimes por el apoyo en el Peletrón y tu amistad.
Al Proyecto PAPIT DGAPA (IN216903) por la beca otorgada.

Dr. Rubén Alfaro y esposa por su asistencia en el material de cómputo.

Dr. Marcelo Lugol Licona por su amistad.

Miriam por su compañía durante mi estancia en el Instituto de Física.

Taller del Instituto de Física

A mis Sinodales

Dr. Arcadio Monroy Ata por ser mi profesor, amigo y jurado de mi examen profesional.

M. en C. Efraín Ángeles Cervantes por las aportaciones para el trabajo.

Biól. Maricela Arteaga Mejía por el gran apoyo brindado en los momentos difíciles para mí, así como sus observaciones en el trabajo.

Biól. Ángeles Galván Villanueva por ser mi madre académica, amiga y por sus aportaciones para mi tesis.

M. en C. Germán Calva Vásquez por ser mi director de tesis, amigo y brindarme la oportunidad de estar en el proyecto tan importante que realiza. Gracias por tenerme paciencia y dedicarme su tiempo tan valioso.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. PROBLEMÁTICA.....	5
IV. OBJETIVOS.....	8
4.1 Objetivo General	
4.2 Objetivos Particulares	
V. HIPÓTESIS.....	9
VI. MARCO TEÓRICO.....	10
6.1 La importancia de los metales pesados.....	10
6.1.1 Origen.....	10
6.1.2 Traslocación.....	13
6.1.3 Depósito.....	15
6.1.4 Efectos.....	15
6.2 Descripción de la madera.....	17
6.2.1 Anatomía.....	18
6.2.2 Fisiología.....	20
6.2.3 Xilema y floema.....	21

6.3	Biología de las especies arbóreas.....	22
6.3.1	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	22
6.3.2	<i>Pinus patula</i> Schlecht. & Cham.	24
6.3.3	<i>Abies religiosa</i> (HBK) Schltdl. et Cham.	25
6.4	Técnica PIXE y RBS.....	26
6.4.1	Historia.....	26
6.4.2	Principio de las técnicas.....	27
	• PIXE.....	27
	• RBS.....	28
6.4.3	Fundamento de PIXE.....	28
6.4.4	Dispositivos experimentales.....	30
	• Peletrón.....	30
VII.	ANTECEDENTES.....	34
VIII.	DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.....	36
8.1	Parque Nacional Desierto de los Leones (DDLL).....	36
8.2	Parque Nacional El Chico, Hgo. (CH).....	38
IX.	MATERIAL Y METODOS.....	41
9.1	Fase de Gabinete.....	41
9.2	Fase de Campo.....	41
9.3	Fase de Laboratorio.....	43
X.	RESULTADOS.....	46
10.1	Historia en la anchura de los anillos.....	46
10.2	Variación de los metales pesados registrados en el DDLL y el CH.....	47

XII.	RECOMENDACIONES.....	91
XIII.	REFERENCIAS.....	92
XIV.	ANEXOS.....	97

10.2.1	<i>Abies religiosa</i>	47
10.2.2	<i>Pinus patula</i> . y <i>Pinus montezumae</i>	51
10.3.	Asociación y agrupación del tiempo, anchura y metales pesado	54
10.3.1	<i>Abies religiosa</i> en Chico, Hgo.....	54
10.3.2	<i>Abies religiosa</i> del Desierto de los Leones.....	56
10.3.3	<i>Pinus patula</i> en El Chico.....	59
10.3.4	<i>Pinus montezumae</i> del Desierto de los Leones.....	61
10.4.	Asociación del tiempo, anchura y metales pesados.....	64
10.4.1	<i>Abies religiosa</i> del Desierto de los Leones.....	64
10.4.2	<i>Abies religiosa</i> del Chico, Hgo.....	64
10.4.3	<i>Pinus patula</i> del Chico, Hgo.....	65
10.5.	Variación de los metales ligeros y de transición en el Chico y el DDLL	66
10.5.1	<i>Abies religiosa</i>	66
10.5.2	<i>P. patula</i> y <i>P.montezumae</i>	68
10.5.	Variación de los metales ligeros y de transición.....	70
10.5.1	<i>Abies religiosa</i> del Desierto de los Leones.....	70
10.5.2	<i>Abies religiosa</i> del Chico, Hgo.....	71
10.5.3	<i>P.patula</i> del Chico, Hgo.....	73
10.5.4	<i>P.montezumae</i> del Desierto de los Leones.....	75
10.6.	Concentración elemental de metales pesados en primavera y verano	
10.6.1	<i>Pinus montezumae</i> , <i>Pinus patula</i> y <i>Abies religiosa</i> del DDLL y El CH.....	77
XI.	CONCLUSIONES	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Registro histórico de las partículas suspendidas totales (PST) por cada una las zonas del Distrito Federal.....	6
Figura 2 : Incorporación de los metales pesados al suelo por diferentes vías.....	13
Figura 3 : Representación de un anillo de crecimiento anual.....	18
Figura 4 : Regiones de la madera del tronco del árbol.....	19
Figura 5 : Madera dura donde se observan las regiones del leño temprano y tardío.....	22
Figura 6 : Dispositivo de un sistema de haz para realizar un análisis a la atmósfera.....	27
Figura 7: Espectro de un anillo de crecimiento de un árbol.....	30
Figura 8: Irradiación de un núcleo de árbol.....	31
Figura 9: Laboratorio del Peletrón (Instituto de Física UNAM).....	32
Figura 10: Parque Nacional "Desierto de los Leones".....	36
Figura 11: Mapa de localización del Parque Nacional Desierto de los Leones (DDLL) y el Chico Hidalgo.....	37
Figura 12: Panorámica del Desierto de los Leones.....	38
Figura 13: Parque Nacional "El Chico, Hgo."	39
Figura 14: Selección de los árboles en los Parques Nacionales.....	41
Figura 15: Perforación del árbol para obtener el núcleo con el taladro Pressler.....	42
Figura 16 : Extracción y Obtención del núcleo.....	42
Figura 17: Acondicionamiento de la muestra.....	42
Figura 18: Muestras etiquetadas.....	42
Figura 19: Secado de muestras.....	43
Figura 20: Núcleos orientados en el bastidor.....	43
Figura 21: Conteo de los anillos de crecimiento y medición de las anchuras.....	44
Figura 22: Identificación de los anillos de primavera y verano en el núcleo.....	43
Figura 23: Irradiación de un anillo.....	44
Figura 24: Regiones de madera temprana y tardía que conforman el anillo.....	44

Figura 25: Comparación de las anchuras de los anillos de crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., <i>Pinus patula</i> Schlecht. & Cham. y <i>Abies religiosa</i> , de los Parques Nacionales DDLL y el CH.....	46
Figura 26: Comparación de los metales pesados en <i>Abies religiosa</i> de los Parques Nacionales DDLL y el CH.....	49
Figura 27: Comparación de los metales pesados en <i>Pinus patula</i> Schlecht. & Cham., <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de los Parques Nacionales DDLL y el CH.....	53
Figura 28: Concentración, Ancho y años de registro en anillo de crecimiento (Ti, Ni, Mn, Cu, Zn, Br, Fe en <i>Abies religiosa</i> del CH).....	55
Figura 29: Concentración, Ancho y años de registro en anillo de crecimiento (Ti, Ni, Mn, Cu, Zn, Br, Fe en <i>Abies religiosa</i> del DDLL).....	57
Figura 30: Concentración, Ancho y años de registro en anillo de crecimiento (Ti, Ni, Mn, Cu, Zn, Br, Fe en <i>Pinus patula</i> del CH).....	59
Figura 31: Concentración, Ancho y años de registro en anillo de crecimiento (Ti, Ni, Mn, Cu, Zn, Br, Fe en <i>Pinus montezumae</i> del DDLL).....	61
Figura 32: Asociación del tiempo, la anchura de los anillos y metales pesados <i>Pinus montezumae</i> Lamb. del Desierto de los Leones.....	64
Figura 33: Asociación del tiempo, la anchura de los anillos y metales pesados en <i>Abies religiosa</i> del Desierto de los Leones.....	64
Figura 34: Asociación del tiempo, la anchura de los anillos y metales pesados en <i>Abies religiosa</i> Del Chico, Hgo.....	65
Figura 35: Asociación del tiempo, la anchura de los anillos y metales pesados <i>Pinus patula</i> Schlecht & Cham. del Chico, Hgo.....	65
Figura 36: Comparación de los metales ligeros registrados en <i>Abies religiosa</i> en los Parques Nacionales Desierto de los Leones (DDLL) y El Chico, Hgo. (CH).....	67
Figura 37: Comparación de los metales ligeros y de transición registrados en <i>Pinus montezumae</i> Lamb. y <i>Pinus patula</i> Schlecht. & Cham. de los Parques Nacionales Desierto de los Leones (DDLL) y El Chico, Hgo. (CH).....	69
Figura 38 Concentración, Ancho y años de registro en anillo de crecimiento (K , Ca, Sr, en <i>Abies religiosa</i> del DDLL).....	70

Figura 39: Asociación del tiempo, anchura de los anillos y metales ligeros en <i>Pinus patula</i> Schlecht & Cham. y <i>Pinus montezumae</i> Lamb. del Desierto de los Leones.....	71
Figura 40: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento (K, Ca, Rb, Sr en <i>Abies religiosa</i> del CH).....	71
Figura 41: Asociación del tiempo, anchura de los anillos y metales ligeros en <i>Abies religiosa</i> del Chico, Hgo.....	72
Figura 42: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento (K, Ca, R, Sr, en <i>P. patula</i> del CH).....	73
Figura 42. E: Concentración, Ancho y años de registro en anillo de crecimiento (V en <i>P. patula</i> del CH).....	73
Figura 43: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento (K, Ca, Sr en <i>P. montezumae</i> del DDLL).....	75
Figura 44: Comparación de la distribución elemental (Ti) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	77
Figura 45: Comparación de la distribución elemental (Mn) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	78
Figura 46: Comparación de la distribución elemental (Fe) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	79
Figura 47: Comparación de la distribución elemental (Ni) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	80
Figura 48: Comparación de la distribución elemental (Cu) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	81
Figura 49: Comparación de la distribución elemental (Zn) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	82
Figura 50: Comparación de la distribución elemental (Pb) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	83
Figura 51: Comparación de la distribución elemental (Br) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	84
Figura 52: Comparación de la distribución elemental (K) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	85
Figura 53: Comparación de la distribución elemental (Rb) en relación con los periodos de crecimiento	

	(Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	86
Figura 54:	Comparación de la distribución elemental (Ca) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	87
Figura 55:	Comparación de la distribución elemental (Sr) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	88
Figura 56:	Comparación de la distribución elemental (V) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).....	89

INDICE DE CUADROS

Cuadro I	Antecedentes dendroquimicos y dendrocronologicos	34
Cuadro II	Clasificación de los elementos.....	48
Cuadro II	Comparación en las concentraciones de elementos permisibles presentes en los árboles	48
Cuadro IV	Tipo de industrias clasificadas en relación al elemento que emiten principalmente.....	97

I. RESUMEN

Se evaluó el depósito de metales pesados, ligeros y de transición en los anillos de crecimiento de pino (*Pinus montezumae* Lamb., *Pinus patula* Schlecht.) y oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K) Cham. & Schlecht.) en los Parques Nacionales Desierto de los Leones (DDLL) y El Chico, Hgo. (CH). Los anillos permiten el monitoreo ambiental por incorporar elementos contaminantes de la atmósfera en los periodos de crecimiento. El oyamel y pino poseen anillos definidos, propiedad que se utiliza para el análisis multielemental, aplicando la técnica PIXE (emisión de partículas inducidas por rayos X). Se colectaron 20 núcleos del tronco del árbol (arribas especies y zonas), extrayéndolos con ayuda de un taladro Pressler (16") según lo propuesto por Cook (1990) y colocándose en popotes, para evitar su contaminación y para su transporte al laboratorio. Se secaron las muestras a 40 °C por 24 hrs, se procedió a su orientación y montaje en bastidores y se rasuraron en su cara transversal para realizar mediciones de anchuras y además determinar en cada anillo la madera de primavera y verano (Watmough, 1998; Yanosky, 2001). Los núcleos seleccionados para su radiación, se llevaron al Departamento de Física Experimental del Instituto de Física de la UNAM. Los espectros obtenidos se analizaron con los programas AXIL y PIXEINT, a fin de obtener las concentraciones de los metales pesados, ligeros y de transición en cada uno de los anillos de crecimiento por un periodo de 30 años.

Los resultados muestran que las anchuras de los anillos entre las zonas de estudio no presentan un comportamiento definido. Al comparar las especies de pino de los bosques DDLL (*Pinus montezumae*) y El Chico (*Pinus patula*), se determinó una mayor anchura en éste último. Para la especie de oyamel (*Abies religiosa*) en el DDLL se determinó una mayor anchura con respecto a El Chico. La década de los ochenta fue donde se reportaron mayores anchuras en pino y para oyamel en los años noventa en ambas zonas. Los metales pesados registrados en el DDLL y El CH con núcleos de *Abies religiosa* fueron Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn y Br, algunos de éstos, no están clasificados por Reimann (1998). En *P. montezumae* y *P. patula*, se registraron Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb y Br. La alta concentración de Ni rebasó el intervalo propuesto por Reimann, mientras que Fe y Cu por el contrario, presentaron niveles por abajo del intervalo. Los metales ligeros y de transición para ambas zonas en los núcleos de *Abies religiosa* son K, Rb, Ca, Sr y para *P. montezumae* y *P. patula* son K, Rb Ca, Sr y V; en esta ultima especie se registró una alta concentración, al igual que para Ca, mientras que K reporta una baja concentración, saliéndose del rango propuesto por Reimann (1998).

II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la Cuenca de México presenta severas alteraciones hidrológicas y ecológicas, prácticamente tres cuartas partes de sus bosques de coníferas y encinos han desaparecido, se han desecado casi en su totalidad sus lagos originales, mientras que dos tercios de sus tierras no urbanizadas presentan un avanzado proceso de erosión (Quadri, 1992). Por otro lado en México desde 1980, se registra el depósito ácido y contaminación atmosférica que a través de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), nos proporciona información continua del fenómeno atmosférico en la ciudad. Sin embargo, queda al margen el efecto de esa contaminación en las poblaciones arbóreas, de ahí la importancia de su uso como biomonitores.

La (RAMA) está integrada por 32 estaciones remotas de monitoreo, 21 de estas se encuentran en el Distrito Federal y 11 en el Estado de México. Los equipos de medición son a través de sensores para gases como ozono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas suspendidas y fracción respirable (PM10), en estos contaminantes se encuentran los metales pesados, ligeros y de transición expelidos por las fuentes fijas y móviles. Eventualmente se ha realizado la medición de hidrocarburos con equipos de prueba. Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) la información que proporciona permite evaluar el estado de la calidad del aire respecto a las partículas en suspensión y los elementos contenidas en estas. Esta red se implementó bajo los criterios internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección al Ambiente de los Estado Unidos (EPA) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Ambiente (PNUMA). Se integra por 13 estaciones que cuantifican las concentraciones de las partículas totales (PST) y partículas suspendidas fracción respirable (PM10).

Esta medición se realiza cada 6 días para evitar el sesgo estadístico de muestrear siempre en un mismo día. Las muestras son colectadas sobre un filtro y la determinación del peso del depósito es por método gravimétrico (pesado). Algunas muestras de estas estaciones son tratadas para la determinación de componentes metálicos, sulfatos y nitratos. Los análisis se realizan en el Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica de la Facultad de Química, de la UNAM.

La contaminación atmosférica ha ido en aumento desde la década de los 80 (Vázquez, 1987); debido a este fenómeno, la Cuenca de México ha sufrido pérdidas en sus bosques y principalmente en sus Parques Nacionales, reportándose mortalidades ascendentes del 40 al 50% y con una pérdida de superficie forestal de 110 mil a 96 mil ha de bosque de *Abies religiosa* (H.B.K) Cham. & Sch., y Pinos (Calva, 1999). La conjunción de la contaminación atmosférica, la mortalidad arbórea, la tala clandestina, los incendios, las plagas, originan el fenómeno del decline forestal, y esto ocurre a escala mundial.

El depósito de los metales pesados Cu, Fe, Si, Sr, Zn, Pb, Al y Cd en los bosques de coníferas, funcionan como biomonitores de la depositación atmosférica (McClenahan, 1989). En contraste, Smith (1980) reportó que el incremento en la concentración de metales pesados en el suelo de los bosques, sería un factor de nutrición para que ellos o bien, alcanzaran concentraciones hasta un nivel tóxico.

Respecto a las metodologías de estudios sobre impacto ambiental de la contaminación en los árboles la dendroquímica es una línea de investigación que combina aspectos dendrocronológicos como es el crecimiento del árbol en relación con el tiempo y a las condiciones climáticas, en combinación con los

analíticos ambientales determinando la concentración de metales por la técnica PIXE. Asimismo, la variación en la anchura de los anillos durante periodos largos de tiempo proporciona información sobre las condiciones de crecimiento de los árboles y por ende del bosque.

La cuantificación de elementos acumulados en madera a través del tiempo puede explicar el efecto del fenómeno de la contaminación atmosférica. Por lo mismo, se aplica el procedimiento PIXE para el registro de diversos metales pesados, metales ligeros y de transición en los anillos de crecimiento de árboles de pino y oyamel, diferenciando entre el crecimiento de primavera y verano.

También es posible establecer la diferencia en la concentración de metales pesados acumulados en los anillos correspondientes a verano y primavera, como un indicador de la actividad metabólica del árbol, bajo ciertas condiciones climáticas que podría responder a diferentes argumentos sobre la movilidad de los mismos, con relación al modelo de traslocación vertical de los elementos. De ahí la importancia en la aplicación de la técnica PIXE para realizar el análisis químico de los anillos de crecimiento de los árboles. Desde la década de los años 70, se ha venido aplicando en México y ha demostrado ser una técnica muy precisa, exacta y versátil. Las razones son que permite caracterizar químicamente varios elementos de manera simultánea y puede inferir el crecimiento de verano y primavera de los anillos.

Finalmente, el conocimiento que se obtendrá será para el entendimiento del modelo de traslocación de elementos, que sin duda servirá para inferir a este como posible causa del decline forestal.

III. PROBLEMÁTICA

El territorio donde se localiza la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) está rodeado de montañas y causan una barrera natural que dificulta la circulación del viento y dispersión de los contaminantes; tiene una latitud subtropical, donde se presentan frecuentes fenómenos de inversión térmica y de sistemas de alta presión que tienden a atrapar los contaminantes en el Valle. Ahí coexisten más de 18 millones de habitantes, más de 4 millones de vehículos y alrededor de 35,000 industrias, estas actividades consumen un volumen superior a los 44 millones de litros de combustible al día (PMCAZMVM, 2002).

Se estima que con las consecuentes emisiones de gases y partículas, la concentración de partículas suspendidas totales (PST), es importante en la historia del deterioro del aire en la ciudad y data de los últimos 40 años (Figura 1), y también es resultado del desarrollo y agudización de múltiples desequilibrios de carácter económico, urbano, energético, social y ecológica (Quadri, 1992). Estas emisiones exceden el límite anual establecido por la norma de calidad del aire para la protección a la salud ($75\mu\text{g}/\text{m}^3$, media aritmética anual) en toda la ZMVM. Aunque en la mayoría de las estaciones no hay una tendencia definida, en la primera mitad de la década, después de 1995 hubo un aumento generalizado en la misma, excepto para el año 2000, cuando los niveles disminuyeron ligeramente (PMCAZMVM, 2002).

De acuerdo con la (Figura 1), los niveles de PST más altos se presentan en las zonas noreste y sureste de la ZMVM, representadas por la estaciones Xalostoc y Cerro de la Estrella. En éstas, es frecuente que los muestreos de 24 horas rebasen la norma de $260\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso de Xalostoc,

en algunos años de la década pasada fue común que se registraran concentraciones superiores a $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ en muestreos de 24 horas (PMCAZMVM, 2002).

Dentro del Valle de México las emisiones totales por sector en forma puntual fue de 2.5 millones de toneladas hasta año de 1998, de las cuales el 84% fueron generadas por las fuentes móviles, el 12 % por las fuentes fijas de área, 3% por las fuentes puntuales y 1% por la vegetación y los suelos (Op. Cit.).

La forma de incorporación de gases y partículas por parte de los árboles, es por vía radicular y estomatal. La vía radicular permite la incorporación de metales pesados, ligeros y de transición en el árbol.

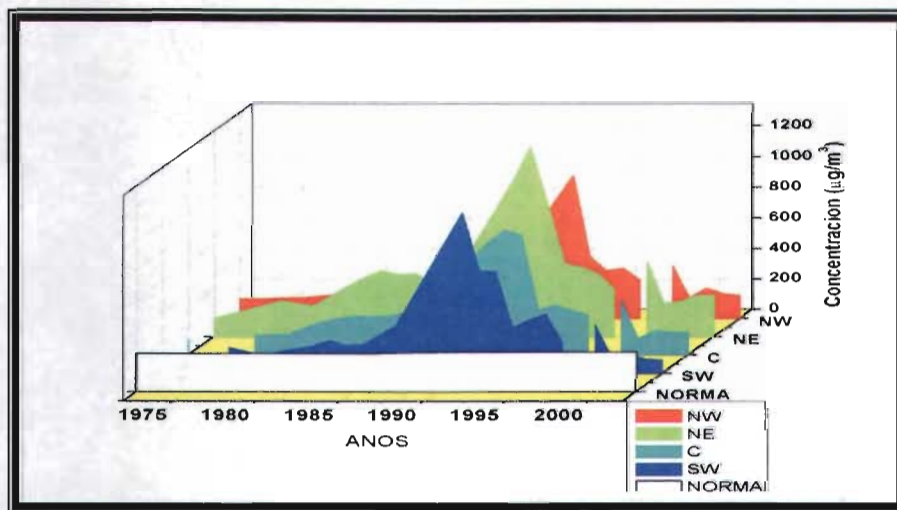


Figura 1: Registro histórico de las partículas suspendidas totales (PST) por cada una de las zonas del Distrito Federal (<http://www.gob.d.f.>)

Respecto a las áreas verdes de la ZMVM, el Parque Nacional Desierto de los Leones es una de las zonas más afectadas por la contaminación atmosférica ya que se encuentra localizado a 40 km de la Ciudad de México y recibe un alto porcentaje de contaminantes a través de fuentes fijas y móviles. Mientras que el Parque Nacional El Chico Hidalgo se tomará como patrón de referencia.

El uso de los anillos de crecimiento para el monitoreo ambiental (Fritts, 1976) es posible porque los árboles en las regiones templadas producen anillos anuales de crecimiento, caracterizados por un período de crecimiento rápido (primavera) el cual produce madera temprana y ligeramente coloreada (albura). El otro período es de lento crecimiento (verano), resultando más oscura y a ésta se le denomina madera tardía (duramen). El dendroanálisis como modelo teórico determinará las concentraciones elementales en los bosques que rodean el Distrito Federal. Por ello es importante evaluar el depósito de metales pesados, metales ligeros y de transición en los bosques de pino (*P. montezumae* y *P. patula*) y oyamel (*Abies religiosa*) de los Parques Nacionales Desierto de los Leones y El Chico, Hgo.

Con el análisis multielemental por la técnica PIXE, se obtiene la información necesaria para la reconstrucción de los cambios históricos en lo referente a la contaminación atmosférica, y es posible hacer la modelación de los diferentes mecanismos de acción para cada tipo de contaminante como es el caso de los metales pesados, ligeros y de transición (Fritts, 1990). La dendroquímica, como herramienta, nos permitirá analizar elementos inorgánicos en anillos de crecimiento en los árboles e interpretar los cambios químicos en el medio ambiente a través del tiempo.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Registrar los metales pesados, ligeros y de transición en anillos de crecimiento en los árboles de los Parques Nacionales: Desierto de los Leones (D.F) y El Chico (Hidalgo).

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Cuantificar los metales pesados, ligeros y de transición en anillos de *P. montezumae*, *P. patula* y *Abies religiosa* en dos Parques Nacionales por un periodo de 30 años, en relación con la anchura de sus anillos de crecimiento.
- Cuantificar los metales pesados, ligeros y de transición en los anillos de primavera y verano en *P. montezumae*, *P. patula* y *Abies religiosa*, durante un periodo mínimo de 10 años, inmediatamente anterior al presente.
- Comparar las asociaciones entre años, anchura y concentraciones de los metales pesados, ligeros y de transición en los anillos de *P. montezumae*, *P. patula* y *Abies religiosa* de los dos Parques Nacionales.
- Comparar estadísticamente las concentraciones de los metales pesados, ligeros y de transición en la madera de verano y primavera por un periodo de 25 años en *P. montezumae*, *P. patula* y *Abies religiosa*.

V. HIPÓTESIS

- Si el depósito de metales pesados, ligeros y de transición en los Parques Nacionales Desierto de los Leones y El Chico Hidalgo es por la contaminación atmosférica, entonces los registros de dichos elementos en los anillos, serán similares en cada una de las especies y para ambas zonas.

- Si el depósito atmosférico conlleva metales pesados, ligeros y de transición, entonces la concentración registrada en la madera formada de primavera y del verano durante un periodo de 25 años será homogénea.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1 La importancia de los Metales Pesados

La incorporación de los metales pesados en los ecosistemas terrestres tienen dos vías: la precipitación, previa condensación en las nubes (Figura 2), y la otra es por medio de las partículas metálicas que forman núcleos de condensación, interaccionando con otras moléculas y precipitándose por efecto de gravedad al suelo y la del material parental.

Son metales pesados los elementos de peso atómico mayor que el sodio y con una densidad igual o superior 6.0 g/cm^3 en forma elemental, por lo que se incluyen en este concepto cerca de 70 elementos, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos, de los cuales pocos son de interés desde el punto de vista ambiental. Como contaminantes atmosféricos, su importancia radica en la concentración y estado de oxidación que presentan al encontrarse como contaminantes en el ambiente (Méndez *et al.*, 2001).

6.1.1. Origen

Los diez elementos principales que constituyen el 99% de contenido en la corteza terrestre son O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti y P. El resto de la tabla periódica son llamados elementos traza o metales pesados y sus concentraciones individuales normalmente no exceden 1000 mg/kg (0.1%), un dato importante es la concentración promedio menor a 100 mg/kg , que suelen alcanzar. Sin embargo, otros minerales contienen altas concentraciones de uno o más metales pesados (Alloway, 1990).

Los metales pesados constituyen un indicio de los minerales primarios en rocas ígneas (como cristalizados por la fusión del magma). Ellos se incorporan dentro de estos minerales por isomorfismo

sustituyéndose el cristal por iones, del elemento mayor en el tiempo de cristalización. Esta sustitución está regida por la carga iónica, radio iónico y electronegatividad del elemento mayor y del metal pesado que es reemplazado. La sustitución puede ocurrir cuando el radio es un constituyente mayor que el ión y cuando los metales pesados, tiene cerca del 15%, otro cuando los cambios difieren por más de una unidad. Las rocas sedimentarias aproximadamente comprenden el 75% de las rocas fuera de la superficie de la tierra y son por lo tanto, más importantes que las rocas ígneas en el material parental del suelo. Se forman por litificación de sedimentos comprimidos en fragmentos y son resistentes a los minerales primarios y secundarios tales como arcilla.

Las concentraciones de metales pesados en rocas sedimentarias dependen de la mineralogía y la propiedad de absorberse del material sedimentario, la matriz y la concentración de metales en el agua y con los sedimentos que son depositados. En general la arcilla y las sales guardadas están relativamente en concentraciones altas de muchos elementos debido a que su habilidad hacia ellos para absorber iones metálicos es fuerte.

Las sales en altas concentraciones de varios metales y metaloides, incluyen a Ag, As, Cd, Cu, Pb, Mo, U, V, y Zn. Los sedimentos cuando son formados contienen apreciables cantidades de materia orgánica. La última catálisis se desarrollo de condiciones de reducción cuando dirigimos la adición de metales pesados acumulándose a través de la precipitación de metales sulfuro. Condiciones similares ocurren en cierta extensión de una escena temprana de formación de carbón, cuando acontecen concentraciones significativas de varios metales en carbón.

De acuerdo a Goldschmidt's (Krauskopf, 1967) la clasificación geoquímica de los elementos es la siguiente:

- Se basan en la afinidad de elementos de hierro (elementos siderófilos); los elementos tienen una afinidad mayor al azufre y normalmente ocurren en depósitos de sulfuro son los elementos calcófilos y los que en general, ocurren con silicatos son elementos litófilos. Quedándose elementos en el aire, en forma de gases y se clasifican en elementos atmófilos. Esta clasificación no es muy usada hoy en día, excepto por el grupo calcofilo que incluyen importantes metales establecidos en algunos depósitos.

Por su parte, Méndez *et al.* (2001) reportan que la presencia de los metales pesados en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01% y que existen dos grupos según su función en las actividades biológicas:

- Los micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades por las plantas y animales; son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Sin embargo pasado cierta concentración se pueden volver tóxicos y en este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Se, y Zn (Méndez *et al.*, 2001).
- El otro grupo no tiene función biológica conocida y cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos lleva en consecuencia, disfunciones en los organismos, resultando altamente tóxicos cuando se encuentran en niveles altos además pueden acumularse en los organismos vivos, entre los cuales se encuentran: Cd, Mg, Pb, Ni, Zn, Sb y Bi (Op. Cit.).

El Zn en coníferas, determina que la tasa de absorción cambia con el tiempo o que es traslocado de los anillos más jóvenes a los más viejos. Mientras que los niveles de detección en mg/kg de Cd y Pb en madera, es raro, y su presencia comúnmente es un indicador de contaminación antropogénica (Baes y Ragsdale, 1981).

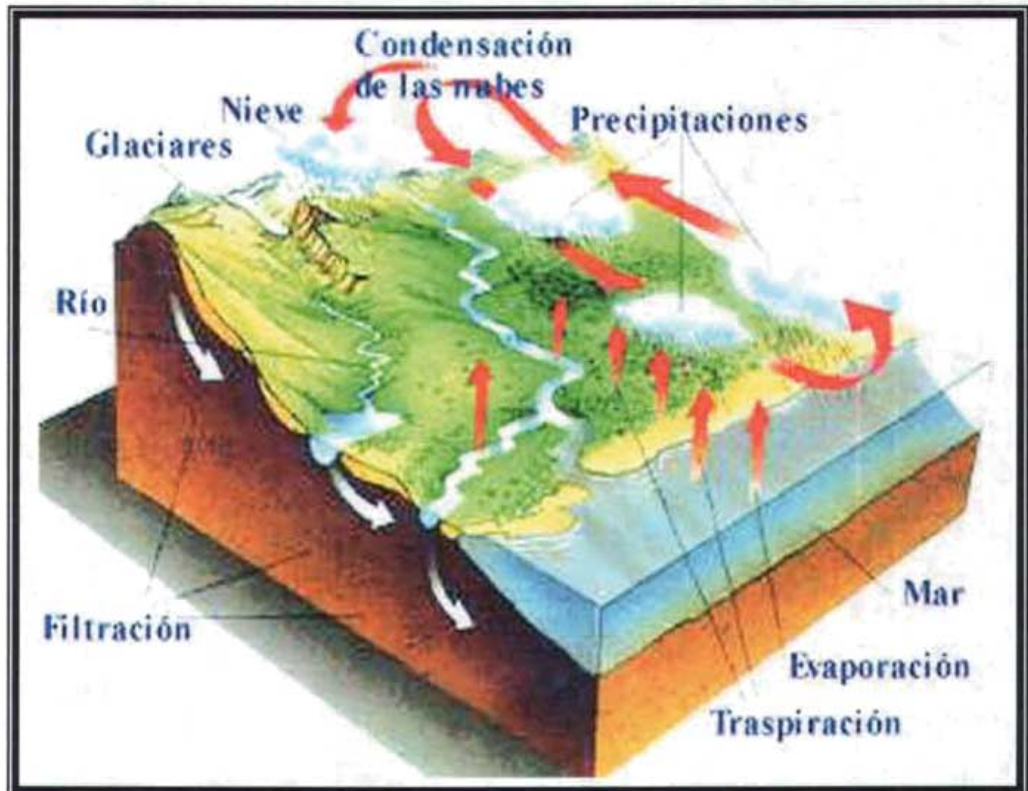


Figura 2: Incorporación de los metales pesados al suelo por diferentes vías.
 (www.aguadehermosillo.gob.mx/_maim_cultura_aguaclima.htm.)

Estos elementos incorporados al suelo (Figura 2) pueden seguir cuatro diferentes rutas: A) quedar retenidos en el mismo, ya sea disueltos en la solución o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación, B) ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas C) pasar a la atmósfera por volatilización, D) moverse a las aguas superficiales o subterráneas (Arcos, 2001).

6.1.2. Traslocación

Una vez que los iones son absorbidos por la raíz se transportan a los vasos del xilema, ahí tienen la posibilidad de moverse por toda la planta. La velocidad y la extensión del movimiento en las plantas dependen del metal, el organismo (árbol) y la edad del mismo. Chaney y Giordano (1997) clasifican a Mn, Zn, Cd, B, Mo y Se como elementos que tienen alta facilidad para traslocarse

en las plantas. Ni, Co y Cu es intermedio y Cr, Pb y Hg se traslocan en menor extensión. La savia fluye por el floema, el xilema transporta los metabolitos, agua y minerales como Mn y se puede presentar como un ión libre.

Las formas químicas en que están disponibles los metales pesados para las plantas y los factores que afectan la cantidad de ellos en las mismas pueden controlarse por los siguientes mecanismos:

- Las concentraciones y la especiación de los metales en la solución del suelo.
- El movimiento de los mismos en el suelo llegando hasta la superficie de la raíz.
- El transporte de los metales desde la superficie de la raíz hasta la parte interior de la misma.
- La traslocación de la raíz a la herida, cuando existe daño.

En las plantas el ingreso de los metales pesados se da por la movilidad de los iones, que se presenta en la solución del suelo y en gran parte, se determina esa movilidad, por la cantidad total de los iones registrada en el suelo. La adsorción de los iones, es más dependiente de la cantidad retenida en la raíz de los árboles.

Los mecanismos de absorción pueden variar para los diferentes iones metálicos; pero estos son absorbidos por la raíz, por absorción activa o pasiva. La absorción de Zn es inhibida por Cu e H, pero no por Fe y Mn; la absorción de Cu es inhibida por Zn, NH₄, Ca y K. En adición de la absorción de la raíz, las plantas pueden también derivarse significativamente de la cantidad de algunos elementos por absorción foliar. Esto es considerado en la agricultura como suministro para las plantas de micronutrientes, tal es el caso del Mn y Cu pero también puede ser una ruta significativa para la entrada de contaminantes atmosféricos, tal como Cd. La absorción foliar de solutos depende de la especie de la planta, su estado nutricional, el grosor de su cutícula,

la edad de las hojas, la presencia de estomas en las células guarda, la humedad y la superficie de las hojas y la naturaleza de los solutos.

Los metales antagónicos como Cu y Zn son traslocados por absorción foliar y de ahí pasan a la raíz, con el acompañamiento de los iones que tienen un efecto en la planta. El depósito de aerosoles y las partículas de Pb no penetran por la cutícula superior de las plantas, pero se pueden dirigir y adherirse a la superficie de las hojas; Ellos pueden de cualquier modo ser absorbidos por la cutícula de algunas briofitas.

6.1.3. Depósito

La atmósfera es un medio de transporte importante de metales pesados, ligeros y de transición. El suelo se contamina a cientos de kilómetros lejos de los sitios de emisión. Los metales usualmente se presentan en el aire como partículas de aerosoles con un tamaño del rango de 5nm-20 μ m, pero más son entre 0.1 y 10 μ m en diámetro y están en un promedio residente de tiempo de 10-30 días. La alta proporción de los metales es más reciente en los depósitos de polvo y son de origen antropogénico. El mayor depósito atmosférico registrado de origen natural proviene de los volcanes y se presenta en el ambiente. Metales en aerosoles pueden ser inhalados por la gente y animales, pero ellos en gran parte son causantes del impacto ambiental, a lo largo del tiempo que es a través del depósito, bajo gravedad o lavado hacia fuera de la vegetación, suelos, ríos, lagos y el mar.

6.1.4. Efectos

Las concentraciones excesivas de los metales pesados esenciales y no esenciales son resultado de la fototoxicidad. Kabata – Pendias y Pendias (1984), muestran la siguiente lista de los posibles mecanismos que los causan:

- a) Cambios en la permeabilidad de la membrana celular (Ag, Au, Br, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb).
- b) Reacciones sulfidrilo (-SH) grupos con cationes (Ag, Hg, Pb).
- c) Competición de sitios con metabolitos esenciales (As, Sb, Se, Te, W, F).
- d) Afinidad de reacción con grupos fosfato y actividad de grupos de ADP o ATP (Al, Be, Y, Zr, lantánidos y posiblemente metales pesados).
- e) Reemplazo de iones esenciales cationes principales mayores (Cs, Li, Rb, Se, Sr).
- f) Ocupación de sitios de grupos esenciales tal como fosfato y nitrato (arsenato, fluorato, borato, bromato, selenato, telurio y tungstato).

Aunque la relativa toxicidad de los diferentes metales en las plantas puede variar con su genotipo y las condiciones experimentales. Cuando se presentan en cantidades excesivas, los más tóxicos son Hg, Cu, Ni, Pb, Co, Cd y posiblemente también Ag, Be y Sn.

Mecanismos que presentan las plantas tolerantes al:

1. Salida selectiva de iones
2. Decremento en la permeabilidad de membranas u otras diferencias en la estructura y función de las membranas.
3. Inmovilización de iones en la raíz, follaje y semillas.
4. Eliminación de iones del metabolismo por depósito (almacenamiento) fijo o en forma insoluble.
5. Alteración en el modelo metabólico, incremento en el sistema enzimático que es inhibidor al incremento metabólico antagónico o reducción metabólica vía por la que pasa o se inhibe en el sitio.
6. Adaptación de los metales tóxicos reemplazando a un metal fisiológico en una enzima.
7. Liberación de iones en las plantas por lixiviación desde el follaje, en la hoja y excreción de las raíces.

La tolerancia es usualmente específica por un metal particular, aunque un solo individuo (planta) puede poseer mecanismos capaces de tolerar excesos de más de un elemento. Muchas familias poseen especies de plantas que muestran una tolerancia a los metales pesados. Por ejemplo, se ha detectado en árboles, bacterias, algas, hongos, líquenes, plantas herbáceas, tolerantes a los excesos de Cu (Alloway, 1990).

6.2. Descripción de la madera

La madera es el conjunto de elementos conductores endurecidos de los árboles; es una sustancia orgánica, compuesta principalmente de celulosa empaquetada en lignina y en una serie de compuestos llamados hemicelulosa, y su función biológica es la de sostén y transporte de agua y de sales minerales, desde la raíz hasta las hojas. Existen dos grupos uno de ellos corresponde a las coníferas, que pertenecen a las gimnospermas (llamados árboles de madera blanda), y las latifoliadas o angiospermas, conocidas también como árboles de madera dura. Las coníferas se desarrollan en climas templados y las latifoliadas en climas tropicales (Uribe, 1988).

En los anillos de crecimiento de los árboles las células del xilema son producidas en primavera, están compuestas por elementos celulares más grandes, con paredes delgadas, de lumen amplio y crecimiento más firme y sin pigmentación (leño temprano). Las formadas más tarde (leño tardío) son pequeñas con células de paredes mucho más gruesas y de lumen menor y con pigmentación (lignificación); la madera que se forma cada año adopta la forma de anillo anual o de crecimiento (Figura 3). Estos anillos, en los árboles, se efectúan en forma de conos alargados y superpuestos, los cuales en un corte transversal, se ven como anillos concéntricos de crecimiento (Op. Cit.).

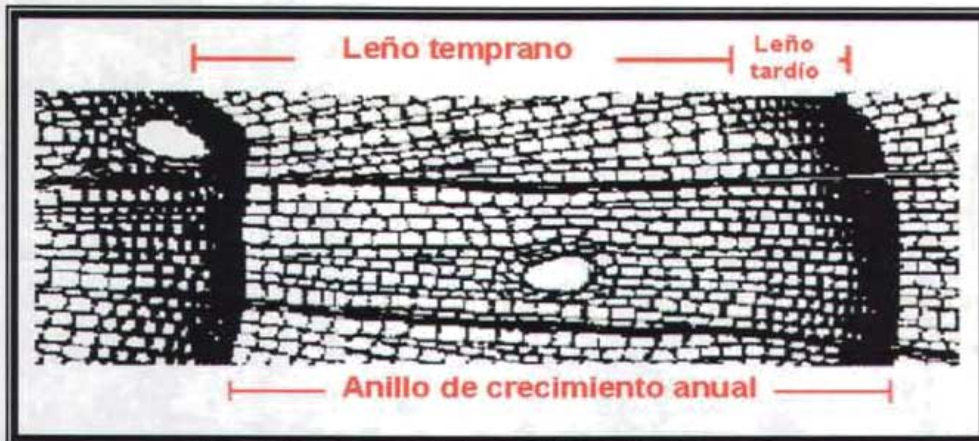


Figura 3: Representación de un anillo de crecimiento anual
<http://www.ltrr.arizona.edu/dendrochronology.html>

6.2.1 Anatomía

El crecimiento normal de cualquier vegetal es progresivo e irreversible y es promovido por tejidos no diferenciados, llamado meristemo este tejido puede ser de dos tipos: los primarios, que dan el crecimiento en longitud (yema apical y yemas laterales) y los secundarios, que dan el crecimiento en grosor (cambium y felógeno). A partir de estos tejidos indiferenciados, se forman todos los demás tejidos de la planta, y por lo tanto, todos los elementos que van a formar la madera. Así, la madera proviene de los troncos de los vegetales provistos de crecimiento secundario, que se produce por divisiones del cambium (Uribe, 1988).

La anchura de cada anillo se ve afectada por el clima, la humedad, estrés y la contaminación; por ello, la dendrocronología ha podido basarse en el estudio de estos anillos para estimar las condiciones climáticas y las variaciones del medio ambiente en épocas pasadas. Los anillos anuales más antiguos, son de color más oscuro, casi nunca son funcionales y reciben en conjunto el nombre de duramen; los más jóvenes, de tonalidad más clara, transportan savia y constituyen la albura (Figura 4).

Robles (2003) mencionó que la madera se compone principalmente de: Corteza (capa protectora generada en forma continua por cambium especializado), corteza interna o liber (capa esponjosa por la cual la savia desciende fácilmente). Cambium (capa separada de la corteza y de la madera es invisible, toda la fuerza del árbol para vivir y crecer permanece ahí, produce el Xilema y el Floema), albura (parte

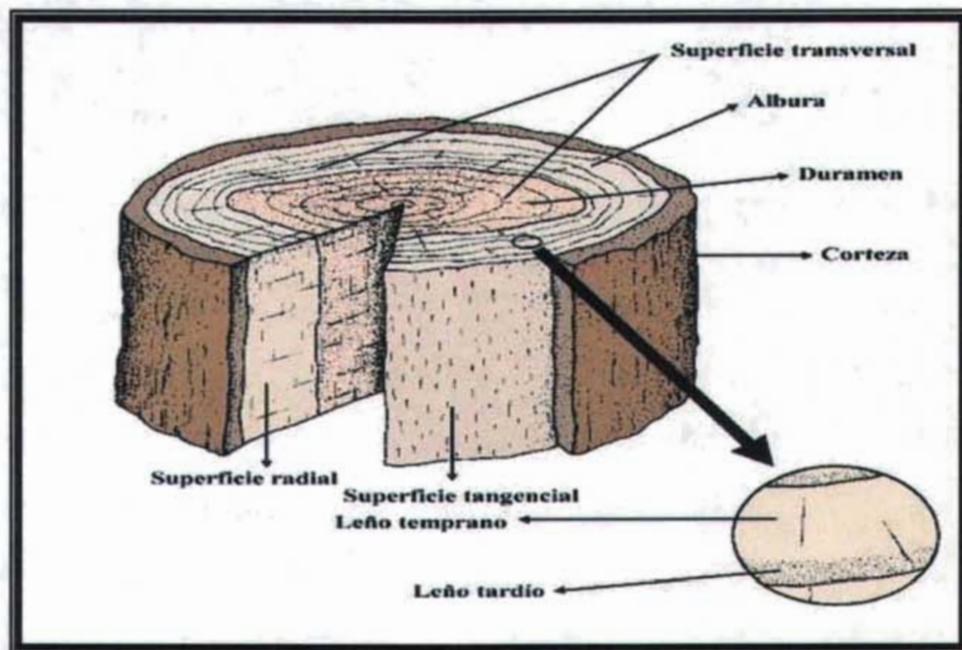


Figura 4: Regiones de la madera del tronco de árbol
(www.southwestwoods.com._index1.htm)

exterior del xilema que conserva la parte funcional de la madera, circula la savia por ella en forma ascendente, almacena nutrientes y los transporta de una parte del árbol a otra, la mayor parte de la savia circula por el anillo leñoso del año en curso), duramen (parte central o interior del xilema que va perdiendo su función de conducir el agua, parte muerta del árbol, la madera es oscura debido a los depósitos de sustancias químicas de muy diversa índole que obstruye el paso por el lumen de las células, proporciona rigidez y robustez al mismo). Cabe destacar que la madera también presenta células que crecen radialmente y en conjunto se les conoce como radios o rayos de madera (Figura 4).

6.2.2. Fisiología

El cambium forma una capa continua entre xilema y floema del tallo o tronco, mientras que el xilema es el tejido de las plantas vasculares que se encarga del soporte mecánico, la conducción ascendente de agua y sales minerales y el almacenamiento de sustancias nutritivas, (parte interna del tronco). El floema es el tejido de las plantas vasculares que se encarga de la conducción descendente de la savia elaborada, y la distribución de sustancias nutritivas. Su grosor se mantiene más o menos a lo largo de la vida del árbol, cuando una célula del cambium se divide, una de las células hijas permanece como célula del mismo y la otra se desarrolla como célula del xilema si queda en la parte interna de aquél, o como célula del floema si queda en la parte externa (Uribe, 1988).

En el pino el xilema está constituido por traqueídas, la madera es xilema secundario, la acumulación anual de xilema forma anillos distintos en la madera por la diferencia en el tamaño de las unidades del mismo. El período de crecimiento vigoroso comienza en primavera, ya que el cambium vascular forma grandes células de xilema y de paredes relativamente delgadas. Al avanzar la estación, el cambium vascular produce células progresivamente pequeñas, con paredes más gruesas hasta el momento en que el crecimiento cesa en otoño. El crecimiento del árbol es hacia afuera desde el centro del eje. Los anillos de xilema más viejos de un árbol funcionan como tejidos conductores de agua durante muchos años, pero las cavidades en sus vasos y traqueídas, se van reduciendo cada vez más debido al depósito de los minerales del agua al ir atravesando el xilema. Finalmente las unidades de éste quedan obstruidas para siempre y no son funcionales, el xilema obstruido se pone de color oscuro y contrasta vivamente con los anillos anuales más claros, jóvenes y aun funcionales.

6.2.3. Xilema y floema

La diferencia entre el duramen y la albura se establece sobre la base, si contiene xilema funcional o no. Las únicas unidades vivas del xilema secundario son las células del parénquima, aunque viven muchos años, mueren antes de que la albura sea funcional.

El duramen se conserva relativamente seco y sólido por muchos años, y estas cualidades junto con su color oscuro dan una madera excelente. El agua se transporta por la albura intacta (árbol hueco), el floema de la corteza interna transporta alimento para vivir y crecer. El xilema se compone de vasos, traqueídas, parénquima y esclerenquima. El xilema secundario se encuentra formando radios de células alargadas, estos radios de xilema o radios medulares varían de una a varias células de ancho y funcionan como unidades de almacenamiento de alimento y vías para la conducción lateral o radial del alimento y el agua.

Los radios leñosos se forman en el xilema secundario por la acción de un cambium. Los radios medulares se forman por meristemo apical, el floema secundario produce células parenquimatosas, la sección radial muestra la estructura radial de los radios leñosos. La sección tangencial y transversal muestra la estructura concéntrica de los radios leñosos, la sección tangencial muestra la estructura concéntrica de los anillos anuales, la sección radial muestra los anillos anuales como líneas paralelas.

Características distintivas del plano transversal de la madera de coníferas o blandas se presenta mediante un conjunto de células llamadas traqueídas (Figura 5), en forma de panal. En algunas especies de coníferas, se encuentran, de trecho en trecho, los llamados canales resiníferos, que están bordeados por células epiteliales secretoras de resina (Uribe, 1988). En el género *Pinus* puede considerarse que tiene unos conductos menos controlados por factores externos, en este los

conductos verticales no aparecen inmediatamente después del comienzo de la actividad cambial primavera, sino en la estación cercana a la formación del leño tardío.

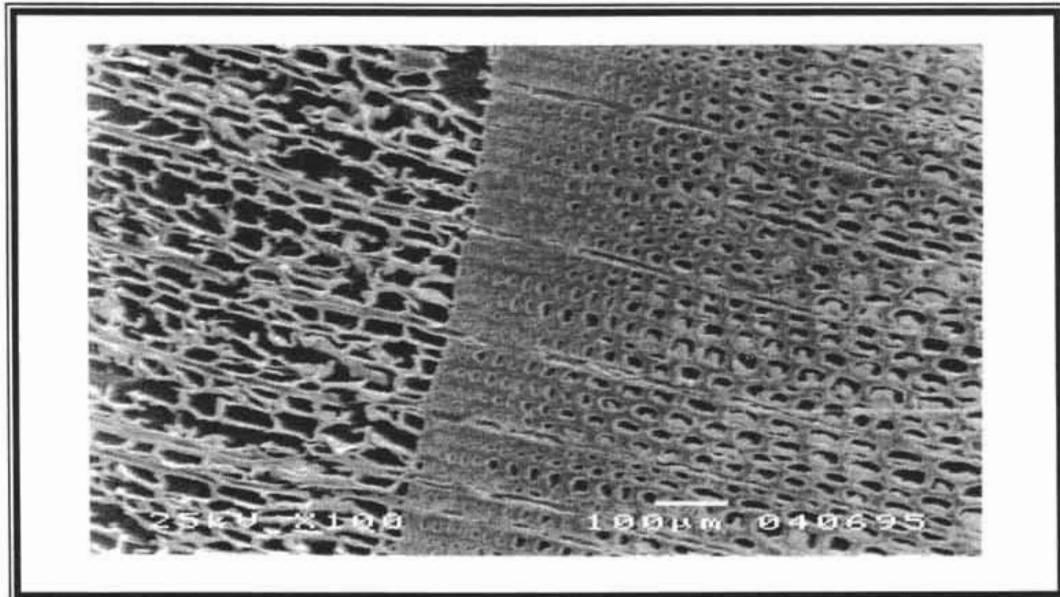


Figura 5: Madera dura donde se observan las regiones del leño temprano y tardío (J. Cañetas Karim López, J. G. Morales Morales (2004) Laboratorio de Microscopia del Instituto de Física UNAM)

Las auxinas inducen la formación de conductos resiníferos verticales, así como un mayor crecimiento radial del leño. En el xilema secundario de los pinos se encuentran conductos verticales y horizontales. Los conductos verticales de cada anillo de crecimiento aparecen normalmente en la zona más externa del leño temprano y en la parte del leño tardío que se forma antes. En el género *Abies* los conductos resiníferos son comunes en este tipo de coníferas, ya que se forman sólo a consecuencia de daños (Stevenson, 1986).

6. 3. Biología de las especies arbóreas

6.3.1 *Pinus montezumae* Lamb. (Pino ocote, Pino montezuma)

Árbol grande de 20 a 35 m de alto y de 50-80 cm de diámetro; ocasionalmente puede llegar a alcanzar una altura de 40 m y 1 m de diámetro. Las ramas son largas, principalmente horizontales, de

forma gruesa, copa redonda, los más jóvenes tienen una densa pirámide en la copa. Su corteza es gruesa, áspera, agrietada y dura hacia el exterior, color grisáceo oscuro y moreno rojizo, dividida por profundidades verticales y fisuras horizontales en el interior es áspero; láminas escamosas, en árboles jóvenes la corteza es café rojiza áspera y escamosa. La albura es de color amarillo y el duramen ligeramente café, dura, pesada y resinosa (Perry, 1991). Las ramillas son morenas y muy ásperas, con la base de las brácteas persistentes, abultadas y muy aproximadas, que comúnmente se descaman.

Hojas en grupos de 5 y ocasionalmente de 4, anchamente triangulares, de color verde oscuro, de 14-21cm de largo, son medianamente gruesas y fuertes, extendidas, colgantes, flexibles, y con los bordes aserrados. Vainas de 10-20 mm a veces más, anilladas, de color castaño al principio y muy oscuras después. Yemas largamente ovoides, morenas y vellosas. Conillos oblongos de color purpúreo o moreno azulado, con escamas anchas, armadas de punta extendida. Conos largamente ovoides cónicos u oblongos cónicos; levemente asimétricos y algo encorvados de 8.5-15 cm, caedizos, de color moreno, opacos o levemente lustroso; colocados por pares o en grupos de tres; extendidos o ligeramente colgantes, casi sesiles o sobre pedúnculos de 10-15 mm, por lo general el pedúnculo en la ramilla (Casas, 1994).

P. montezumae se establece en las montañas de la gran cordillera alineada de México; sin embargo, se extiende al norte y a lo largo de la Sierra Madre Oriental y hacia el sur de Guatemala. En México se reporta en Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Morelos, Distrito Federal, Michoacán, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Perry, 1991). *P. montezumae* crece en amplios rangos de temperatura (cálida y fría) y altitudes de 2000 y es muy raro a 3200 msnm, sólo o junto con especies de *Pinus* y *Alnus*. Los rangos de lluvia también varían de 800 a 1000 mm o más

anualmente. En altitudes elevadas nieva, cellisca y escarcha; esto ocurre durante invierno, el tiempo más lluvioso ocurre durante junio-septiembre (Perry, 1991).

6.3.2 *Pinus patula* Schlecht. & Cham. (Pino, Pino triste, Ocote)

El árbol es muy fino que llega a alcanzar alturas de 30-35m y diámetros de 50 a 90cm. En ocasiones pueden alcanzar alturas de 40 m y 1 m de diámetro, pero esto es muy rara vez. El tronco es usualmente recto y limpio de ramas cerca de 20 m. Las ramas son horizontales y algo inclinadas, forman abertura y sus copas son redondas, hojas en fascículos de tres como número constante, con la vaina persistente, miden de 15 a 30 cm de largo, delgados, colgantes como flecos. Conos largos, cónicos, duros, de 3-6 escamas pétreas, con el ápice redondeado de color café amarillento, hasta rojizo. Semillas triangulares que miden de 12-14 mm de longitud. La corteza es gruesa y profunda con fisuras verticales en la parte inferior del tronco. De cualquier modo la altura de 3-4m de la corteza llega a ser delgada, escamosa y rojizo hacia rojo amarillento. En árboles jóvenes la corteza es delgada, escamosa y rojo amarillento. La madera del duramen es amarilla clara, blanda, ligera, no es resinosa, y es considerado un árbol maderable (Perry, 1991).

P. patula crece en aislamiento manteniéndose erguidos y relativamente en bandas angostas o estrechas a lo largo del este de México y la Sierra Madre Oriental cerca de la latitud 24°N (a pocos kilómetros del noroeste de Ciudad Victoria Tamaulipas) Oaxaca (Sierra de Papalos cerca de la latitud 17°N). Las especies han sido reportadas en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Distrito Federal y Tlaxcala. Algunos autores han descrito que este rango se ha extendido hasta el estado de Chiapas (Perry, 1991). Estas especies crecen a altitudes de 1500-3100 m y tienen un mejor crecimiento con humedad, en sitios con abundantes lluvias existe una

fuente de drenado y tiene precipitaciones de 1000 a 1500 mm anuales. Este rango principal es a lo largo del sudeste de la Sierra Madre Oriental, reciben humedad durante el año entero en forma de neblina pesada, nubes, neblina y lluvia. En sitios secos *P. teocote*, *P. leiophylla* y por encima *P. patula* resisten escarchas pesadas y sequías, pero crecen mejor en el periodo cálido bajo, más que en condiciones húmedas. En el rango donde hay más población y el crecimiento es mayor es a 3000m, esta es una interesante disyuntiva de la población y el crecimiento en los árboles en el Parque Nacional Desierto de los Leones, en las afueras de la Ciudad de México a 3000-3100 m de altitud. Se asocian con *Abies religiosa*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite* y *Quercus* spp. (Perry, 1991).

6.3.3 *Abies religiosa* (HBK.) Schltl. Et. Cham.

Árbol robusto de 20 a 30 m de altura, el tronco hasta de 1 m de diámetro con corteza lisa en los árboles jóvenes y gruesa, escamosa y de color grisáceo en los adultos. Ramas extendidas o ligeramente ascendentes y verticiladas, que se acortan gradualmente hasta formar una copa cónica. La corteza externa de color café-rojizo, grisácea, con pequeñas placas irregulares, de 1-5 mm de grosor; corteza interna de color rojizo y de 6-7 mm de grosor, (Benítez 1986, Sánchez 1979 en Romero 1996). Las ramillas son colgantes comúnmente opuestas en cruz, del color que varía del castaño oscuro al moreno violáceo, sobretodo cuando jóvenes. Hojas alternas dispuestas en espiral, lineares, derechas, torcidas en la base, de 20 a 30 mm de largo por 1.5 mm de ancho; ápice agudo y corneo, de color verde oscuro en el haz y glaucas en el envés. Planta monoica, con inflorescencias masculinas en las ramillas laterales, oblongas y romas, de 12 a 14 mm de largo por 5 mm de ancho, de color violáceo, al principio protegidas por mucha resina. Las inflorescencias femeninas se desarrollan hacia la cima del árbol, en forma de conillos subcilíndricos de 7 cm de largo con las brácteas rojizas de margen rasgado, blanco y traslucido, y llevan en el centro una banda longitudinal. Las flores masculinas en grupos abundantes de

color púrpura o amarillento; Conos solitarios, erguido, cilíndrico-oblongos, romos, rara vez oblongos, resinosos, casi sesíles o con pedúnculos de 5 a 9 mm; color violáceo a moreno violáceo con la edad, miden de 10 a 16 cm de largo y de 4 a 6 cm. de ancho. Los conos femeninos de color oscuro, muy resinosos, caedizos que miden de 10 a 16 cm de largo. La edad a la que florecen y fructifican oscila entre los 23 y 27 años (Espinoza, 1996).

Se distribuye en la Cordillera de México y en los estados de Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán e Hidalgo. Se encuentra formando bosques entre los 1600 y 3600 msnm, solo o junto con especies de *Pinus* y *Alnus*. Habita zonas de alta humedad principalmente sobre cañadas o exposiciones húmedas y regularmente en suelos profundos.

6.4 Técnica PIXE y RBS

6.4.1. Historia

El desarrollo de los aceleradores de partículas, se debe al descubrimiento de la radiactividad por J. Becquerel, Pierre y Marie Curie a finales del siglo pasado (Becquerel, 1896; Curie, 1898 en Santamaria, 1997). Este descubrimiento científico es uno de los más importantes, porque contribuyó al conocimiento moderno del átomo y al desarrollo de los aceleradores los cuales han sido los instrumentos básicos para el estudio del núcleo atómico. Las técnicas analíticas de origen nuclear son métodos que nos permiten obtener información de la composición y concentración elemental de materiales de diferente naturaleza en general. La técnica consiste en someter un material a irradiación usando una fuente radiactiva (protones o electrones), la fuente productora de radiación son los aceleradores de partículas. Un acelerador de partículas produce un haz coherente de iones (positivos y negativos), que al incidir sobre una muestra de material, interactúa directamente con los átomos que lo

conforman, los protones desplazan electrones del material en estudio y por medio de detectores de radiación específicos, se puede saber la conformación química de la muestra, cada técnica tiene distintos detectores (Germanio-Litio o Silicio-Litio) para cuantificar la radiación, este proceso se llama radiación ionizante (Figura 6).

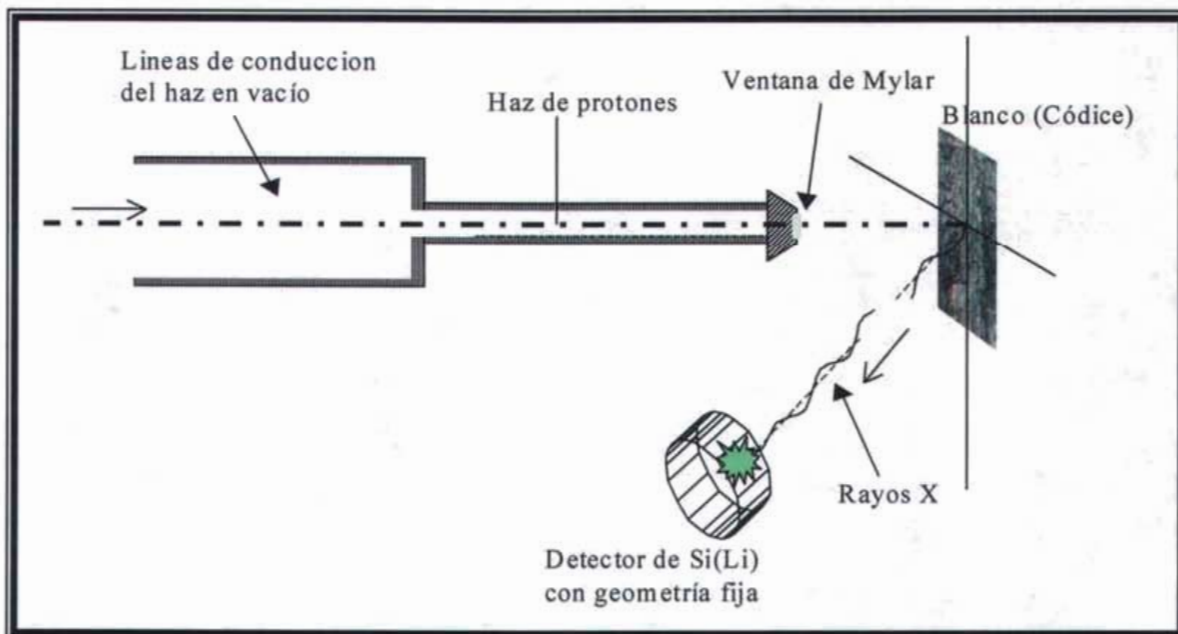


Figura 6: Dispositivo de un sistema de haz para realizar un análisis a la atmósfera

6.4.2. Principio de las técnicas

PIXE

La técnica de PIXE proviene de sus siglas en inglés Particle Induced X-Ray Emisión, desarrollada principalmente en los años 70 (Johansson, 1998). La técnica PIXE se basa en el uso de aceleradores de partículas, los rayos X cuantificados provienen de las capas atómicas superiores del material que se analiza. Además permite determinar la composición de elementos con número atómico superior a 11 (sodio), con una alta sensibilidad (menores a $\mu\text{g/g}$) y rapidez (algunos minutos por muestra). La superficie analizada (o espesor de la muestra estudiado) puede alcanzar de 100 a 200 μm en materiales biológicos (Ruvalcaba, 2001).

RBS

Las siglas en inglés significan (Rutherford Backscattering Spectrometry) es producida por el bombardeo de partículas alfa (cerca de 2 MeV) y en consecuencia genera la retrodispersión de iones, el primer uso que se le dio fue la determinación de espesores de películas delgadas, sus principales ventajas es rápida (10 minutos) para obtener información de la muestra, sensible a la detección de elementos dentro de la muestra, es una técnica cuantitativa absoluta para determinar las concentraciones de los elementos (Santamaría, 1997).

Es una medida de energía de partículas alfa que son retrodispersadas (con una geometría de dispersión de 180°) ya que la suma de la energía perdida en la colisión con el núcleo atómico depende de Z de acuerdo con la teoría cinemática. Es útil para distinguir entre dos elementos ligeros en comparación de dos elementos pesados. Así como para la resolución de masas de elementos ligeros, pero tiene una baja resolución en las masas de los elementos pesados. Cuando el He $^{++}$ golpea a los elementos ligeros tales como C, N, u O existe una fracción significativa del proyectil de energía, que es transferido hacia el blanco del átomo y la energía registrada del evento de retrodispersión es mucho más bajo que la energía del rayo. Esto es usualmente posible de resolver C de N o P de Si, igual cuando estos elementos difieren en masa por solo cerca de 1 a m_u .

6.4.3. Fundamento de PIXE

Las técnicas basadas en aceleradores de partículas, producen tres procesos como consecuencia de la irradiación: dos con el núcleo y uno con los electrones de los átomos. La interacción fundamental se lleva a cabo con los electrones de los átomos. Cuando las partículas se

aproximan a los electrones con una alta velocidad, producen la expulsión de los electrones de las capas internas al transferir un poco de su energía al electrón.

Las partículas más ligeras y más útiles para realizar un análisis PIXE son protones (núcleos de H^+), que son 1800 veces más pesados que los electrones, por lo cual se desvían ligeramente por la colisión con los electrones. Como consecuencia de la expulsión del electrón, el átomo se encuentra ionizado y excitado, hasta que un electrón de capas superiores realiza una transición y ocupa el hueco dejado por el electrón expulsado, emitiendo luz de energía correspondiente a la diferencia de energía de las capas electrónicas entre las cuales se efectúa la transición; dicha energía corresponde en el caso de capas internas de un átomo a rayos X, el hueco dejado a su vez por el electrón que efectuó la transición es ocupado por otro electrón de capas superiores, dando paso a otra transición y la emisión de los rayos X correspondientes. Así se lleva a cabo una cascada de transiciones y la emisión de rayos X característicos de la distribución electrónica del átomo. Dado que dicha distribución es única para cada átomo, el conjunto de rayos X emitidos es una característica propia de los átomos que componen el material irradiado y de sus concentraciones.

Este fenómeno constituye la base de la técnica PIXE.

Los rayos X emitidos son captados en dispositivos electrónicos apropiados para obtener un espectro PIXE es esencialmente un gráfico constituido por picos que corresponden a los rayos X de los elementos presentes en la muestra, sus posiciones son fijas para cada elemento y sus alturas representan la intensidad de los rayos X emitidos, las cuales son directamente proporcionales a la concentración del elemento en el material. La (Figura 7) muestra un

espectro típico de PIXE de un anillo de crecimiento de un árbol. Dicho espectro fue obtenido en el laboratorio del acelerador Peletrón del IFUNAM.

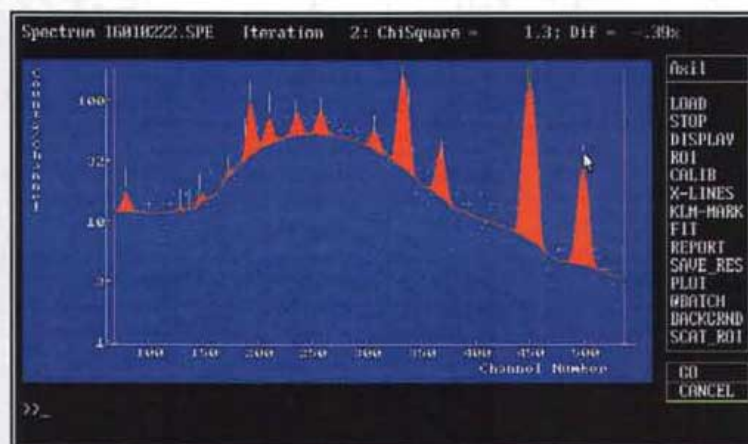


Figura 7: Espectro de un anillo de crecimiento de un árbol.

6.4.4 Dispositivos experimentales

Peletrón

Para analizar un material mediante PIXE se requiere irradiarlo con un haz o rayo de partículas cargadas, producidas por un acelerador de partículas (Peletrón) el cual esencialmente es un dispositivo que permite proporcionar energía a iones (o partículas cargadas) y conformar el rayo de partículas. Las partículas que son aceleradas y se forman en el haz, son producidas a partir de un sólido o un gas en un sistema denominado fuente de iones. Estas son conducidas por campos electromagnéticos hasta un tubo acelerador, en el cual se les proporciona energía a través de una diferencia de potencial alcanzando altas velocidades.

La óptica del acelerador, está constituida por sistemas de campos electromagnéticos que permiten conformar y conducir el haz de partículas a través de líneas al vacío hasta una cámara y también a donde son irradiados los materiales o bien hacia un sistema de haz externo para analizar la muestra a la atmósfera (Figura 8). El sistema de haz externo consiste en que el haz de partículas

atraviesa una ventana delgada de un material ligero como Al o un polímero, y se proyecta a la atmósfera. La muestra se coloca delante del haz, de manera que se irradia la región de interés mediante sistemas de movimientos mecánicos o manuales. Pueden emplearse sistemas de videocámaras y microscopios para observar la región de irradiación.



Figura 8: Irradiación de un núcleo de árbol

Los detectores se colocan en ángulo a la muestra favoreciendo el registro de los rayos X. Pueden utilizarse dos detectores, uno para elementos ligeros y otro para los pesados. Con una atmósfera local de Helio disminuye la absorción de los rayos X y mejora sensiblemente su detección.

Los rayos gamma emitidos de manera simultánea son captados por un detector *ad hoc*. La región irradiada puede tener desde algunos milímetros hasta cientos de micrómetros de diámetro. En este tipo de sistema también es posible obtener un haz muy fino empleando cuadrupolos electromagnéticos para enfocar el haz e irradiar la muestra. Uno de los aceleradores con los que cuenta el Instituto de Física es el tipo Peletrón (Figura 9) puesto en operación desde 1995, es un acelerador electrostático de dos etapas (tipo Tandem) conocido como Peletrón, que utiliza un sistema de dos cadenas con pastillas (pellets) de plástico para transportar la carga eléctrica a la terminal.



Figura 9: Laboratorio del Peletrón (Instituto de Física UNAM).

El voltaje máximo que puede aislar la terminal es de 3MV. Por ser de dos etapas, los protones pueden ser acelerados a una energía de 6.0 MeV. Tiene dos fuentes de iones externas y es capaz de acelerar cualquier átomo de la tabla periódica. Es de tipo horizontal con una longitud de 7 m, diámetro de 1.5 m y con un peso de 10 toneladas, su costo fue de 1.6 millones de dólares.

El objetivo primordial de este estudio fue obtener información relevante del problema biológico específico (anillos de crecimiento) a partir de la composición elemental traza, del material estudiado. Los metales pesados como Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Se, Mo y otros como Sr, Al y Fe son indispensables para el adecuado funcionamiento de los sistemas biológicos. Otros elementos que pueden tener importancia fisiológica, y de los cuales se conoce poco y son F, V, Ni, As, Br y Ba. Con PIXE es factible determinar la concentración de prácticamente todos los elementos mencionados, además de elementos mayores de los sistemas biológicos como K, Ca, Cl, S y P de importancia vital. Otros

elementos como F, Na, Mg, C, O y N pueden ser determinados mediante técnicas complementarias a PIXE como emisión de rayos gamma inducida por partículas (PIGE) y espectroscopia de retrodispersión de Rutherford (RBS), las cuales pueden ser aplicadas de manera simultánea con PIXE en una misma medición. Es posible determinar alrededor de 15 elementos en una sola medición empleando PIXE, encontrándose K, Ca, Ni, Ti, V, Mn, Pb, Fe, Cu, Zn, Br, para nuestro caso en particular.

VII. ANTECEDENTES

El (Cuadro I) hace referencia a los diferentes estudios y a sus objetivos planteados en relación directa

AUTOR	AÑO	ESPECIE DE ESTUDIO	OBJETIVOS
Barkman, J. J.	1958	<i>Géneros caducifolios y perennifolios</i>	Determinar la acidez de la corteza de árboles caducifolios respecto a la de especies perennes y si es un bioacumulador de contaminantes atmosféricos.
Swieboda, M & Kalembe, A.	1979	<i>Pinus sylvestris</i>	Determinar el contenido de S en corteza y si el pino es una especie recomendable para la acumulación de gases y partículas contaminantes.
Ferrel, G. & Miller, P.	1984	<i>Abies religiosa</i>	Evaluar el decline forestal de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional Desierto de los Leones.
Kozlowski, T. & Constantinidou, A.	1986	<i>Pinus sylvestris</i>	Determinar si la contaminación atmosférica influye sobre el crecimiento de las plantas leñosas.
Nagj, M. et al.	1987	?	Determinar la variación de la concentración de elementos traza en anillos de crecimiento de árboles utilizando ambas técnicas XRF y PIXE.
Blanck, K. et al.	1988	?	Realizar un inventario del daño forestal en el este de Alemania.
Bonneau, M. & Landmann, G.	1989	?	Determinar el deterioro de los bosques europeos por medio de la evaluación del estado de las copas.
Schulze, E. D.	1989	<i>Picea abies</i>	Determinar los efectos de la contaminación del aire. Evaluar el decline forestal al oeste de Alemania.
McClenahan, R. et al.	1989	<i>Liriodendron tulipifera</i>	Realizar la cuantificación histórica de los contaminantes en el ecosistema forestal.
Alvarado, R. et al.	1993	<i>Abies religiosa</i>	Analizar el decline forestal causado por agentes patógenos, plagas, insectos y contaminantes atmosféricos.
Bruce, E C & Guyette, P. R.	1993	<i>Quercus alba, Juniperus virginiana, Pinus aristata, Sequoia sempervirens.</i>	Determinar técnicas usadas para detectar y cuantificar de forma individual elementos en diferentes especies.
Kjell, P. & Bengt, J.	1993	<i>Picea abies</i>	Evaluar si la técnica de PIXE es una herramienta para determinar la acidez de los bosques.
Nelleman, C. & Frogner, T.	1994	<i>Picea abies</i>	Evaluar patrones de defoliación de <i>Picea abies</i> en los bosques de Noruega.
Watmough, S A. & Hutchinson, T. C.	1999	<i>Abies religiosa</i>	Evaluar el potencial de la especie para usarlo en dendroquímica. Identificar posibles cambios en la depositación de los metales traza y alteraciones en la química del suelo.
Fenn, M. et al.	1999	<i>Pinus hartwegii</i>	Comparar el depósito de nitrógeno y azufre de NO ₃ y de SO ₄ en el bosque del Desierto de los Leones y Zoquiapan.
Watmough, S. A. and Hutchinson, T. C.	1999	<i>Acer saccharum y Abies religiosa</i>	Revisión de estudios dendroquímicos a través de los últimos 20 años para el monitoreo de los cambios históricos en las concentraciones de los elementos traza en el suelo y la atmósfera.
Pennickx, V. et al.	1999	<i>Fagus sylvatica</i>	Investigar la relación entre el crecimiento y los parámetros climáticos realizando pruebas de patrones radiales de concentraciones de nutrientes provenientes de evidencia sobre la alteración en la química del suelo a través del último siglo.
Hirano, T. and Morimoto, K.	1999	<i>Pinus thanbergir Pur</i>	Analizar los cambios presentados en los anillos de crecimiento del pino negro japonés en un área contaminada y otra no contaminada.
Yanoski, M. et al.	2001	<i>Quercus</i>	Determinar el año en que inicio la contaminación por hidrocarburos clorinado de un acuífero superficial y análisis de los anillos de crecimiento.
Calva, V.G. et al.	2001	<i>Pinus spp y Abies religiosa</i>	Determinar los elementos traza en anillos de crecimiento y en el suelo forestal, relacionado con la depositación atmosférica ácida.
Robles, M. G.	2003	<i>Pinus leiophylla y Abies religiosa</i>	Realizar el dendroanálisis retrospectivo de 30 años en pino y oyamel del depósito atmosférico en los Parque Nacionales Desierto de los Leones y el Chico mediante la técnica de PIXE.
Mojica, A. M.	2003	<i>Pinus montezumae y Abies religiosa</i>	Realizar el dendroanálisis con PIXE, de núcleos de pino y oyamel para el registro de los eventos del depósito atmosférico en los Parques Nacionales Iztapopocatépetl y Zoquiapan

con la dendroquímica, a nivel internacional y nacional permitiendo mostrar los avances teóricos aplicados en la línea de investigación referida, a partir de los años 50 hasta la fecha.

También es evidente que los estudios se realizan con especies arbóreas de bosques fríos, cuya dinámica química de bioacumulación de contaminantes es muy diferente a la presentada en bosques templados. Otro aspecto que se destaca, es que son varias las estructuras anatómicas del árbol: la corteza, copas, follaje y raíz como material utilizado para el análisis químico. En pocos casos los anillos de crecimiento se han utilizado y en especial con la aplicación de una técnica seca, permitiéndonos evaluar de manera histórica la concentración de los elementos.

Con relación a la aplicación de las técnicas analíticas se puede observar que la mayoría cae en las denominadas técnicas húmedas, las cuales se basan en realizar algún tipo de digestión. Por lo general se utiliza Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS) o High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). En el caso de que sea necesario mantener la muestra lo más intacta posible, la Técnica PIXE (Proton Induction Ray-X Emission) es la más indicada por su sensibilidad, precisión y exactitud.

VIII. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Parque Nacional Desierto de los Leones (Figura 10)

Ubicación Política: El se encuentra ubicado en el Distrito Federal, en la Delegación Política de Cuajimalpa de Morelos, la mayor parte, y en la Delegación Álvaro Obregón una pequeña parte de la porción sur oriental.



Figura 10: Parque Nacional "Desierto de los Leones"
(<http://www.planeta.com/ecotravel/méxico/hidalgo/hidalgo.htm>).

Superficie: Su superficie es de 1,866 hectáreas. De acuerdo al Decreto de creación del Parque, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 27 de noviembre de 1917 y el decreto presidencial publicado en el diario oficial de la federación el 19 de diciembre de 1983, donde se expropia e indemniza a la comunidad de San Mateo Tlaltenango para utilizarlo como parque cultural y recreativo, dan una superficie de 1,529 hectáreas Vargas (1984) da una superficie de 1,866.999 hectáreas. Mientras que González y Sánchez (1961) reportan una superficie de 1,900 hectáreas. Dentro del parque hay once ruinas coloniales, denominadas ermitas, así como un antiguo convento de los monjes carmelitas, de gran valor histórico (Vázquez, 1987).

Ubicación Geográfica: El Parque se encuentra dentro de las siguientes coordenadas geográficas (Figura 11), latitud N 19°15'20" y 19°19'40" y de longitud O 99°17'40" y 99°19'40" (Vargas, 1984: 198).

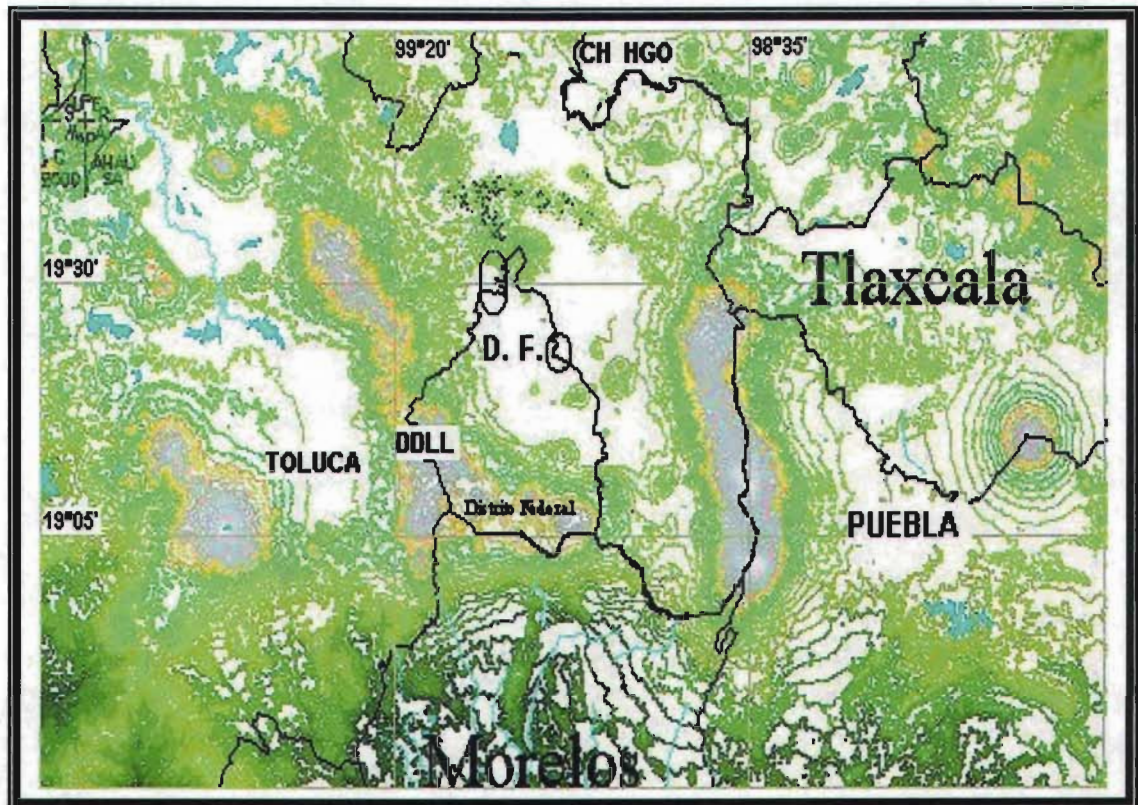


Figura 11: Mapa de Localización del Parque Nacional Desierto de los Leones (DDLL) y El Chico (Hidalgo).

Vegetación : se determinó que existen un total de 164 especies, de las cuales 16.5% corresponden al estrato arbóreo, 28.7% al arbustivo y 48.2% al herbáceo. El bosque consta de 4 comunidades vegetales: Bosque de *Abies religiosa*, Bosque de *Pinus Hartwegii*, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de *Quercus*. *Abies religiosa*, el más representativo, mientras que el bosque de pino es el más diverso (*Pinus ayacahuite*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. patula Longipedunculata*, *P. radiata*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*) así como bosque de Cedro (*Cupressus lusitancia*).

Clima: semifrío subhúmedo, con una altitud entre los 2.850 y los 3.500 m. Su precipitación promedio es de 1300 mm por año y los rangos de temperatura son de 7 a 15°C. En su interior existe gran cantidad de manantiales, con una vegetación de coníferas (oyamel y pinos), donde había una fauna representada por el venado o ciervo de cola blanca, ardillas y aves típicas de bosques templados.

Suelo: está clasificado en Cambisol Eútrico mezclado con Andosol (clasificación FAO-UNESCO), con una textura de fina a media. En general, los suelos tienen buen drenaje superficial son húmedos todo el año, ricos en materia orgánica y profundos (Citado en Robles, 2003). Se caracterizan por poseer material piroclástico y brechas con una consistencia suelta, que sugiere por focos eruptivos como el Cerro de San Miguel (Watmough *et al.*, 1998).



Figura 12: Panorámica del Desierto de los Leones

Parque Nacional El Chico, Hidalgo (Figura 13)

Ubicación Política: Se encuentra localizado al Norte de Pachuca Hidalgo, en el Municipio del Mineral del Chico y Mineral del Monte, al sureste del estado de Hidalgo.

Superficie: Se le conoce como Parque Nacional desde 1898 (Melo, 1982), abarca una extensión total de 2 739 hectáreas, se expropiaron 329 hectáreas de propiedad particular compuesta de tres fracciones; la fracción I con 153-42-14 hectáreas; la fracción II con 68-26-22 hectáreas y la fracción III con 107-91-84, así mismo el gobierno del Estado de Hidalgo transmitió en favor del gobierno federal una superficie de 84-71-00 hectáreas del terreno conocido como "Monte Vedado".



Figura 13: Parque Nacional "El Chico, Hgo."

Ubicación Geográfica: Se localiza geográficamente entre los meridianos de coordenadas $98^{\circ}41'47''$ y $98^{\circ}45'31''$ de longitud oeste y entre los paralelos de $20^{\circ}10'05''$ y $20^{\circ}13'25''$ de latitud norte (Figura 11, Pag. 37). Su altitud va de 2,323 msnm (Mineral del Chico) hasta los 3,090 (Cerro de las Ventanas).

Vegetación : la carretera del Mineral del Monte en Pachuca cruza el Parque de Este a Oeste y atraviesa el bosque de *Abies religiosa*, en presencia de *Juniperus spp* y *Pinus spp* (presa Jaramillo). El rodal *Cupressus lindleyi* se ubica alrededor de la presa el Cedral y está asociado con *Quercus laurina*, *Q. crassifolia*, *Q. spp* y *Juniperus spp*.

Clima: templado subhúmedo con lluvias en verano y semifrío, con una temperatura media anual de 21°C y una mínima de 5°C , su precipitación media anual es de 1479 mm, la mayor cantidad

de lluvia cae en junio con 240.7 mm y la menor en febrero con 18.6 mm con lluvias en verano (SARH, 1994).

Suelo: reporta (Calva, 1999) podsólico de montaña con tres horizontes (A,B,C,), su clasificación textural es limo-arenoso o bien arenoso. Su pH varia de 5.0 a 7.0 son suelos poco profundo, porosos y bien drenados, su estructura es granular o en bloques, ya que el % mayor corresponde a la arena luego lima y arcilla. Las rocas son de procedencia volcánica y materiales sedimentarios cuyas edades van del Terciario al Reciente y varían en composición desde riolitas hasta basaltos, predominando la calcita y andesita.

IX. MATERIAL Y METODOS

Los sitios de estudio se eligieron para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica en los parques naturales que son áreas de imprescindible valor ecológico y por que la contaminación debería ser menor, en comparación con las urbanas.

9.2 Fase de Campo

Selección de las muestras

Se seleccionó *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* (Figura 14) de los Parques Nacionales: El Chico (Hidalgo) y Desierto de los Leones (D. F) por que la distribución latitudinal es similar en las condiciones edafo-ecológicas. Características corroboradas en un mapa topográfico y con un geoposicionador (Magellan, 3m de precisión) para determinar coordenadas de ubicación de cada uno de los árboles seleccionados (diez) por zona, se hizo un muestreo al azar, tomando en cuenta atributos como vigor en las hojas, capa frondosa, sin parásitos, ni plantas parásitas, ausentes de daño alguno como con machete, hacha, ocoteados, etc.



Figura 14: Selección de los árboles en los Parques Nacionales

Toma de muestras de núcleos

Las mediciones realizadas a cada árbol seleccionado fueron: circunferencia del tronco rebasando 1:20 m de circunferencia, procurando no cometer un error de colecta que fuera significativa en cada una de las poblaciones de *Pinus montezumae*, *Pinus patula* Schlecht & Cham. y *Abies religiosa*. A cada uno de ellos se les extrajo un par de núcleos de madera (anillos de crecimiento) con ayuda de un taladro Pressler (16") (Figura 15 y 16) de acuerdo a las especificaciones propuestas por (Cook, 1990).



Figura 15: Perforación del árbol con el taladro Pressler **Figura 16:** Extracción y obtención del núcleo

Las muestras se colocaron en popotes etiquetándolas y guardándolas en contenedores para su transporte al laboratorio (Figura 17) y (Figura 18).



Figura 17: Acondicionamiento de la muestra

Figura 18: Muestras etiquetadas

9.3 Fase de Laboratorio

Secado y montaje

En el laboratorio de contaminación atmosférica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza se procedió a secar los núcleos de madera en la estufa Kinet (modelo 53874) a 40° C por 24 hrs (Figura 19), para evitar que con la humedad de la madera blanda y agua retenida por las traqueidas se contaminen por hongos o bacterias.



Figura 19: Secado de muestras



Figura 20: Núcleos orientados en el bastidor

Posteriormente se procedió al trasvasado de los núcleos a bastidores de 35 cm de largo con un canal de 5 mm, a fin de orientarlos con la cara transversal (Figura 20), fijándolos en los bastidores de madera, para más tarde dejar expuesta una superficie plana y realizar mediciones dendrocronológicas y anchura de los mismos durante un periodo de 30 años (Figura 21 y 22).



Figura 21: Conteo de los anillos de crecimiento y medición de las anchuras



Figura 22: Identificación de los anillos de primavera y verano en el núcleo

Análisis experimental

Las muestras se llevan al Instituto de Física en el Departamento de Física Experimental para someterlas a la aplicación de la técnica de emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE). A cada núcleo y por consiguiente a cada uno de los anillos de primavera y verano (figura 24) haciéndoles incidir un rayo de protones, con un acelerador de partículas de marca NEC (Nacional Electrostatics Corp.), Modelo 9SHD-2 con una energía de 3 MV de Middleton, Wisconsin USA.

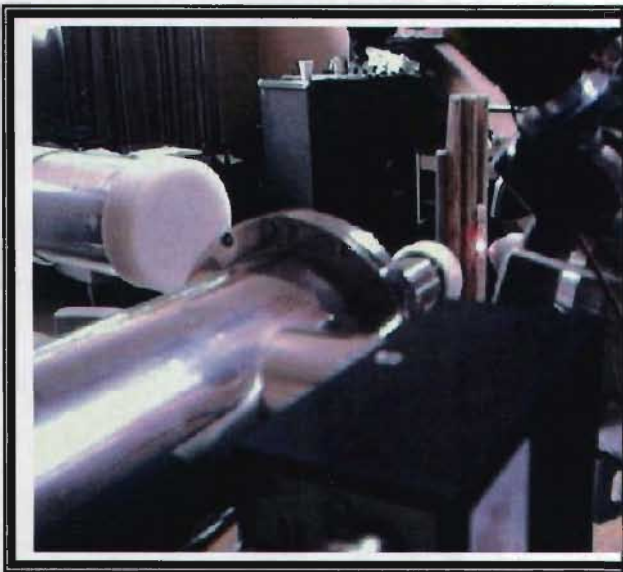


Figura 23 : Irradiación de un anillo

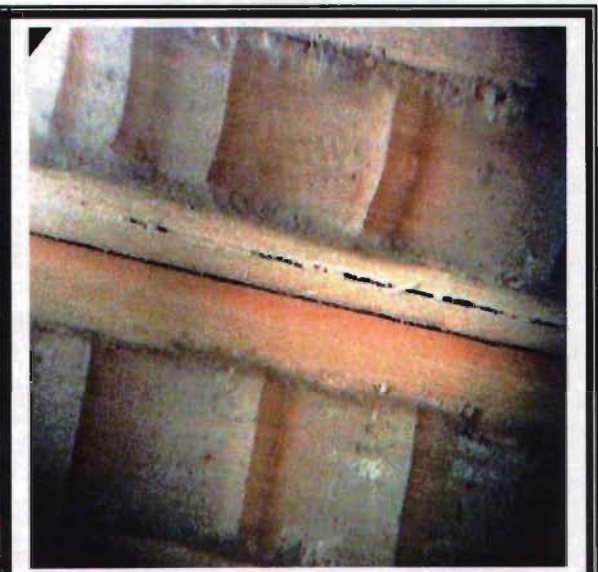


Figura 24: Regiones de madera temprana y tardía que conforman el anillo

El análisis se realizó con el acelerador del Instituto de Física (Peletrón), que utiliza la técnica de emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE) para metales más pesados que Na (Ruvalcaba, 2001). El estándar utilizado fue el de hojas de tomate (1573 a), calibrando la intensidad del haz y ajustando la óptica, y para las muestras se irradió de 13 minutos por anillo de crecimiento (primavera y verano) que representó un periodo de 30 años. Los espectros de PIXE obtenidos se interpretaron por medio de programas especializados (AXIL y PIXEINT) con el fin de obtener las concentraciones

correspondientes de metales pesados, ligeros y de transición (K, Ca, Mn, Ti, V, Zn, Fe, Cu, Pb, Sr, Rb, Ni, Br,) en cada uno de los anillos de crecimiento de primavera y verano. El programa AXIL (Van, 1990 en Santamaría, 1997) fue creado en la Universidad de Antwerp perteneciente a la Agencia Internacional para la Energía Nuclear (IAEA), Viena; empleado los espectros de PIXE del sistema de salida del Peletron a fin de convertir la señal eléctrica en mg/kg, escrito en Lenguaje C y Fortran 77. Calcula los rayos X producidos por las líneas de emisión de los elementos que componen la muestra mediante la integración del número de cuentas bajo los picos, estima el fondo y calcula el ancho de cada pico. Las cantidades obtenidas de ésta manera representan el número de fotones o de rayos X emitidos por los elementos, lo que aproxima sensiblemente a la composición química de la muestra (Santamaría, 1997).

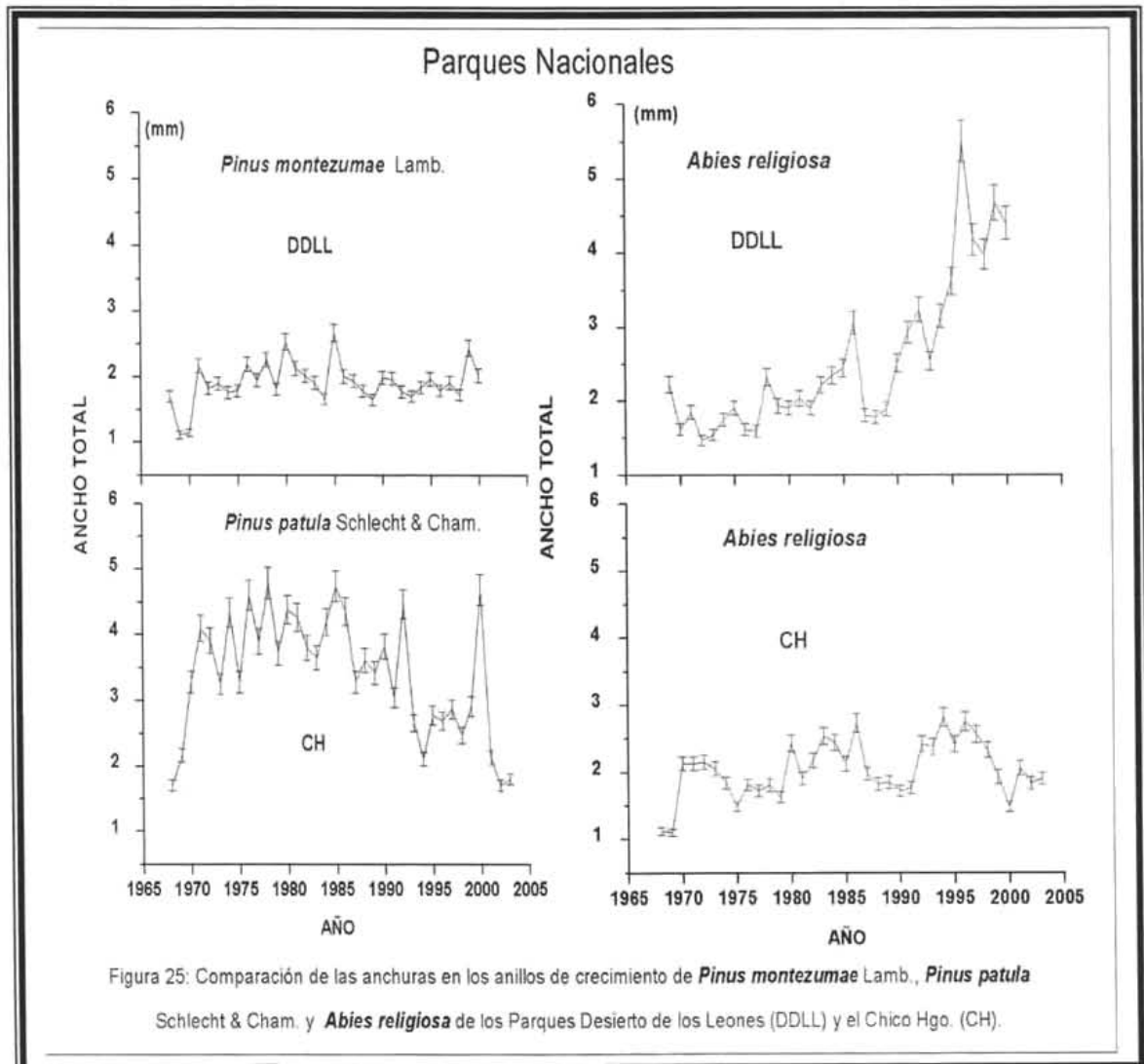
La irradiación se efectuó cuando Biológicamente el árbol es más activo y por ende, la de mayor movilidad elemental.

Para el análisis estadístico se utilizó polígonos de frecuencia con su correspondiente incertidumbre (5%) a fin de determinar las oscilaciones por décadas con respecto a las zonas vs especies. También se obtuvieron graficas que relacionaron la anchura, la concentración elemental y los correspondientes años. Las cajas de dispersión o también llamadas box plot nos permitieron determinar la distribución del conjunto de datos (Dawson, 2002). Los dendrogramas nos permitieron asociar las variables en conjunto y de manera individual, aplicando el coeficiente de Pearson. Y por último una matriz de correlación que nos concluí de forma exacta el grado relacionan entre las variables (Matus et al., 2003).

X. RESULTADOS

10.1 Historia en la anchura de los anillos

En términos generales los anillos de crecimiento de *P. patula* en el CH son más amplios que los de *P. montezumae* del DDLL (Figura 25). En el CH durante los años 1978 y 1985 se registraron anchuras de 4.8 mm, mientras que las más pequeñas correspondieron a 1968 con 1.6 mm de diámetro. En el DDLL las anchuras varían de 1 mm hasta 2.5 mm teniendo una mayor anchura en 1985 y una menor en 1969.



Mientras que los anillos de crecimiento en *Abies religiosa* resultaron más anchos en los núcleos del DDLL en comparación con *Abies religiosa* del CH; Así en el año de 1996 se registro una anchura de 5.5 mm, y en 1972, de 1.5 mm. Coincidiendo que en el DDLL y el CH para 1994, la anchura es de 2.9 mm y en 1969 la anchura es de 1 mm. El ancho de los anillos de crecimiento de los árboles, durante todo su ciclo de vida, esta determinado por el clima, por que éste incide directamente en los factores químicos y físicos del crecimiento del árbol (p.e. *Pinus strobus*, *P. Sylvestris*, *Tsuga canadiensis*), como se ha reportado en las investigaciones de Kozlowski & Constantinidou (1986), Schulze (1989), McClenanhen *et al.* (1989) y Fritts (1976). En consecuencia, los patrones del crecimiento se ven afectados cuando la contaminación del aire, modifica las propiedades físicas y químicas de la atmósfera, así es como repercute los procesos bioquímicas del crecimiento celular en los anillo.

10.2. Variación de los metales pesados registrados en el DDLL y el CH.

10.2.1 *Abies religiosa*

Los metales pesados que se registraron en los núcleos de la madera correspondientes al DDLL y el CH fueron **Ti** y **Ni** (Figura 26). En el CH las concentraciones fueron de 6 hasta 34 mg/kg de **Ni**, con un valor máximo en 1999 y el mínimo, en los años 1981 y 1984; con respecto al **Ti**, en algunos anillos detecto se detecto por debajo de la sensibilidad del Peletron y hasta 1400 mg/kg, como valor máximo en 1969 y el mínimo en 1970. De acuerdo con Reimann (Cuadro III), las concentraciones no se consideran dañinas para el árbol ya que los intervalos son los permisibles para el mismo.

Para el caso del DDLL la concentración más baja de **Ni** fue de 1 mg/kg y correspondió para el año 1980, mientras que la más alta fue de 45 mg/kg en el 2000, razón por la cual este elemento sigue en el rango permisible (8–122 mg/kg) según Reimann (1998). En el caso de **Ti** se determinó desde una concentración no detectadas por el pletron, hasta los 4500 mg/kg, el valor máximo se determinó en 1997, considerado tóxico para el árbol según Reimann (1998; Cuadro III). Destaca el hecho de que el intervalo en concentración de **Ti** y **Ni** en le suelo forestal del DDLL va de 123 a 2447 y de 27 a 125 mg/kg, respectivamente (Chavarria, 2004).

El los anillos del CH se registró para **Mn** (Figura 26) un valor máximo de 320 mg/kg y un mínimo de 100 mg/kg en 1996 y 2003, en 1976 y 1979 respectivamente. De acuerdo con Reimann (1998) estos valores están en concentración baja. Con respecto a los registros del DDLL, las concentraciones máximas de **Mn** son de 250 mg/kg (Figura 26) y que corresponden a los años 1991 y 1993, la más baja, se determinó en 1970 con tan sólo 50 mg/kg; demostrando que los niveles son demasiado bajos en esta zona. La concertación de dicho él elemento en el suelo fluctuó entre 146 a 733 mg/kg para el año de 1999 (Chavarria, 2004).

CUADRO II: Clasificación de los elementos

AUTOR	TRAZA	FISIOLÓGICOS	ESENCIALES	TOXICOS	MACRO	MICRO	METAL	METALES LIGEROS	METALES DE TRANSICIÓN
Fritts, H. C. 1976	Ti, V, Ni, Pb.	K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn.						Br, Sr, Rb	
Alloway, B.J. (1990)	Ni, Pb, V, Cu, Zn, Mn.								
Pendías, K. A. (1992)	Pb		Cu, Fe, Mn, Ni, Rb, Sr, Ti, V, Zn.						
István, P. (1997)	Cu, Fé, Ti, Ni, Rb, Sr, Zn, Br, Mn, V	Rb,Cs, Sr, Sc, Ti, Zr, W, Pt, Au, Ga, Ge, Br.	Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, B, I, V, Cr, Li, Si, F, As, Se, Sn, Pb.	Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, V, Zn	Ca, K	Cu, Fe, Mn, Zn	Cu, Fe, Mn, Zn		
Reimann, C. (1998)	Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Br.							K, Ca, Sr, Rb.	V

En los núcleos de los árboles que corresponden al CH y para los años de 1968,1971 y 2001, se registró una máxima concentración de **Fe**, de 600 mg/kg (Figura 26), mientras que la mínima fue en 1977, 1980 y 1983, la concentración fue de 150 mg/kg. En éste sentido Reimann (1998) con las concentraciones publicadas los registros son bajos en el árbol, (Cuadro III).

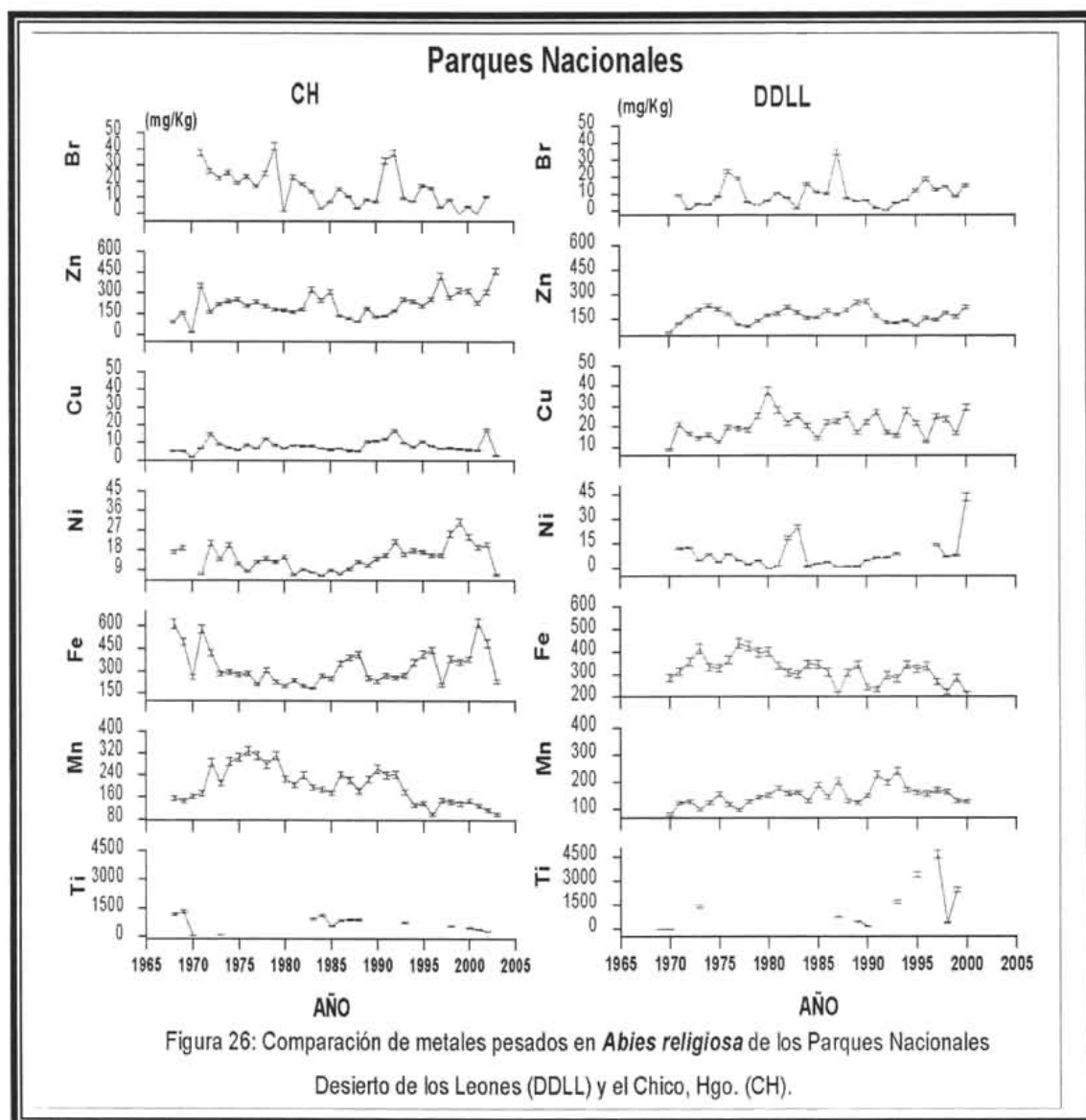
CUADRO III: Comparación en las concentraciones de elementos permisibles presentes en los árboles.

AUTOR /ELEMENTOS	K (mg/kg)	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Sr	Rb	Pb
Alloway, BJ 1990				(A)0.001- (B)13	20 -7000		0.02- 220	5 -100	1 -900				0.2 -300
Pendías, K A (1992)			0.15- 200	0.5 - 140	30 -1000	18 -1000	10 -100	5 -1500	100-500	40 - 2000	< 1 - 15,000		1 -200
István, P. 1997			0.1 -4.6	0.27 - 4.2	10 -500	20 - 100	0.3-3.5	1 -10	10 -100		3 -3000	0.5-70	1.0
Reimann, C 1998	10,600- 76,200	1,800- 35,300	26 - 1562	19 -478	1,641- 11,683	3,200- 22,200	8 -122	27-701	290- 5800	16-230	<300- 9600	< 5-270	89 - 6959

(A) valor mínimo

(B) valor máximo

En el DDLL (Figura 26) los niveles más altos de **Fe** se registraron en 1973 y 1977 con una concentración de 450 mg/kg, mientras que los niveles más bajos fueron en 1987 y el 2000 con una concentración de 230 mg/kg. Los registros de Fe en el suelo del Desierto fueron desde 8 hasta 2015 mg/kg publicado por Chavaría (2004). Tisdale *et al.* (1985) determinaron que el **Fe** funciona como un



componente estructural y cofactor para reacciones enzimáticas, es un ión requerido para el metabolismo de las plantas es Fe^{2+} , además de estar más disponible y ser móvil en la incorporación de la estructura biomolecular.

El **Cu** en el CH (Figura 26) presenta concentraciones bajas y en algunos casos constantes como en 1980 - 1988 y 1997 - 2001 mg/Kg, con 9 mg/kg. Los registros altos fueron en 1992 y el 2002 con una concentración de 20 mg/kg, Tisdale *et al.* (1985) determinaron que este es absorbido en las plantas en forma de ion Cu^{+2} y que también lo puede hacer como un componente diferente o complejo orgánico sintético. En núcleos de madera para el DDLL **Cu** registra (Figura 26) un nivel máximo en 1980 con una concentración de 38 mg/kg, mientras que la mínima en 1970 con 5 mg/kg. De acuerdo con Reimann (1998) esta última concentración es baja y es considerada como insignificante (Cuadro III, pag. 48). Con respecto al registro de la concentración del Cu en el suelo del Desierto de los Leones se reportó un intervalo que va de 30 a 70 mg/kg (Chavarría, 2004).

En el CH se registraron concentraciones altas de **Zn** (Figura 26) en aquellos anillos correspondientes a los años 1971, 1997 y 2003 de 350 a 450 mg/kg y un mínimo de 1 mg/kg en 1970, de acuerdo con Tisdale *et al.* (1985) este elemento se considera de transición y lo requiere la planta y absorbe como ion Zn^{2+} por medio de las raíces. El **Zn** en el DDLL (Figura 26) tuvo concentraciones altas de 300 mg/kg en 1989 y 1990 y las más bajas 100 mg/kg en 1970. Reimann (1998) clasifica como valor mínimo 290 y el máximo 5,800 mg/kg. En este Parque Nacional la concentración del suelo fluctuó de 25 a 240 mg/kg (Chavarría, 2004).

El **Br** en el CH (Figura 26), reporta que la concentración más alta fue de 40 mg/kg en 1979 seguida de otras en 1971 y 1993 con un valor de 39 mg/kg, mientras que los valores más bajos son de 1 mg/kg en 1980, 1999 y el 2001. De acuerdo con Reimann (1998) el mínimo es 16 mg/kg y el máximo 230 mg/kg. En consecuencia se determinó que el valor más alto mostrado en la gráfica está en el intervalo de los valores dados, mientras que el valor bajo no lo hace. En el DDLL el **Br** (Figura 26) tuvo un valor alto en

1987 alcanzando una concentración de 40 mg/kg y los más bajos oscilaban entre 1 mg/kg en 1972, 1983 y 1992. Caso similar como paso en el CH de acuerdo con Reimann (1998).

Establecer la clasificación de los elementos cuantificados en los anillos de los árboles en relación con su crecimiento y desarrollo, fue una tarea muy difícil por que los criterios varían entre la designación específica de la función del elemento a escala anatómica y funcional, a saber: **Elementos traza (e. t.) clásicamente esenciales, e. t. probablemente esenciales, e. t. promotores fisiológicos, elementos que tiene un role de promoción de la esencialidad y que pueden ser parcialmente verificables** y finalmente, **los promotores bajo circunstancias muy específicas** (István and Benton, 1997). Sin embargo, en el mejor de los intentos en el cuadro II (pag. 48) se recopilaron los diferentes enfoques para explicar nuestro enfoque ecofisiológico del proceso formativo de los anillos. Los metales pesados se involucran en la formación de cofactores enzimáticos imprescindibles para dinámica celular en el duramen, albura y corcho. En este sentido se destaca el hecho de establecer una comparación de concentraciones de los elementos con el investigador Raimann (1998) por él cuantificó y realizó un compendio a escala internacional de los elementos antes citados.

10.2.2 *P. patula* y *P. montezumae*

Con lo que respecta a los metales pesados en El CH (Figura 27) en *P. patula* se encontraron **Ti, Ni** y **Pb** mientras que para el caso del DDLL en *P. montezumae* se encontraron solo **Ti** y **Ni**. El **Pb** en el CH tiene concentraciones no detectadas hasta 150 mg/kg valores máximos en los años 1972 y 1975, valores permisibles para el árbol, de acuerdo con Reimann (1998).

Comparando el **Ni** del CH vs DDLL se observó que los valores para el CH oscilan de no detectados hasta 700 mg/kg, reportándose el valor máximo en 1987 y para el DDLL se tienen concentraciones no

detectadas hasta 850 mg/kg teniendo su valor máximo en 1988 y en el 2000 disminuyó la concentración de este, caso contrario en el CH ya que permanece de manera constante entre los 270-300 mg/kg, rebasando el nivel permisible para el árbol de acuerdo con Reimann (1998).

En el caso del **Ti** en ambas zonas el rango no se rebasa, en el CH y las concentraciones fluctúan de 100 a 1500 mg/kg teniéndose valores máximos en los años 1984 - 1989 y para el DDLL van de 300 a 1200 mg/kg valor mínimo en el 2000 y el máximo en 1990.

Las concentraciones de **Mn** en el CH (Figura 27) son altas 200 mg/kg en 1982, 1984 y 1995, y concentraciones bajas de 10 mg/kg en 1968. Con Reimann (1998) éstas entran en el rango propuesto por él, (Cuadro III, pag. 48). En el DDLL el **Mn** (Figura 27) tuvo un valor alto 160 mg/kg en el año de 1965, y valores bajos que varían de 20 hasta 50 mg/kg en 1969, 1972, 1997, 1998,1999.

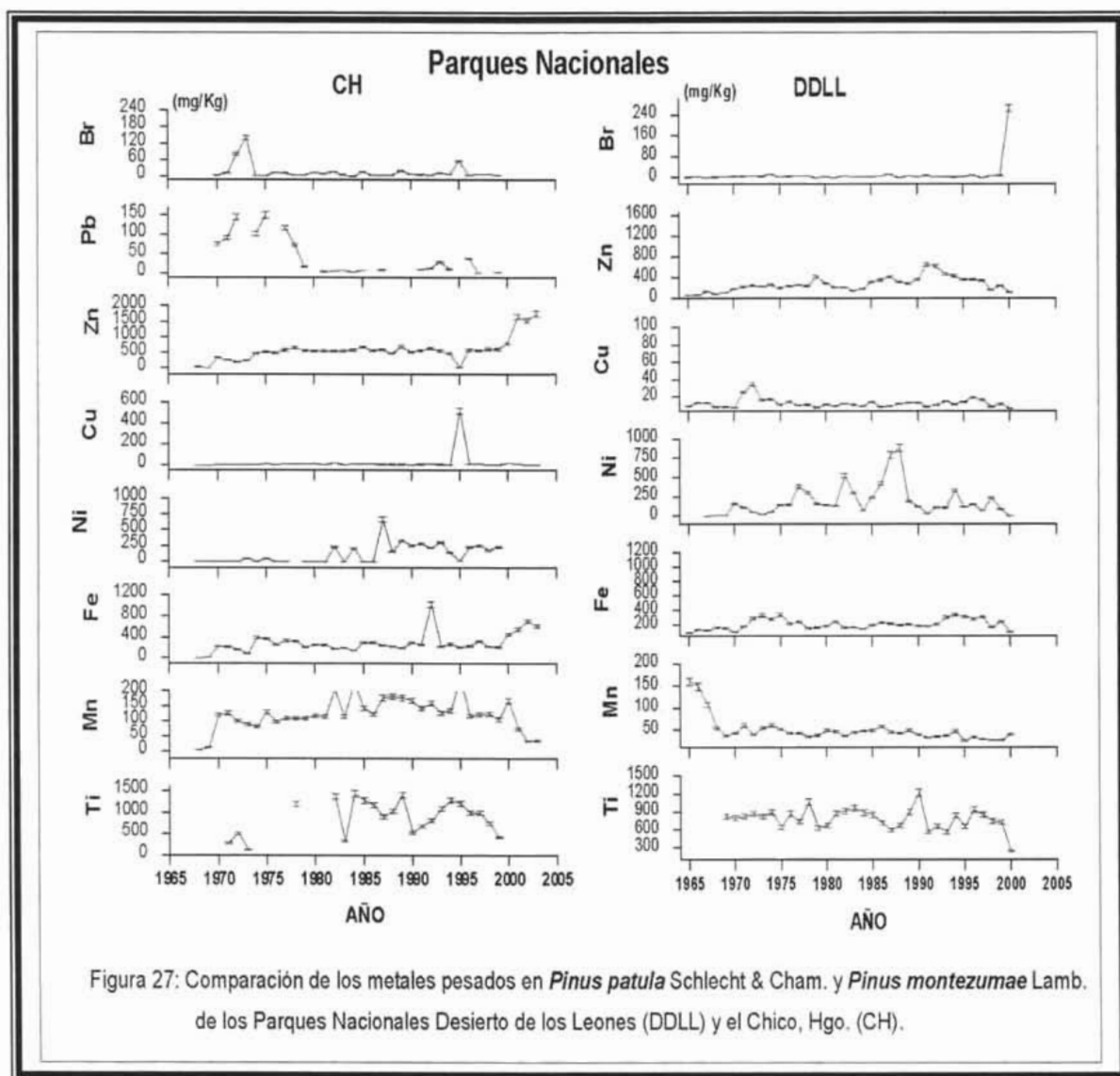
El **Fe** en el CH (Figura 27) tiene una concentración de 1000 mg/kg en 1992 y sigue en aumento a partir del 2000, mientras que las concentraciones más bajas fueron en 1968. Valores que de acuerdo con Reimann (1998) son demasiado bajos ya que el es de mínimo 3,200 y el máximo de 22,200. En el DDLL (Figura 27) el **Fe** presenta concentraciones muy bajas de 100 y 400 mg/kg a partir de 1970, hasta el 2000.

La concentración máxima de **Cu** es de 520 mg/kg, reportada en el CH (Figura 27) en 1995, manteniéndose concentraciones constantes de 10 mg/kg y la más baja encontrada de este elemento fue en 1968 y 1969. Mientras que en el DDLL (Figura 27) el nivel más alto de **Cu** encontrado fue de 38 mg/kg en 1972, llegando a su nivel más bajo 2 mg/kg en el año 2000.

El **Zn** en el CH presentó (Figura 27) en el 2001 y 2003, concentraciones altas de 1800 mg/kg de este elemento, y con lo que respecta a las concentraciones más bajas 1 mg/kg fueron en 1968, 1969 y 1995. Para el DDLL (Figura 27) el **Zn** tuvo concentraciones muy bajas hasta 600 mg/kg a partir de 1965

hasta 1990, teniendo una concentración 500 mg/kg en 1991 y 1992 y de acuerdo con Reimann, (1998) estas se encuentran en los rangos permisibles para el árbol, (290-5,800 mg/kg).

La concentración más alta registrada de **Br** en El CH fue de 150 mg/kg en 1973 y a partir de 1974 hasta 1994 se tienen concentraciones que varían de no detectados a 60 mg/kg. Comparando estos valores con Reimann (1998) no se encuentran en el rango propuesto por él, sólo el valor máximo. Para el DDLL el **Br** mostró un valor máximo en el 2000 alcanzando una concentración de 280 mg/kg. El **Br** del DDLL, desde 1965 hasta 1999, su concentración permanece constante, elevándose ésta en el año 2000, con un valor de 280 mg/kg, que rebasa el nivel máximo permisible en la clasificación de Reimann (1998).



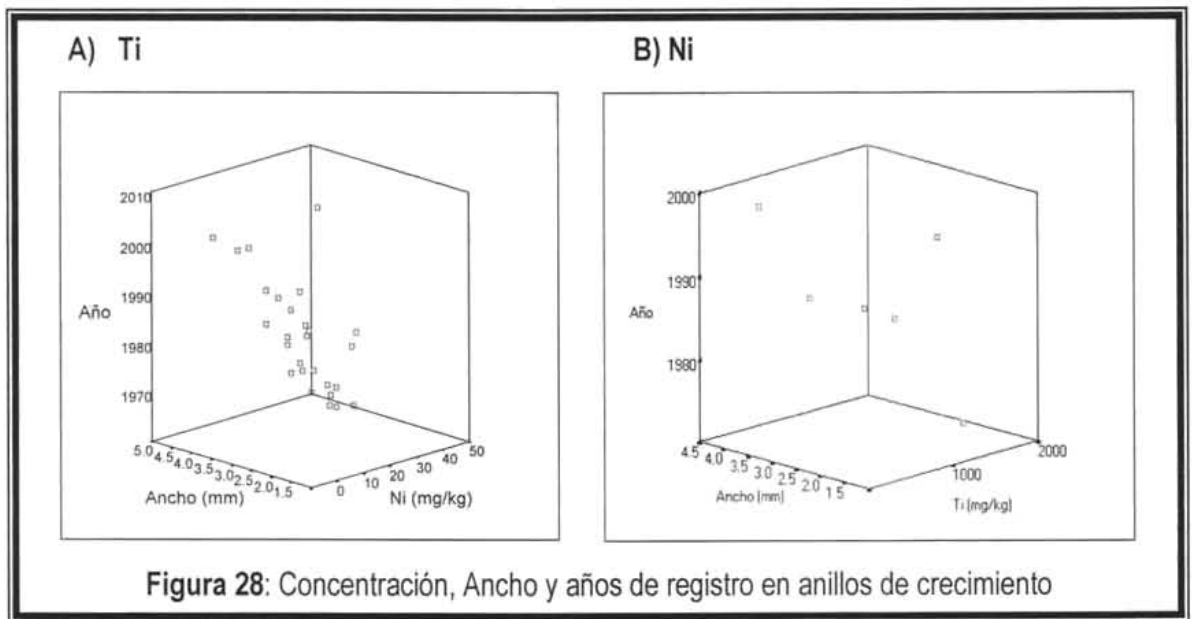
En el DDLL el **Sr** tiene su valor máximo en 1996 con 93 mg/kg y el mínimo en 1997 con 10 mg/kg y la mayoría se encontró entre 30 y 60 mg/kg reagrupándose en la clasificación propuesta por Reimann (1998), (Cuadro III, Pág. 48).

Al comparar los resultados obtenidos en los anillos de crecimiento del oyamel del Desierto de los Leones y cuantificados con la técnica PIXE, con los obtenidos por Watmough y Hutchison (1999), cuya técnica analítica fue Espectroscopia de Masas Acoplada a Plasma (ICP-MS). Los registros obtenidos por PIXE son mayores en magnitud. Así la concentración registrada por Watmough y Hutchison (Op. Cit) en Zn, Cu y Mn fue alrededor de 150, 5, y 7 mg/kg, respectivamente, con un marcado incremento a partir de la década de los 80s, estas concentraciones es un promedio de cinco años. En relación con la concentración registrada en mis muestras, que fueron de 175, 22, y 165 mg/kg, para Zn, Cu y Mn, respectivamente; así también se observó con una conducta similar a la registrada en la investigación de Watmough y Hutchison (Op. Cit).

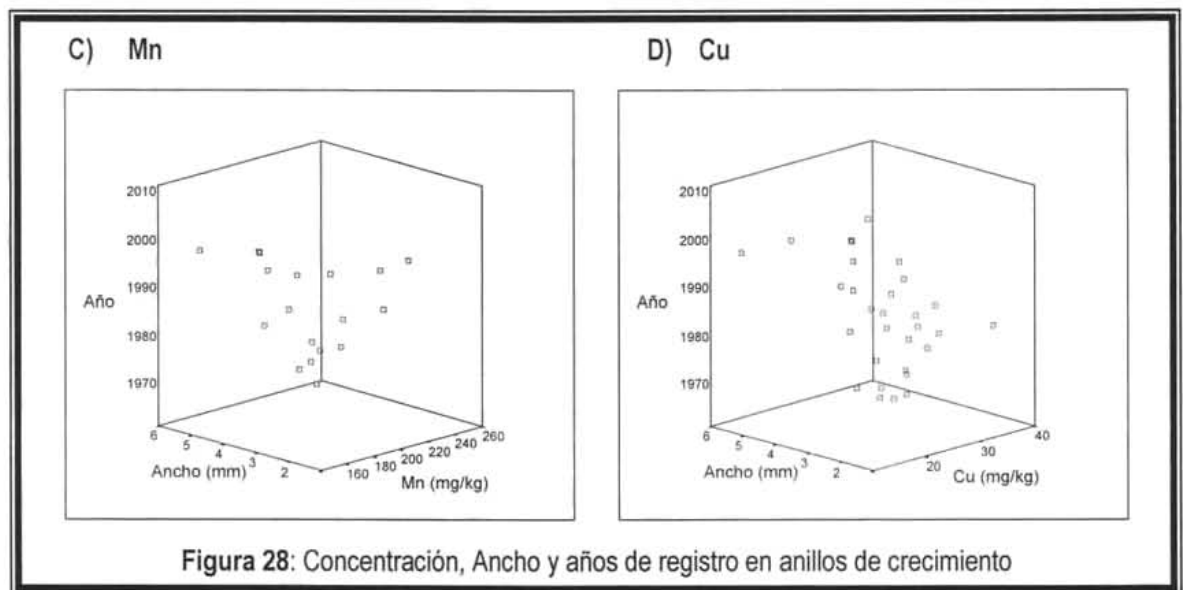
10.3. Asociación y agrupación del tiempo, anchura y metales pesados.

10.3.1. *Abies religiosa* en Chico, Hgo.

El **Ti** se determinó una concentración de 1000 a 2000 mg/kg correspondiente a los años 70s y 90s, con sus correspondientes anchuras que van de 1.5 a 3, y las mayores alcanzaron los 4.5 mm (Figura 28.A). En **Ni** se tuvo una concentración de 25 a 50 mg/kg, en la década de los 60 y hasta los 80, encontrándose principalmente en anillos con anchuras de 3.5 a 5 mm y con una (Figura 28.B). La concentración de **Mn** oscila entre 120 y 260 mg/kg, a partir de 1960 y hasta el 2000, con respecto a sus correspondientes anchuras de 5 a 8 mm (Figura 28.C).

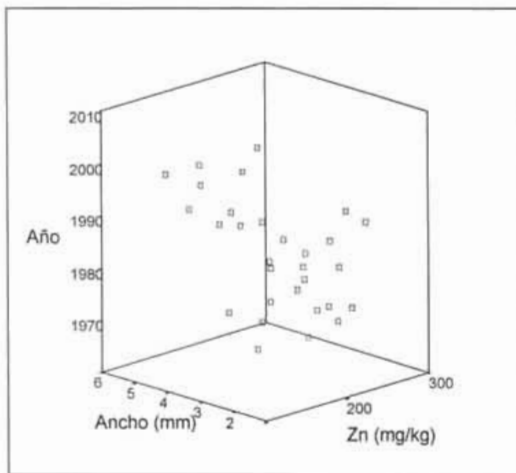


Las concentraciones para el **Cu** son de 30 a 40 mg/kg, a partir de 1960 y hasta el 2000 se reportaron, en los anillos con anchuras que varían de los 4 a 6 mm de diámetro. (Figura 28.D).



El **Zn** presenta una concentración de 200 hasta 300 mg/kg de este elemento a partir de los 70 y hasta los 90 en su mayoría y en anchuras de 3.5 a 5 mm (Figura 28.E). Para **Br** la concentración se reportó en el nivel de 30 a 40 mg/kg, de 1965 hasta 1995, principalmente en anchuras de 4 a 6 mm (Figura 28.F)

E) Zn



F) Br

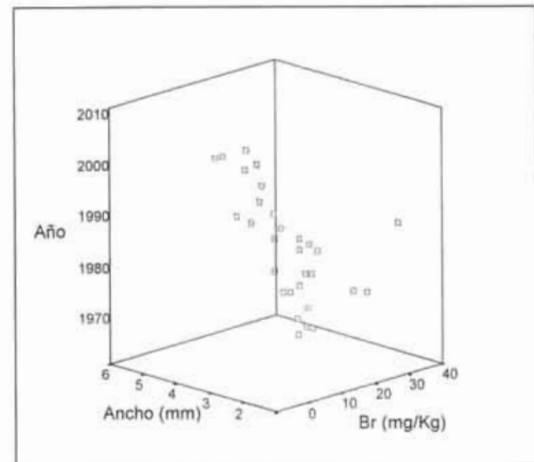


Figura 28: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

Para el caso de Fe las concentraciones se reportaron en 400 a 700 mg/kg, principalmente en los 70 y el 2000 en anillos con anchuras de 2.5 a 3 mm (Figura 28. E)

G) Fe

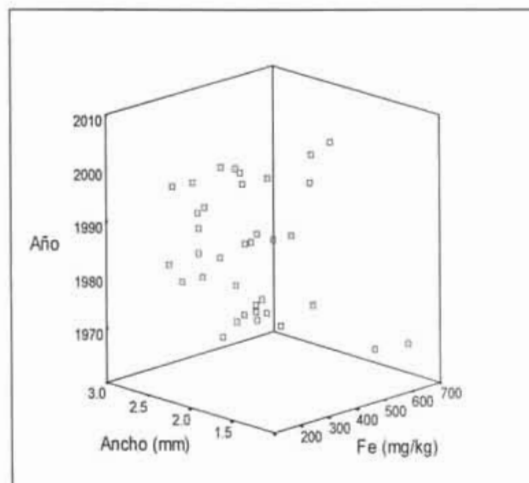
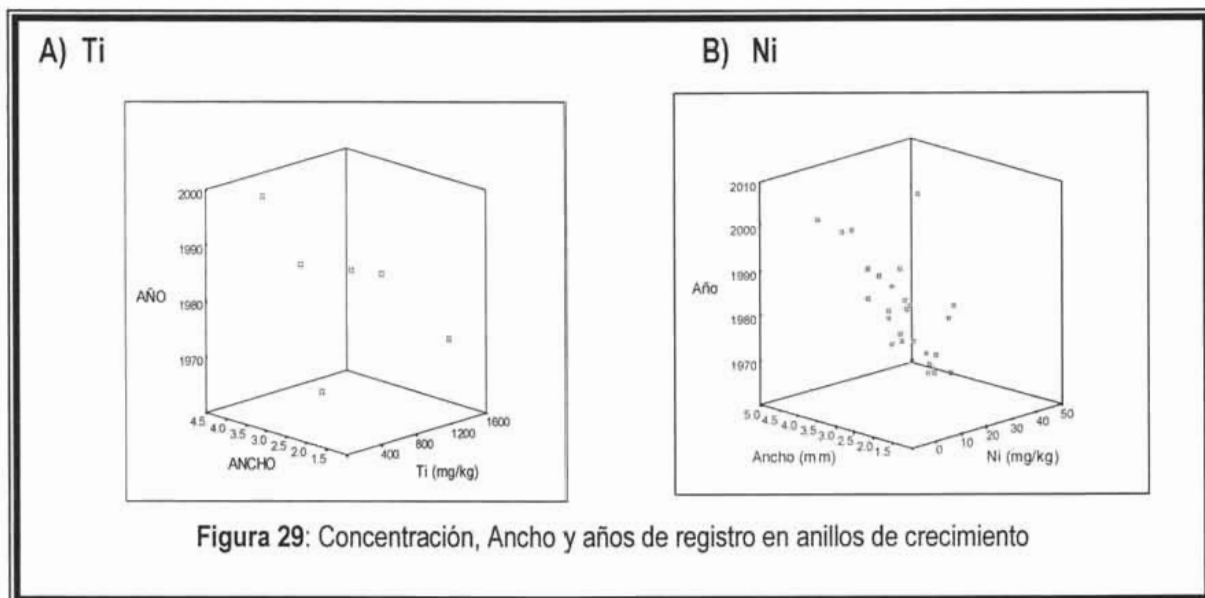


Figura 28: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

10.3.2

Abies religiosa del Desierto de los Leones

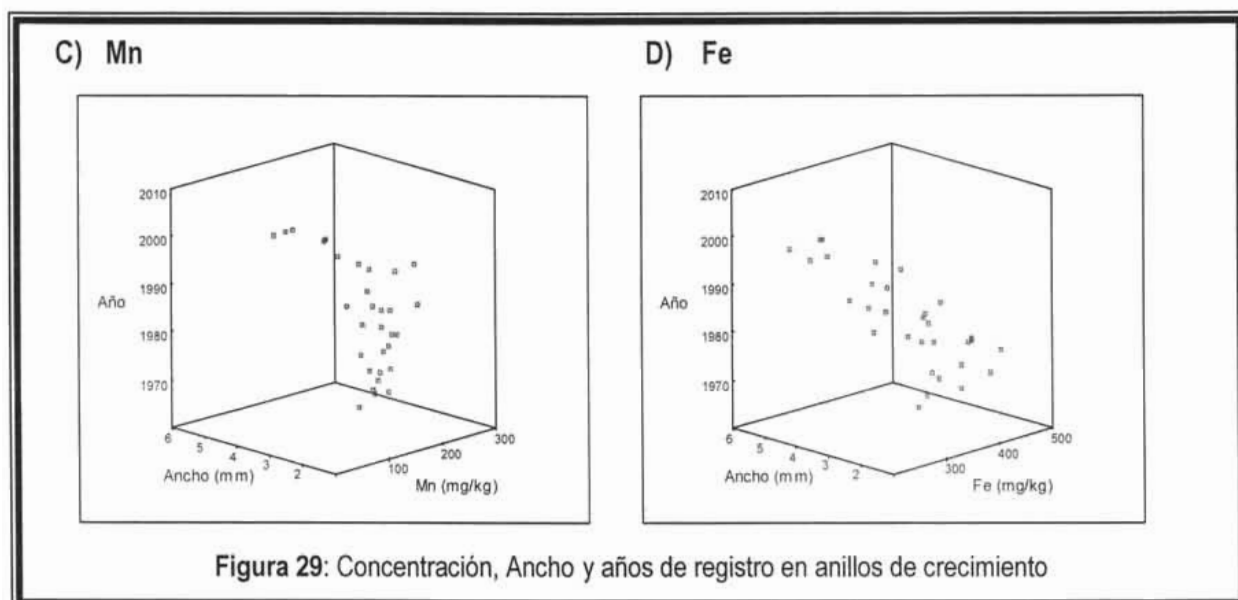
La concentración de **Ti** encontrada varía de 1200 a 1600 mg/kg a partir de los 80 y 90, en anillos con anchuras de 3.5 a 4.5 mm (Figura 29. A). El **Ni** se encontró en concentraciones que varían de 30



hasta 50 mg/kg, de 1960 a el 2000, en anchuras de 3.5 a 5 mm (Figura 29. B).

El **Mn** aumenta de 200 hasta 300 mg/kg, de los 60 a el 2000, reportándose en los anillos que tienen una anchura de 4 hasta 6 mm (Figura 29. C).

Las concentraciones de **Fe** aumentan de 400 hasta 500 mg/kg, en el periodo de 1960 y hasta 1995 reportándose en anillos con anchuras de 4 a 6 mm (Figura 29.D).



Se encontró que en **Cu** las concentraciones varían de 20 a 40 mg/kg a partir de los 60 y hasta los 90 en anchuras son de 4 a 6 mm (Figura 29. E).

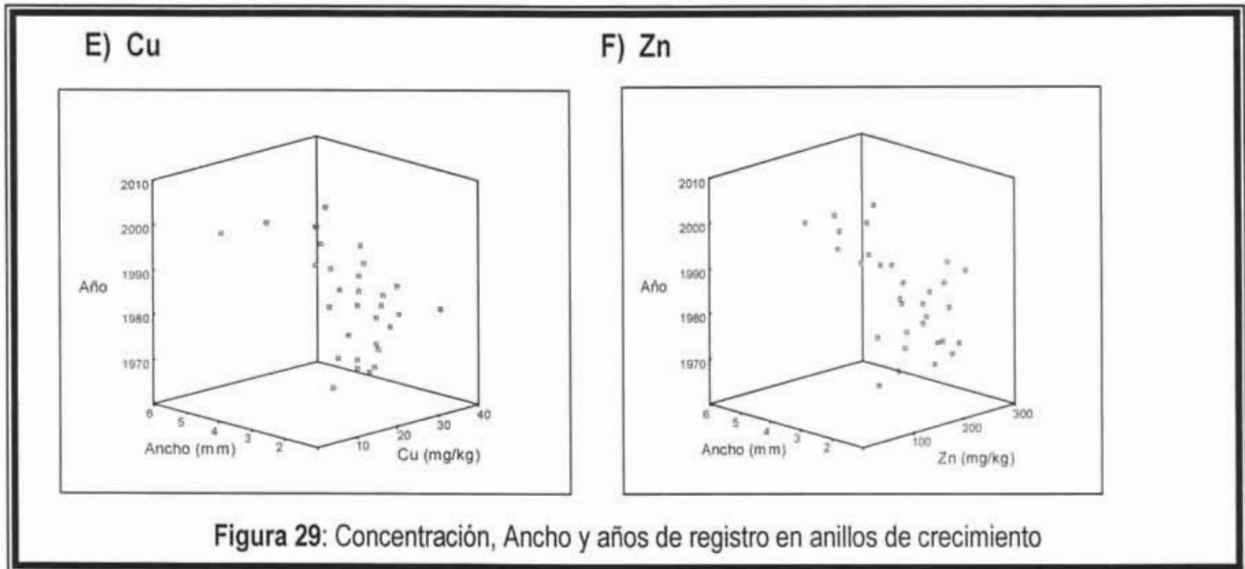


Figura 29: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

El **Zn** reporto concentraciones de 200 a 300 mg/kg en el periodo de 1960 hasta 1995 en las anchuras de los 4 a 6 mm (Figura 29. F).

El **Br** tiene concentraciones de 100 a 200 mg/kg, en 1960 y hasta 1990, en anchuras de 4.5 a 5mm (Figura 29.G).

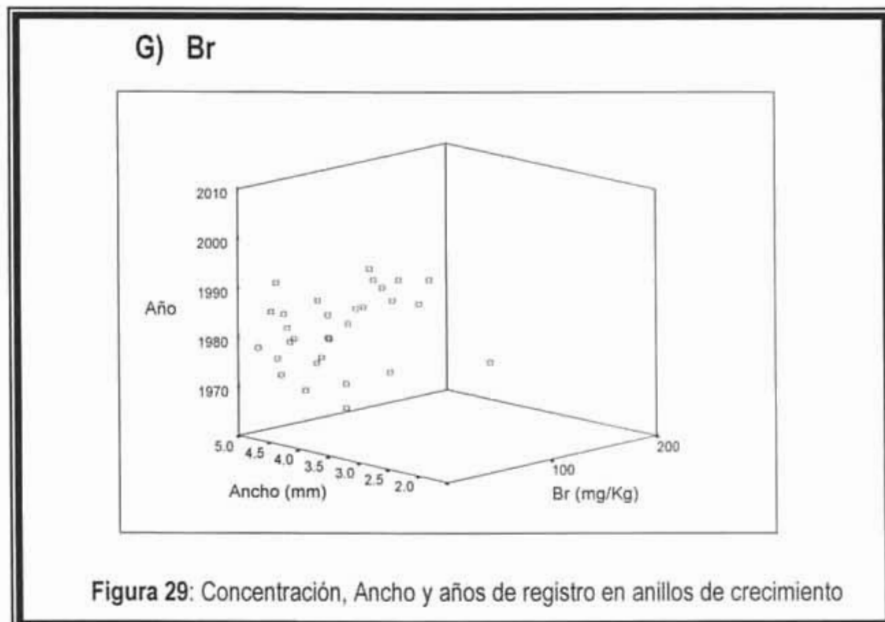
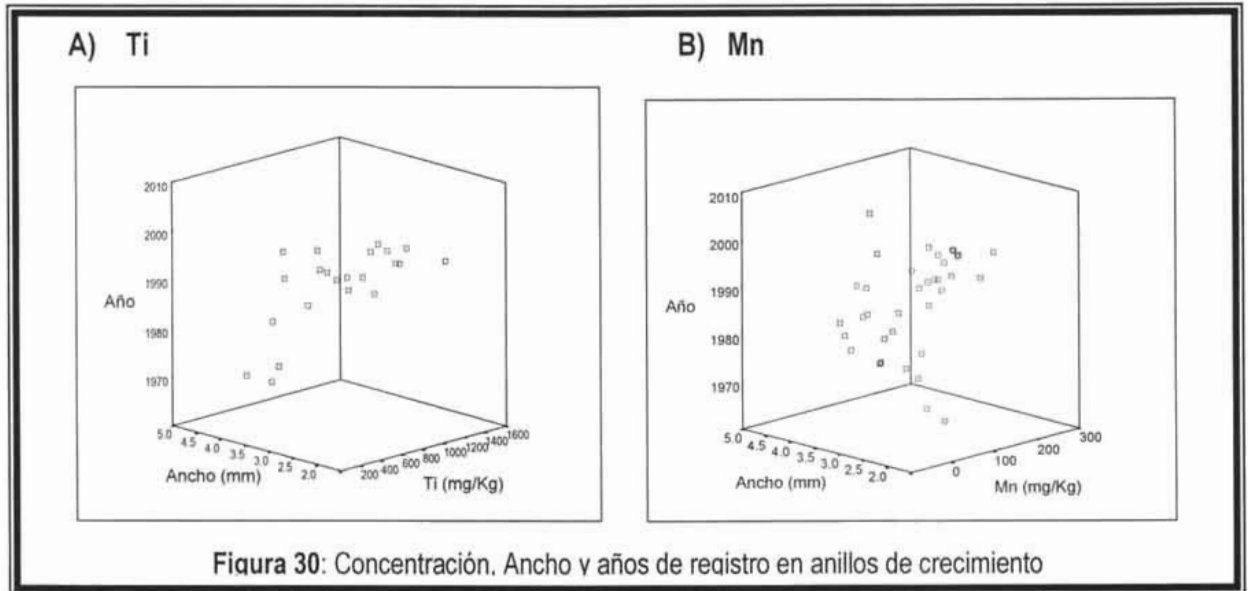


Figura 29: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

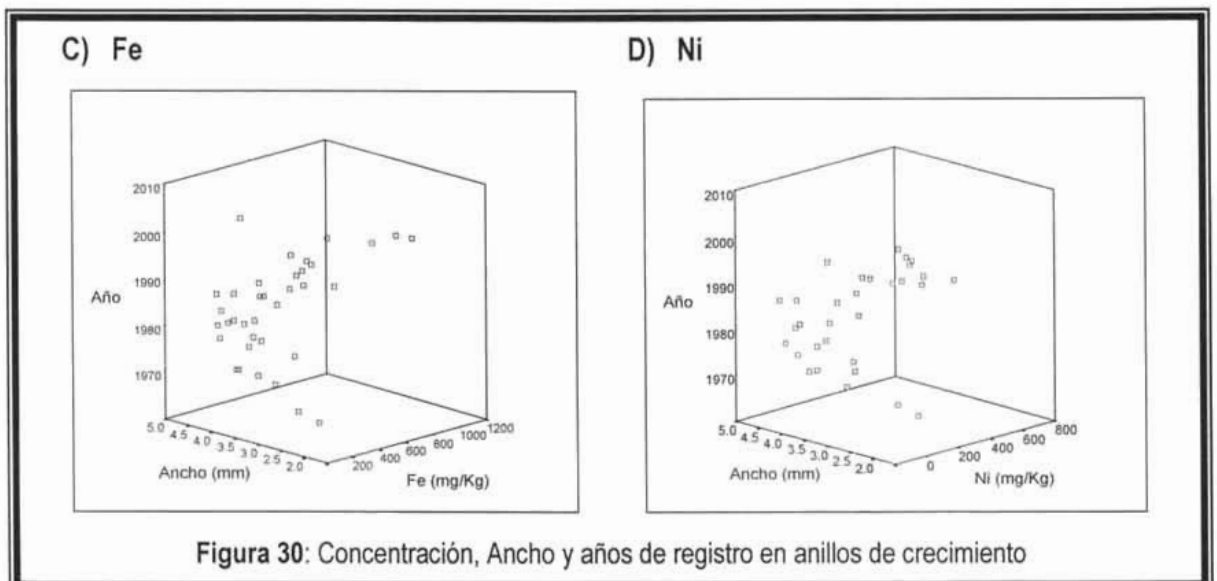
10.3.3. *Pinus patula* en El Chico

El **Ti** tiene concentraciones mayores con un valor de 800 hasta 1600 mg/kg, en los ochenta y hasta 1992 en anchuras de 4 a 5 mm en los anillos (Figura 30.A).

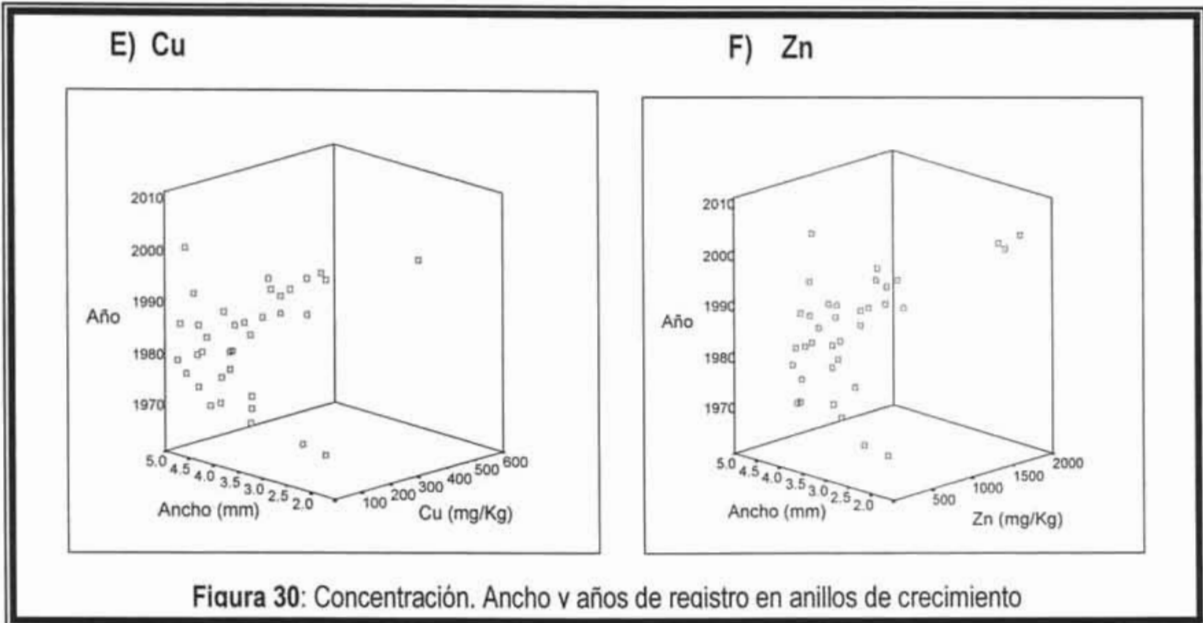


Las concentraciones de **Mn** variaron de 100 y 300 mg/kg, en el periodo de los 70 hasta 1992, en anchuras de 3 hasta 5 mm (Figura 30. B).

Para el **Fe** se reportaron concentraciones de 200 hasta 1200 mg/kg en la época de los 70 hasta el 1995, en anchuras de 3 hasta 5 mm (Figura 30. C). Las concentraciones de **Ni** fueron de 250 a 800 mg/kg, en la época de los 60 hasta los 90, con anchuras de 3 hasta 5 mm (Figura 30. D)

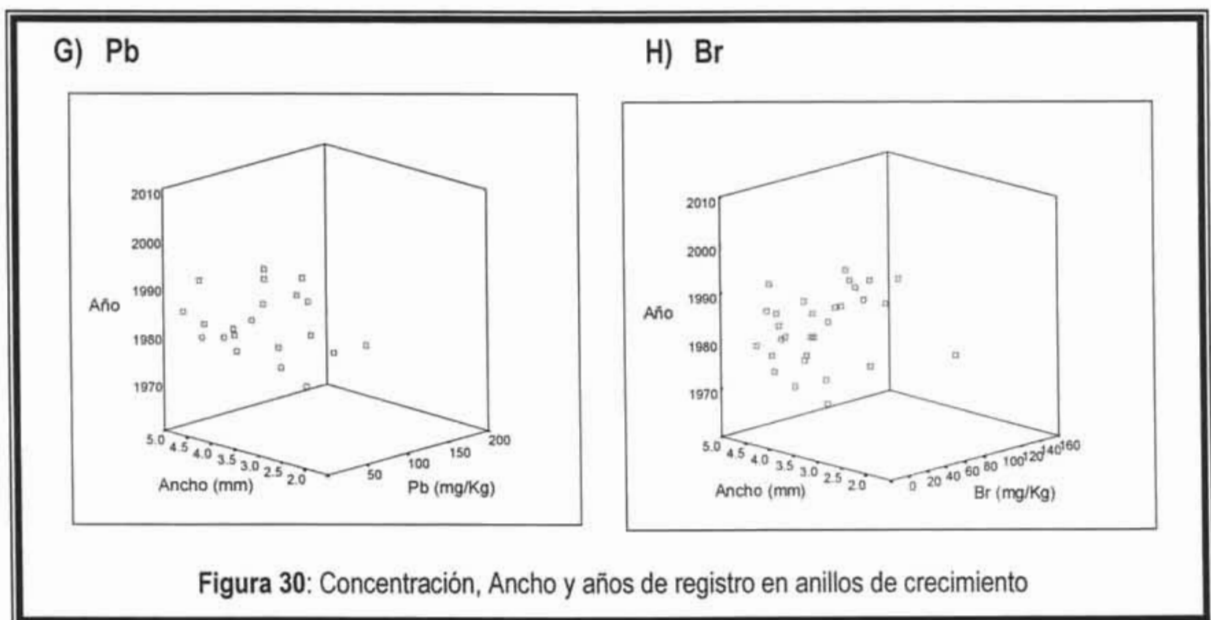


Para el **Cu** las concentraciones variaron de los 100 hasta los 600 mg/kg, en los 60 y hasta los 90, en anchuras de 2.5 a 5mm (Figura 30. E).



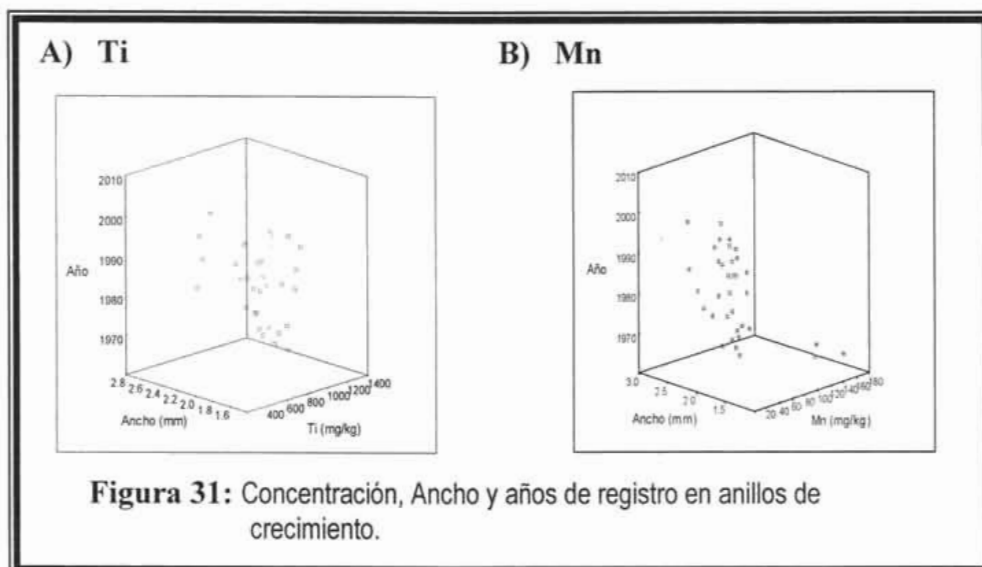
Se concentra el **Zn** en una rango de 500 hasta 2000 mg/kg a partir de los años 60 y hasta los 90, con excepción del año 2000, en anchuras de los 4.5 a 5 mm (Figura 30.F).

Se registró una concentración de **Pb** de 20 a 200 mg/kg desde los años 60 y hasta los 90, en anillos con anchuras de 4 a 5 mm (Figura 30.G).



Para **Br** las concentraciones mayores de 20 a 160 mg/kg fueron de los 70 a los 90 y en anillos con anchuras de 4.5 a 5 mm (Figura 30.H).

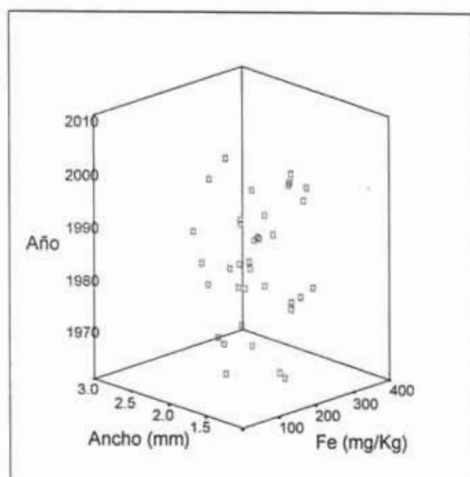
10.3.4. *Pinus montezumae* del Desierto de los Leones



Para el **Ti** se reportó concentraciones de los 1000 a 1400 mg/kg, a partir de los 60 y hasta los 90 principalmente en anillos con anchuras de 2 a 2.8 mm. (Figura 31. A). En el caso de **Mn** las concentraciones tienen un rango entre los 100 y 180 mg/kg de los 60 a los 90, en anchuras de 2.5 a 3 mm principalmente (Figura 31. B).

El **Fe** tuvo concentraciones de 150 hasta 400 mg/kg, a partir de los 60 y hasta 1995 en los anillos con anchuras de 1.6 hasta 3 mm (Figura 31.C). Para **Ni** se encontraron concentraciones de 200 a 1000 mg/kg en la década de los 60 y hasta los 90, la mayoría en anchuras de 2.5 a 3 mm (Figura 31. D).

C) Fe



D) Ni

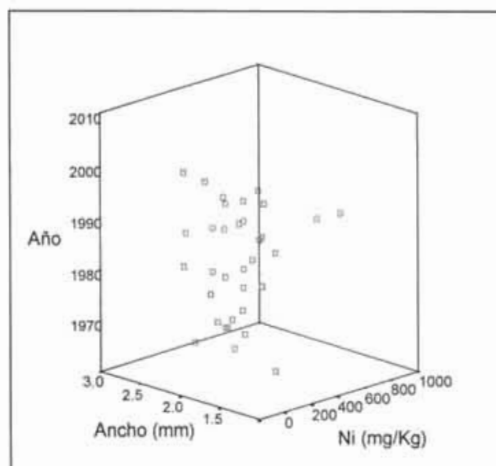
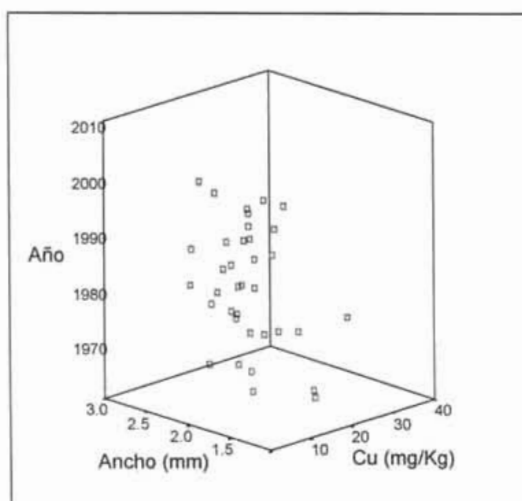


Figura 31: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

El Zn se encontró en concentraciones que van de los 200 hasta 800 mg/kg a partir de los 60 y hasta los 90, en anchuras de 2.1 a 3 mm (Figura 31.F)

La mayor concentración de Cu fue de 10 a 40 mg/kg, encontrándose en el periodo de los 60 y hasta los 90 en anillos con anchuras de 2 a 3 mm y (Figura 31.E).

E) Cu



F) Zn

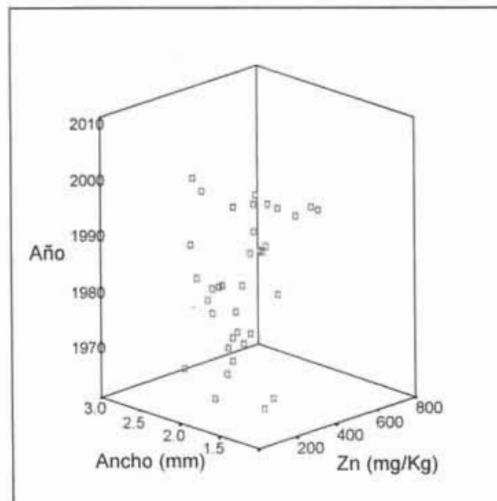


Figura 31: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

Para el **Br** sus concentraciones son de 100 a 300 mg/kg, a partir de los 60 y hasta los 90 en anillo con anchuras de 1.5 a 3 mm (Figura 31. G).

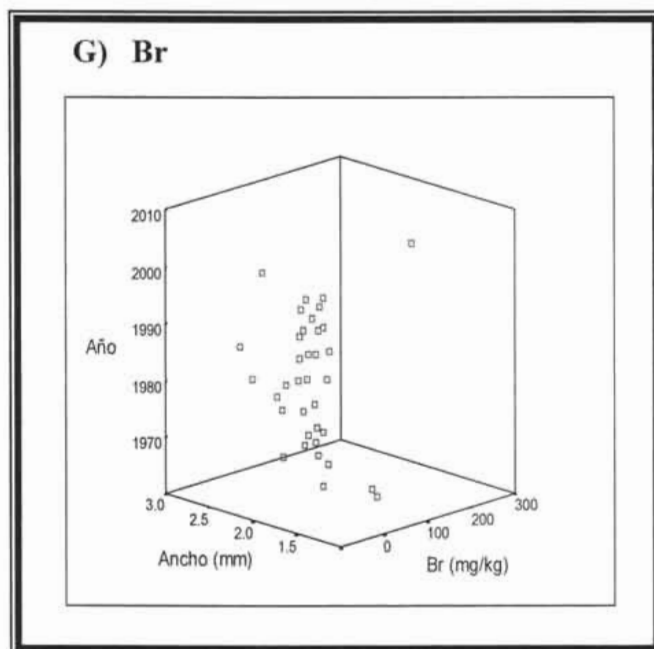
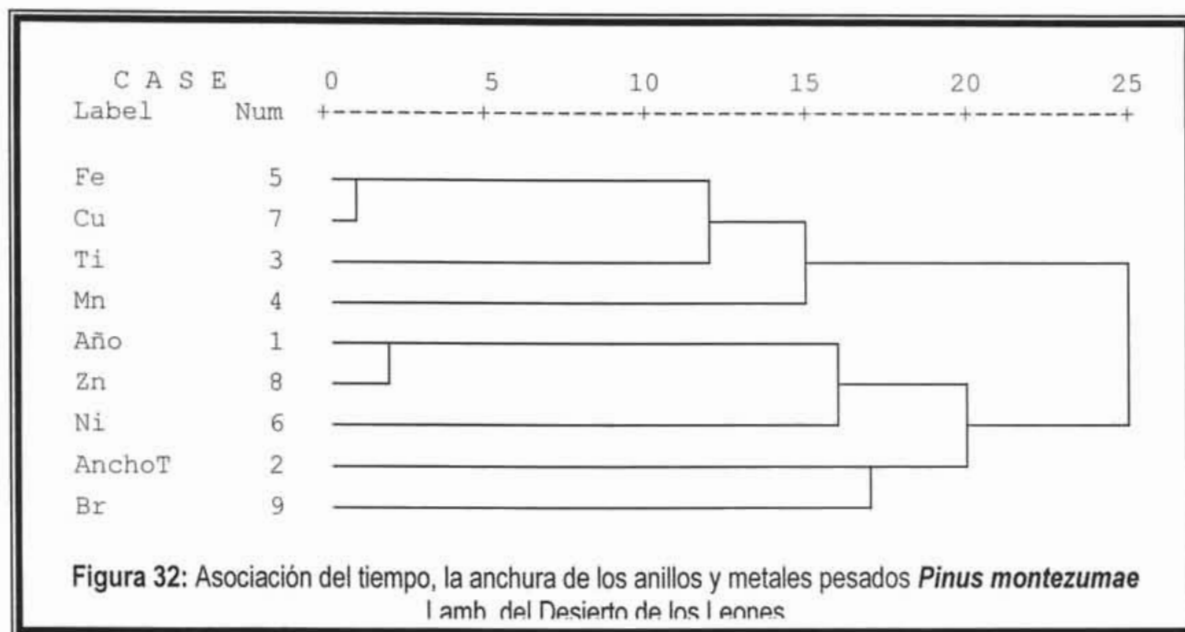


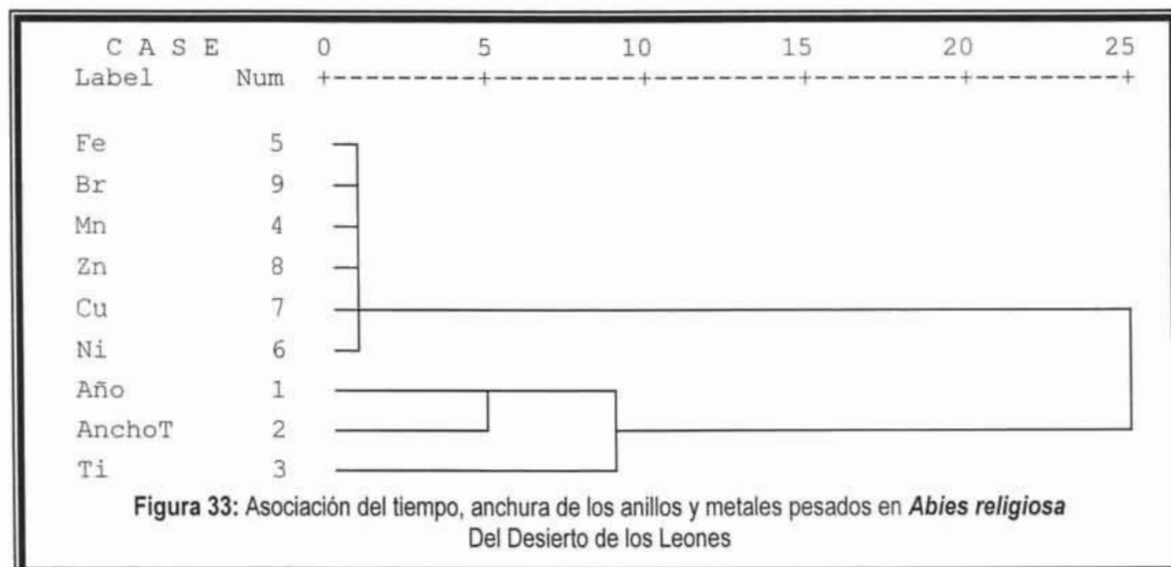
Figura 31: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

En el caso de *P. montezumae* del Desierto de los Leones se puede observar en el Dendrograma (Figura 32) la asociación directa entre el Fe, Cu y Zn con el tiempo, formando cada uno de ellos dos grandes grupos. El primero se asocia después con el Ti y Mn, el segundo con el Ni y la anchura total del anillo y el Br, se une a éste.



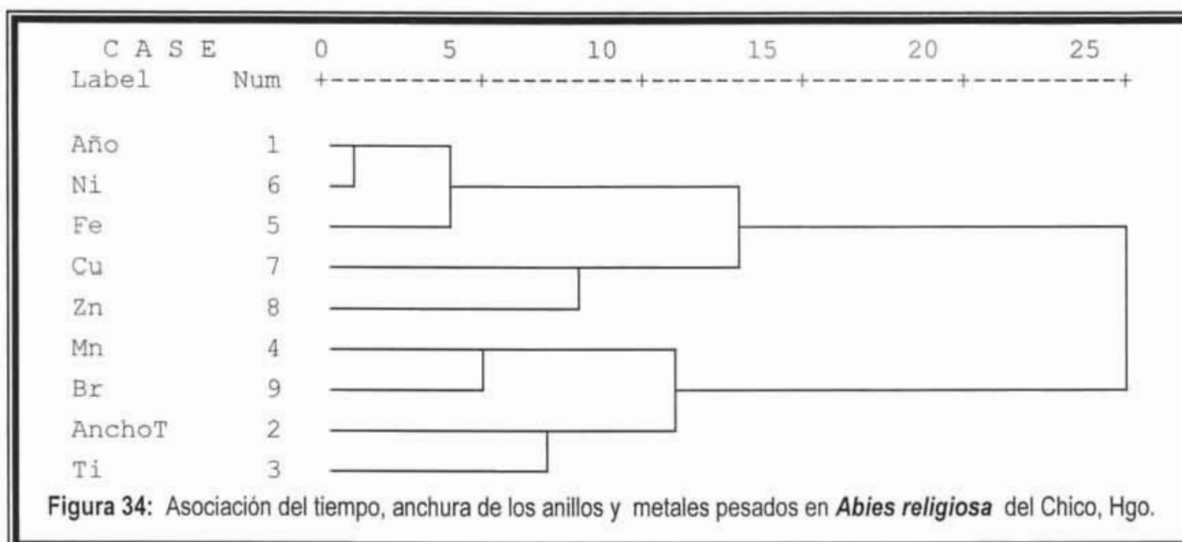
10.4. Asociación del tiempo, anchura y metales pesados.

10.4.1. *Abies religiosa* del Desierto de los Leones En el Dendrograma de la (Figura 33) se puede observar la asociación directamente del Fe, Br, Mn, Zn, Cu y Ni, y el tiempo con la anchura de los anillos y a su vez con el Ti, en *Abies religiosa* del Desierto de los Leones.



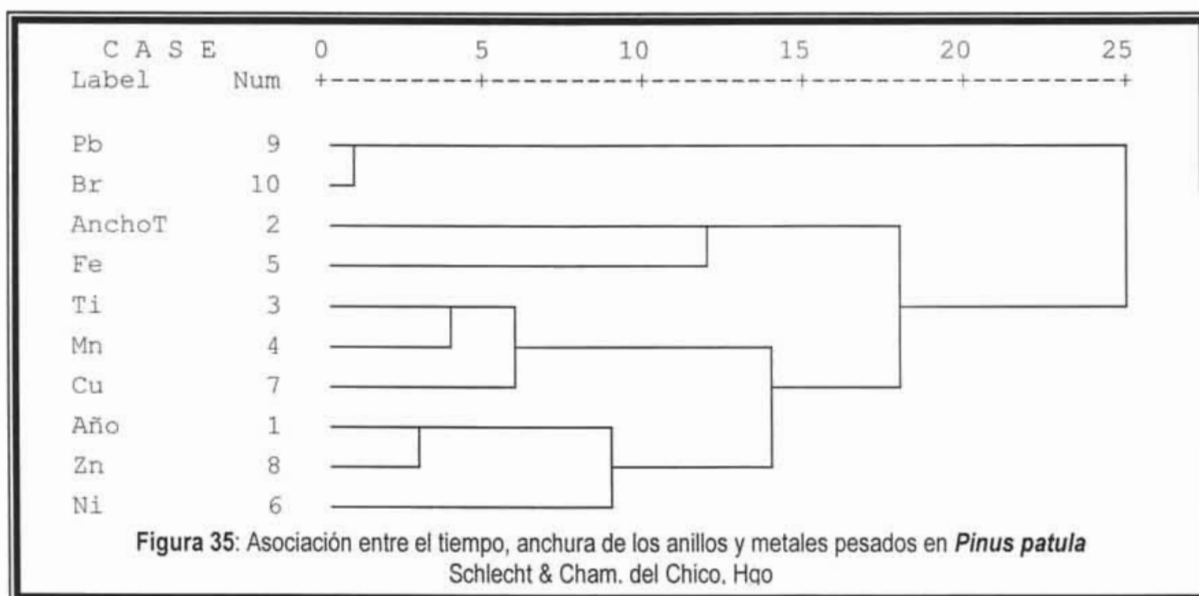
10.4.2. *Abies religiosa* de El Chico Hgo.

En el Dendrograma (Figura 34) se observa una asociación muy cercana entre el Ni y el tiempo, incorporándose a esta misma el Fe, más lejanos al Cu y Zn. Y formando otro grupo el Mn, Br también a su vez la anchura e incorporándose a este y teniendo al Ti como el elemento más lejano, en *Abies religiosa* del Chico, Hgo.



10.4.3. *Pinus patula* de El Chico, Hgo.

En *Pinus patula* Schlecht & Cham. del Chico, Hgo el Dendrograma (Figura 35) nos muestra la



primera asociación entre el Pb y Br, otra entre el tiempo y el Zn incorporándose a ella el Ni, entre Ti y Mn seguida de Cu y por último la anchura de los anillos con el Fe, todas ellas incorporándose a su vez a la primera. En *P. patula* del Chico, Hgo el Dendrograma (Figura 35) nos muestra la primera asociación entre el Pb y Br, otra entre el tiempo y el Zn incorporándose a ella el Ni, entre Ti y Mn seguida de Cu y por último la anchura de los anillos con el Fe, todas ellas incorporándose a su vez a la primera.

10.5. Variación de los metales ligeros y de transición en El Chico y DDLL

10.5.1 *Abies religiosa*

En El CH la mayor cantidad de **K** (Figura 36) registrada en *Abies religiosa* fue en 1972 - 1979 con 16000 y 17000 mg/kg, y las concentraciones menores fueron en 1968 - 2002. Según Tisdale *et al.* (1985) este elemento es absorbido de la solución del suelo como ion potasio K. Mientras que en el DDLL el **K** (Figura 36) registrado fue en 1971 - 2000 con 22000 y 25000 mg/kg, y la concentración menor fue en 1989 con 3000 mg/kg de este elemento que en ambas zonas según Reimann (1998) se encuentra en el rango permisible para el árbol (Cuadro II).

El valor máximo de **Ca** reportado en El CH (Figura 36) fue de 20000 mg/kg en 1970 y a partir de ese año ha ido disminuyendo, permaneciendo constante en 1998 hasta el 2001 con una concentración de 4500 mg/kg, siendo estos mismos los valores más bajos de este elemento. Tisdale *et al.* (1985) dijeron que este elemento es absorbido en forma de ion Ca^{2+} , y es abundante en las hojas, se encuentra libre como Ca^{2+} en la savia celular, también está asociado como un elemento inmóvil.

Para el caso del DDLL los niveles de **Ca** para esta zona (Figura 36) son bajos comparándolos con los del CH, ya que el valor máximo registrado fue en 1970 con 13000 mg/kg y el más bajo es de 3000 mg/kg en 1971. Ver los niveles permisibles para **Ca** en Reimann (1998), (Cuadro II).

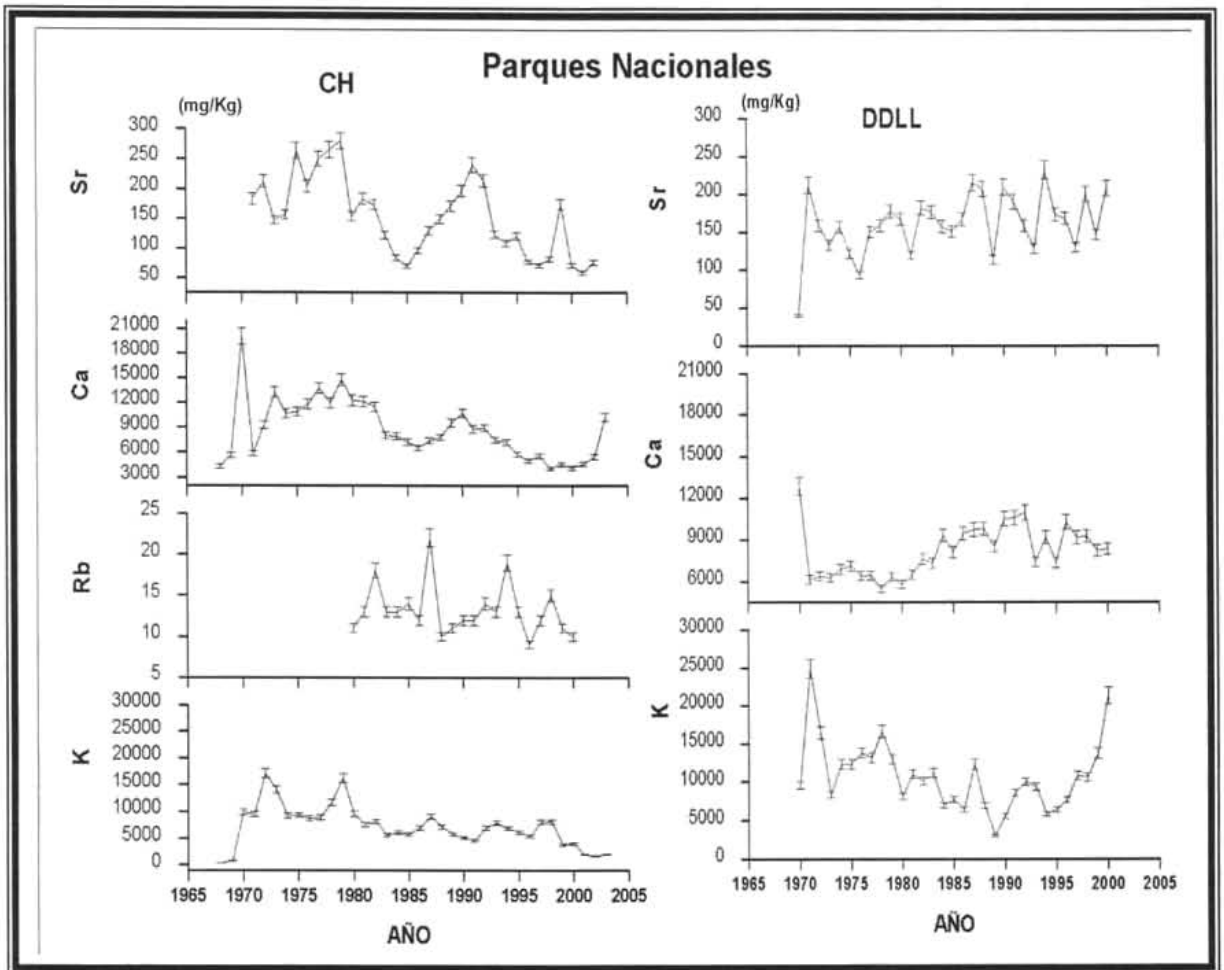


Figura 36: Comparación de los metales ligeros registrados en *Abies religiosa* en los Parques Nacionales Desierto de los Leones (DDLL) y El Chico, Hgo. (CH).

El **Rb** en El CH reporta altas concentraciones en 1987, 1993, 1982 y 1998 con los valores 15, 18, 19 y 21 mg/kg, y a partir de 1999 ha ido disminuyendo encontrándose así una concentración de 9 mg/kg en el año de 1996. Mientras que Reimann (1998) reporta en el (Cuadro II, pag. 48). El **Rb** sólo se encontró en el CH con un valor máximo de 24 mg/kg en 1996 y un mínimo en 1990, con una concentración de 2 mg/kg, (Cuadro II, pag. 48).

Para El CH la concentración de **Sr** reportó su valor máximo en 1970 con 100 mg/kg y su valor mínimo en 1995 con 15 mg/kg, mientras que los otros valores se encuentran entre 50 y 70 mg/kg. Reimann (1998) reportó un rango de 300 a 9600 mg/kg (Cuadro II, pag. 48).

En El CH el **Sr** reporta una alta concentración de 280 y 250 mg/kg en 1980 y 1991 y una baja en 1985 y el 2001 con un valor de 60 y 70 mg/kg. (Reimann, 1998). La concentración más alta de **Sr** registrada en el DDLL es de 210 y 230 mg/kg en 1988 y 1995 mientras que la mas baja fue en 1970 con un valor de 40 mg/kg. Y de acuerdo con Reimann (1998) estas concentraciones se encuentran en los niveles permisibles.

10.5.2 *P. patula* y *P. montezumae*

El **K** en El CH (Figura 37) registró en *P. montezumae* y *P. patula* concentraciones de 4900 y 5000 mg/kg en 1997 y 1999, concentraciones bajas 1 mg/kg en 1969 y el 2003. Pero de acuerdo con Reimann (1998) estos valores se encuentran por debajo de lo propuesto en el (Cuadro II, pag 48). Para el DDLL la concentración de **K** (Figura 37) que se encuentra en el rango propuesto por Reimann (1998). Ya que es de 35000 mg/kg en 1968, disminuyendo considerablemente en 1970 hasta 1980 con una concentración de 100 mg/kg. Y para El CH, alcanzó 4900 mg/kg en 1977 y 1999 registrándose niveles bajos en 1969 y el 2001.

Para El CH (Figura 37) la concentración máxima de **Ca** es de 10000 mg/kg se registró en 1975, siendo constantes sus concentraciones de 5000 mg/kg en 1977 hasta 1994, y las bajas se registraron en 1968 y el 2000 con un valor de 500 mg/kg. El **Ca** en el DDLL (Figura 37) registró una concentración alta de 99000 mg/kg en 1984 y la más baja en 1968 con un valor de 4000 mg/kg. De acuerdo con Reimann (1998), en el (Cuadro II).

Para **V** los valores detectados son bajos y alcanzan hasta 8000 mg/kg reportándose este valor máximo en 1985 considerado altamente tóxico para el árbol ya que rebasa el nivel permisible de este, según Reimann (1998).

El **Rb** en El CH se encontró a partir de los años 80, alcanzando su nivel más alto en 1995 con 24 mg/kg. El **Sr** en El CH se registró a partir de los años 70, disminuyendo considerablemente en 1995 y teniendo su valor máximo en 1970 con 119 mg/kg. Para el DDLL el valor máximo registrado fue de 100 mg/kg en 1966, disminuyendo hasta el 2000.

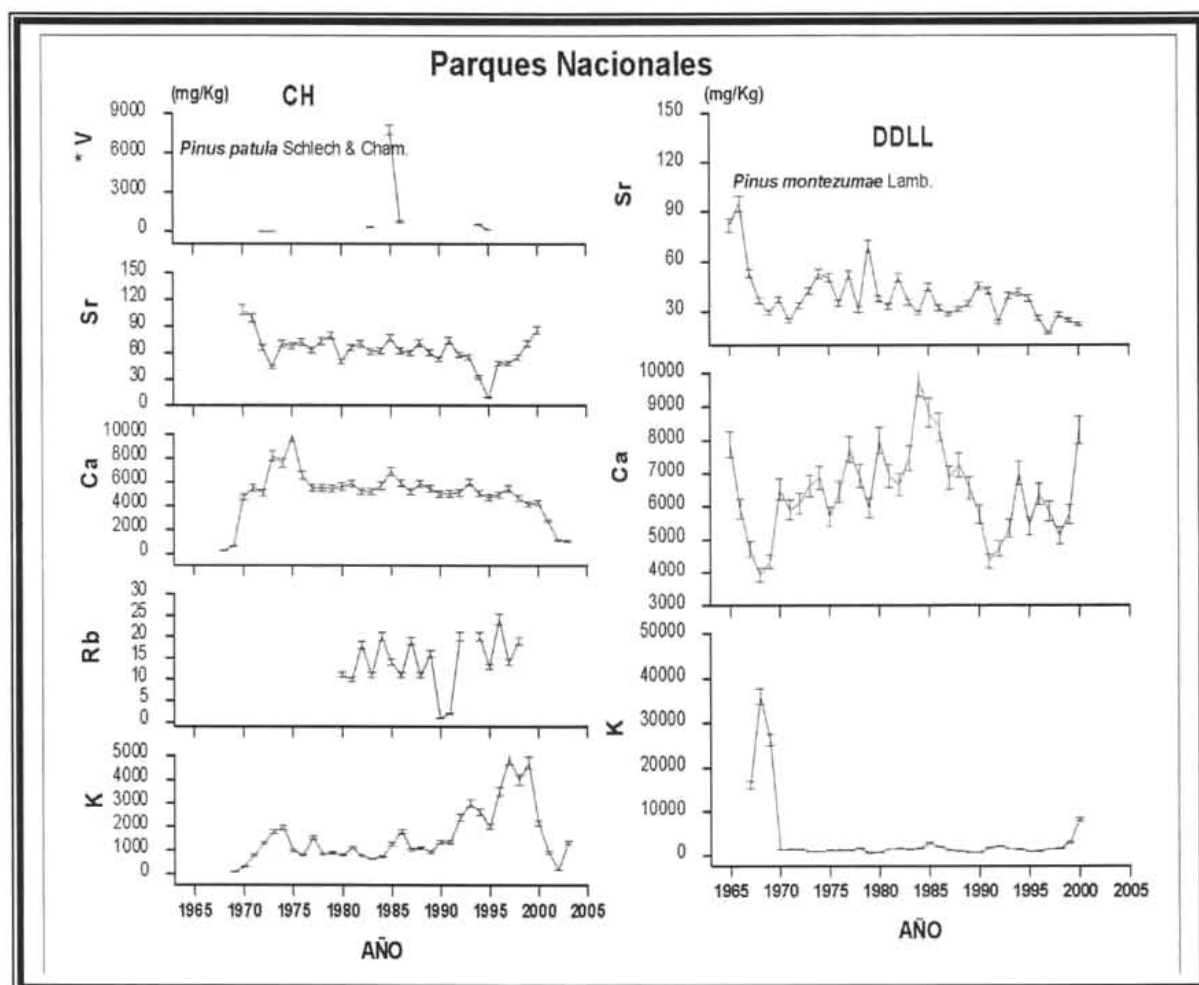
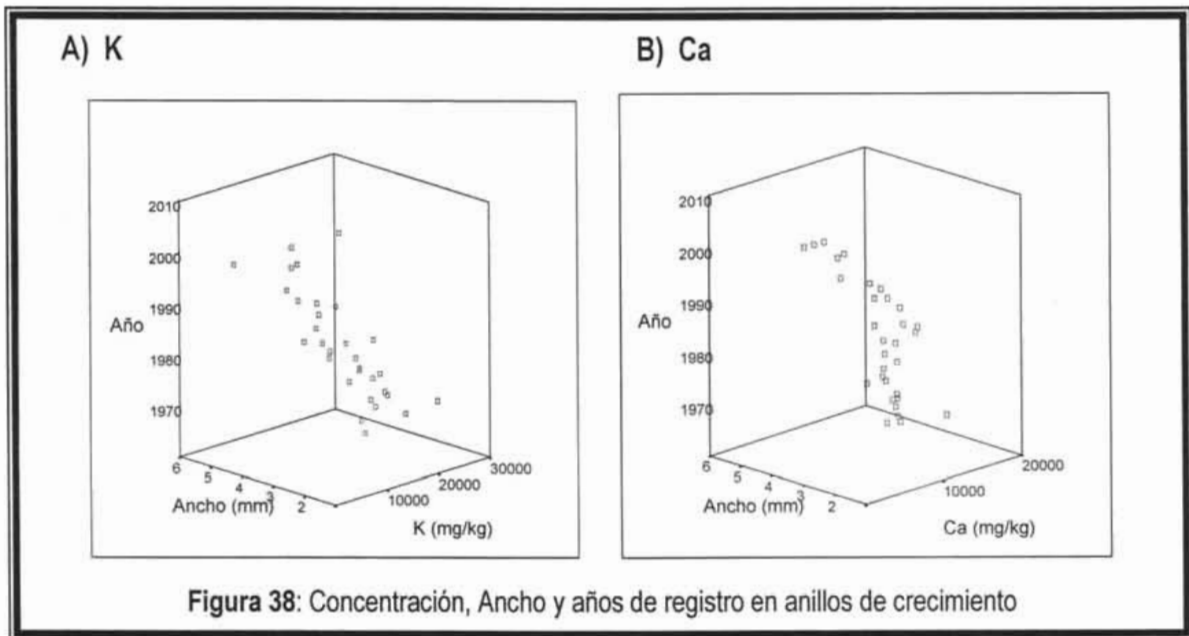


Figura 37: Comparación de los metales ligeros y de transición registrados en *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus patula* Schlecht &. de los Parques Nacionales Desierto de los Leones (DDLL) y el Chico, Hgo. (CH).

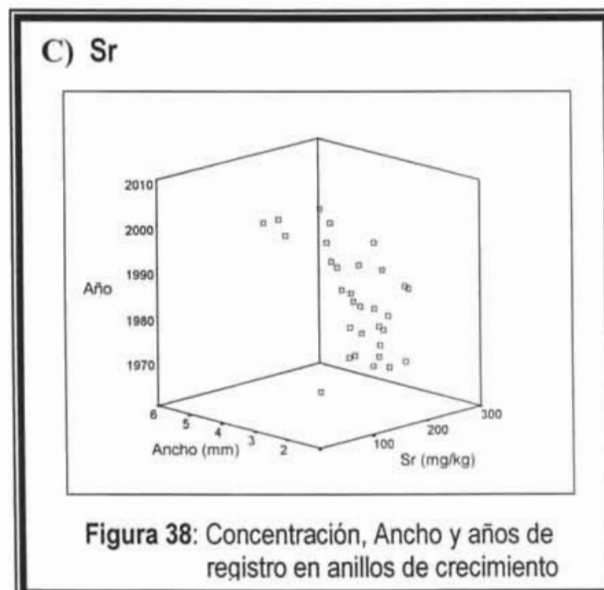
10.5. Asociación y Agrupación de los metales ligeros y de transición.

10.5.1. *Abies religiosa* del Desierto de los Leones.

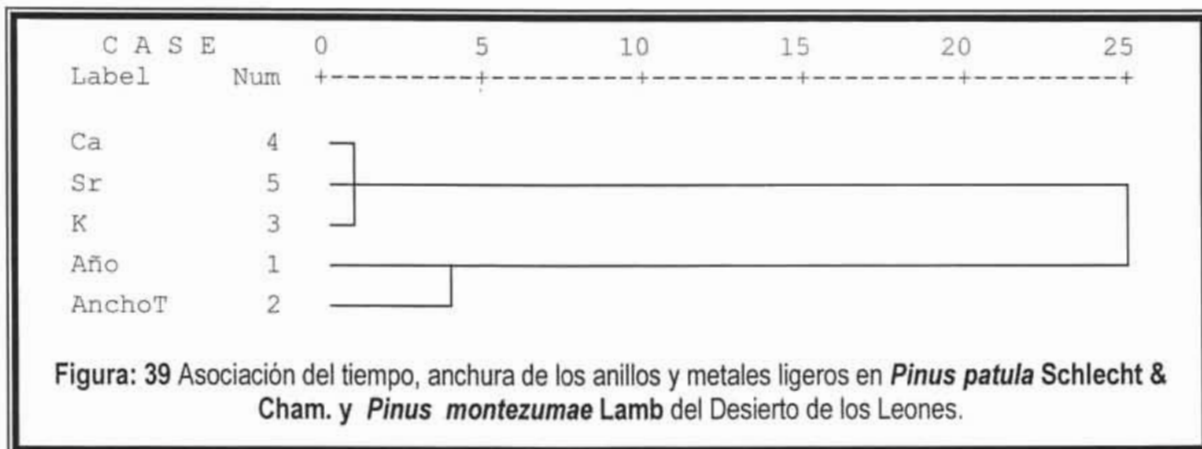
Las concentraciones para **K** variaron de los 25000 a 30000 mg/kg, a partir de 1960 hasta el 2000, encontrándose en anillos con anchuras de 4 a 6 mm (Figura 38.A). En **Ca** se tuvieron concentraciones de valores que van de 18000 hasta 20000 mg/kg, a partir de los 60 hasta 1996, en anillos con anchuras de 4 a 6 mm (Figura 38.B).



El **Sr** registrado tuvo concentraciones de 200 a 300 mg/kg, a partir de los 60 hasta el 2000 en anillos con anchuras de 4 a 6 mm (Figura 38.C).



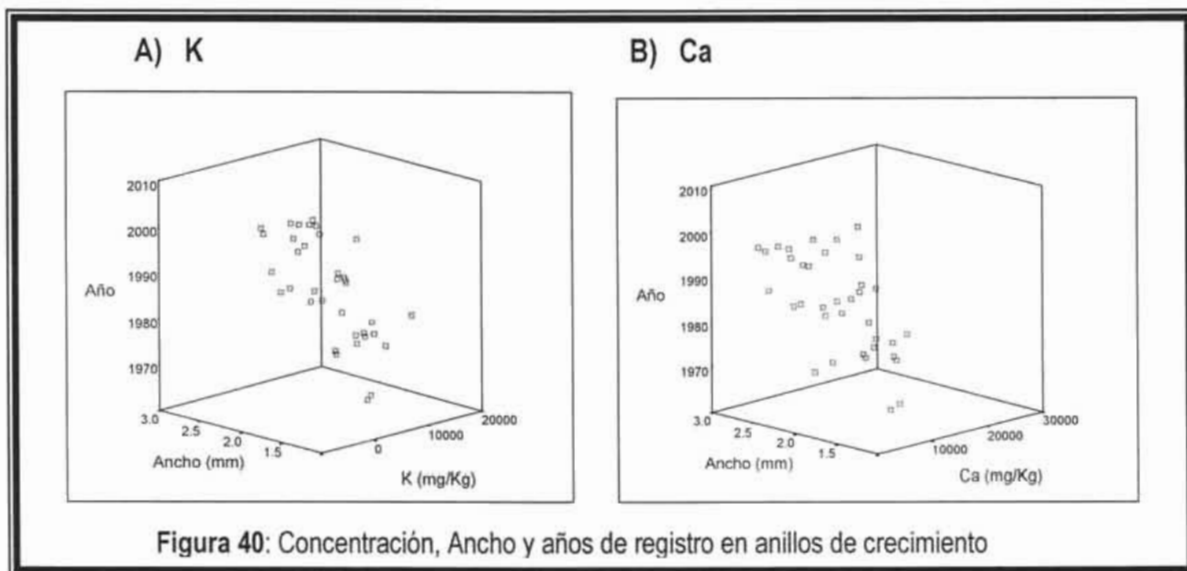
El Dendrograma (Figura 39) muestra que la principal asociación es entre los elementos Sr, K, Ca, y que el tiempo esta directamente asociado con el ancho de los anillos en *Abies religiosa* del Desierto de los Leones.



10.5.2. *Abies religiosa* del Chico, Hgo.

Las concentraciones de **K** variaron de 10000 hasta 20000 mg/kg, a partir de 1963 y hasta el año 2000 en anchuras de 1.5 a 3 mm de diámetro (Figura 40 A).

El **Ca** reportó concentraciones de 12000 hasta 30000 mg/kg a partir de 1962 hasta 1995 en anillos con anchuras de 1.5 a 3 mm y (Figura 40.B).



Para el **Rb** las concentraciones se encuentran entre los 26 y 24 mg/kg en los 60 y 90 principalmente en anchuras de 2.4 a 3 mm (Figura 40. C). El **Sr** reporto concentraciones de 200 a 300 mg/kg de los 60 a 90, en anchuras de 1.8 hasta 3 mm (Figura 40. D).

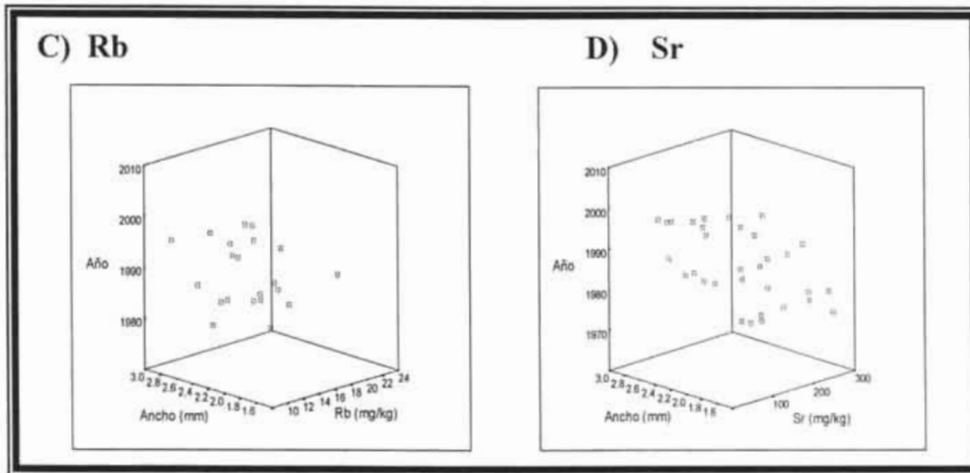
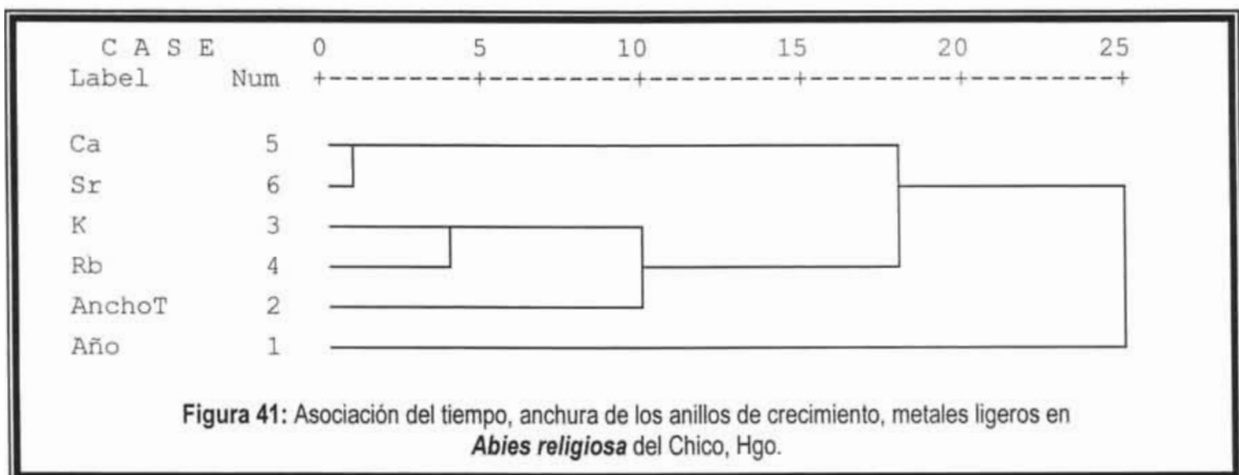


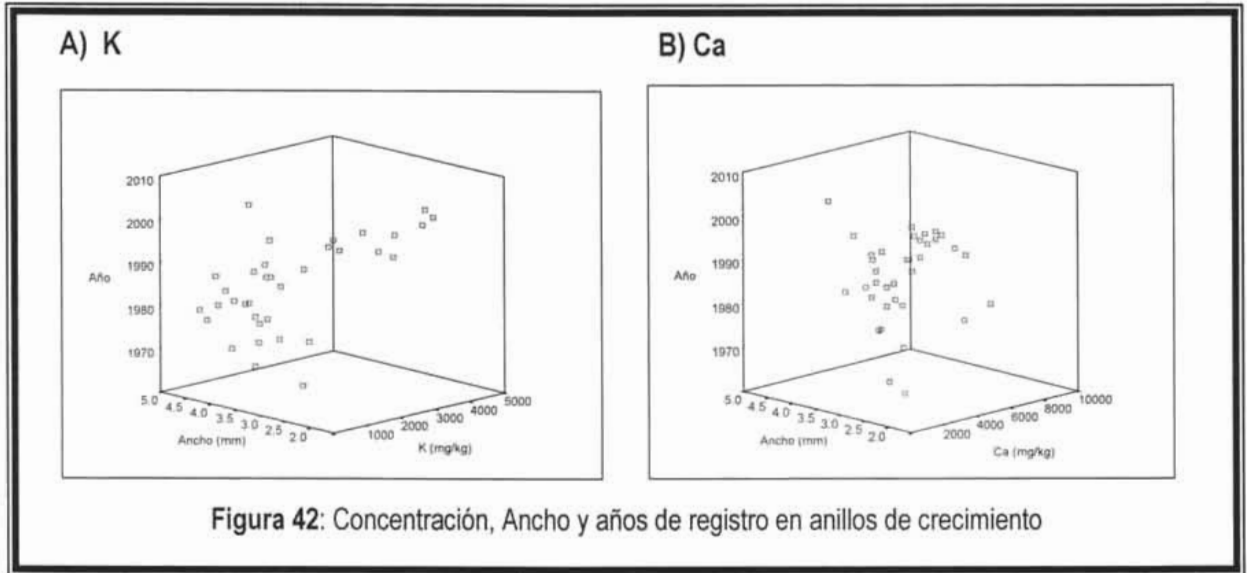
Figura 40: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

En el Dendrograma (Figura 41) observamos la asociación entre el Ca, Sr y entre el K y Rb uniéndose a ellos la anchura de los anillos, así que el tiempo es el elemento más alejado de estas asociaciones, en *Abies religiosa* del Chico, Hgo.



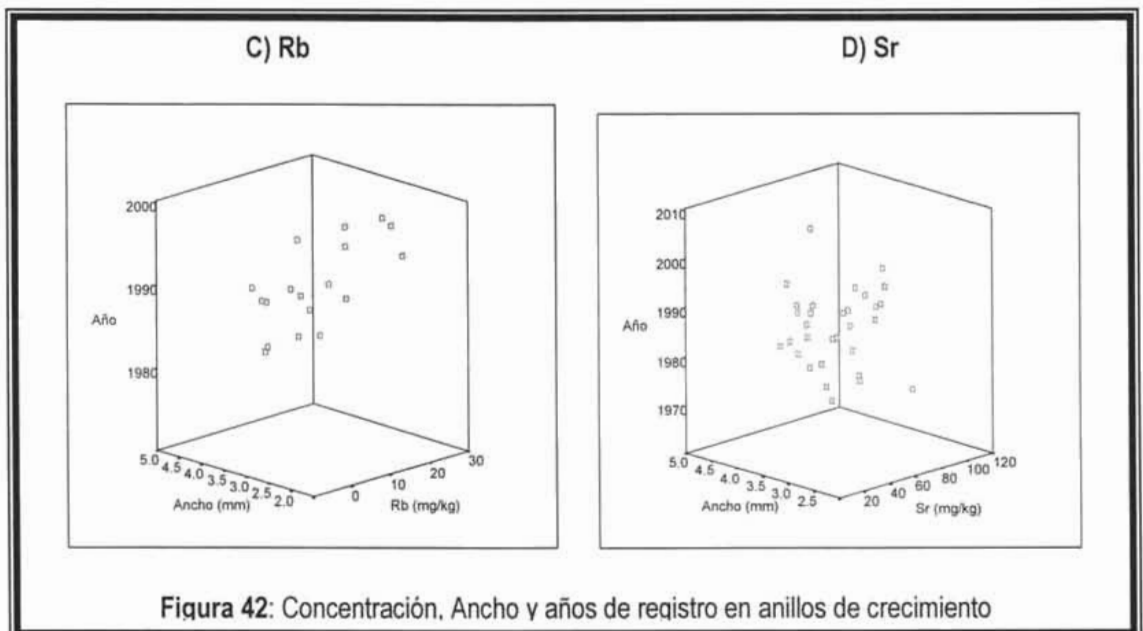
10.5.2 *P. patula* del Chico, Hgo.

Al observar el **K** sus concentraciones variaron de 1000 hasta 5000 mg/kg y a partir de los 70 hasta el 2004, las anchuras en los anillos son de 4.5 a 5 mm, pero existen excepciones como 2.5 y 4 mm (Figura 42. A).



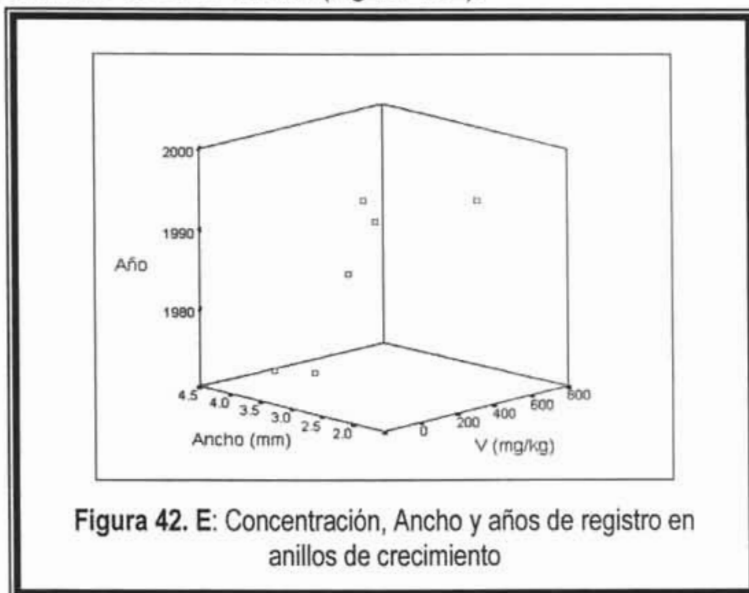
El **Ca** registró concentraciones de 2500 a 10000 mg/kg principalmente en los 70, 80 y 90 en anillos con anchuras de los 3.5 a 5mm (Figura 42. B).

En el **Rb** las concentraciones son de 20 a 30 mg/kg, en los 80 y hasta 1995 en anillos con

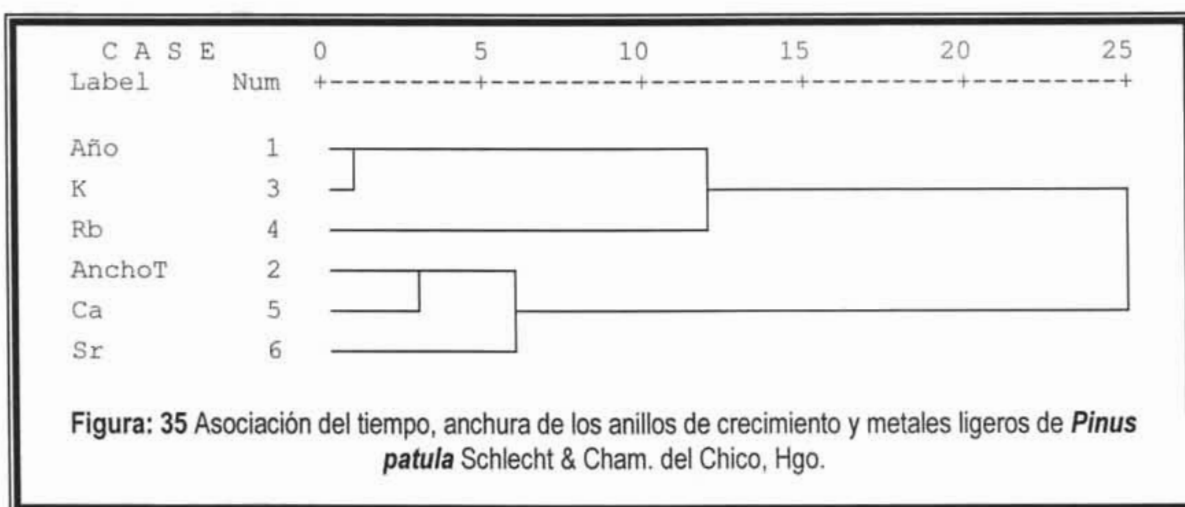


anchuras de 4 hasta 5 mm (Figura 42. C). En **Sr** se encontraron concentraciones de 80 hasta 120 mg/kg, a partir de 1970 al 2000, en anchuras de los anillos de 4 a 5 mm (Figura 42. D).

El **V** encontrado es muy poco y se reportó principalmente en concentraciones de 200 y 600 mg/kg, en los 90, en anillos con anchuras de 3.5 a 4.4 mm (Figura 42.E).



Pinus patula Schlecht & Cham. del Chico, Hgo. observamos en el Dendrograma (Figura 43) que la asociación principal es entre el tiempo y K, incorporándose el Rb después y continuando con el Ca y la anchura de los anillos, asociándose el Sr directamente con ellos.



10.5.2. *Pinus montezumae* del Desierto de los Leones.

Las concentraciones de **K** son de los 6000 a 10000 mg/kg de este elemento, a partir de los 60 y hasta 1990, en anillos con anchuras entre 2.4 y 2.8 mm (Figura 36.A). Las concentraciones para **Ca** son de 7000 hasta 10000 mg/kg, en los 60 y hasta los 90, en anchuras de 2.5 a 3 mm (Figura 36. B).

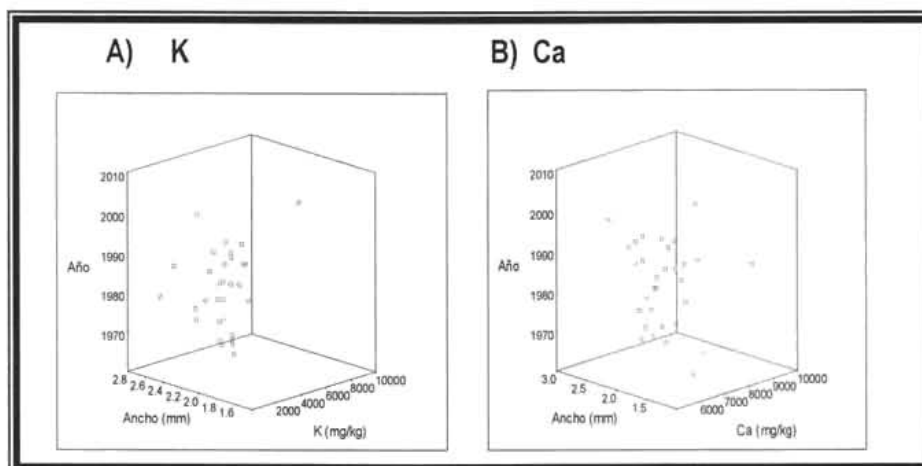


Figura 43: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

El **Sr** tiene concentraciones de 60 a 100 mg/kg, en los 60 y 90, en anillos con anchuras de los 2 a 3 mm (Figura 43. C).

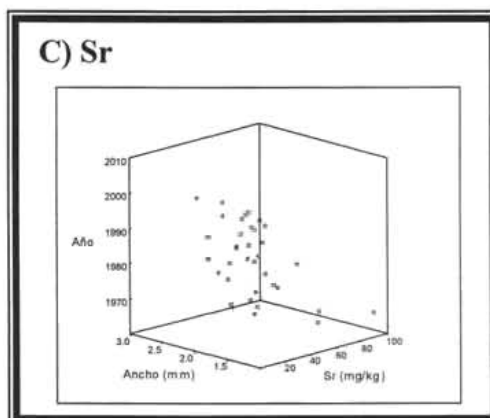
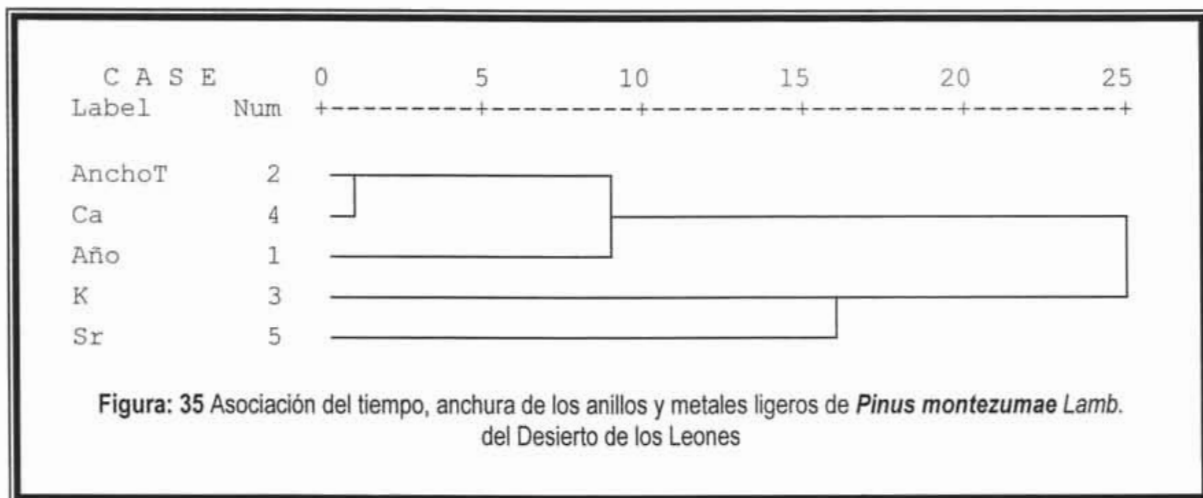


Figura 43: Concentración, Ancho y años de registro en anillos de crecimiento

En *P. montezumae* del Desierto de los Leones el Dendrograma (Figura 37) nos muestra una de las asociaciones entre el Ca y la anchura y a su vez entre el tiempo, mientras que K y Sr se consideran como los elementos más alejados de este grupo.



10.6 Concentración elemental de los metales pesados en primavera y verano

10.6.1 *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* del DDLL y El CH.

El valor máximo encontrado es en el DDLL en *Abies religiosa* y en primavera con un valor de 6500 $\mu\text{g/g}$ de Ti, y el valor mínimo o no detectable lo tiene el CH en *P. patula* y solo en el (DDLL-Pino-Ver), (DDLL-Oya-Ver) la dispersión es homogénea.

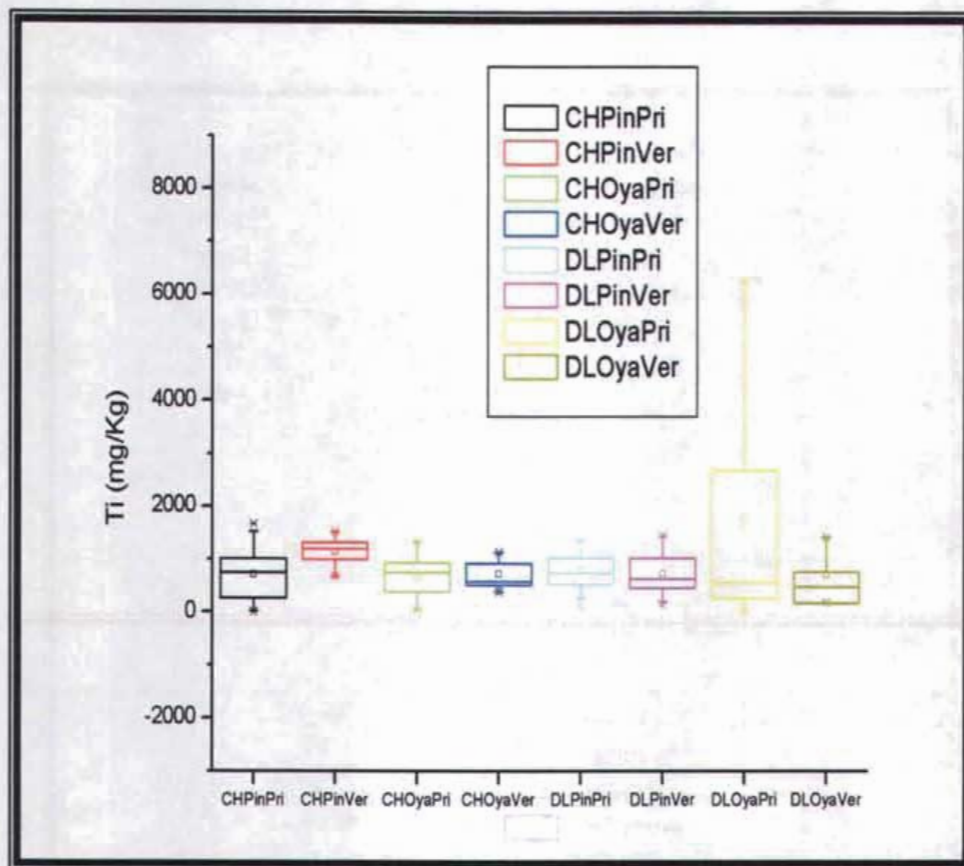


Figura 36: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

Se hace hincapié en la poca variación que hay entre las magnitudes correspondientes a la media y a los extremos, por ello, permiten aplicar diferentes técnicas estadísticas como es el caso de los cluster y de los análisis de varianza. También es posible observar, que salvo excepción el oyamel correspondiente a la primavera del El Chico, quien observa alta dispersión, a diferencia del resto de los datos.

- Mn en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH.

En estas cajas podemos observar que el tamaño de las del DDLL en *P. montezumae* y durante el periodo de primavera y verano es muy pequeño comparadas con las otras y el valor máximo registrado es en El CH con la especie de *Abies religiosa*, en primavera, con un valor de 400mg/kg de éste y valores mínimos no detectables en casi la mayoría, teniendo una dispersión homogénea el (CH – Pin- Pri), (CH-Oya-Pri), (DDLL-Oya-Pri).

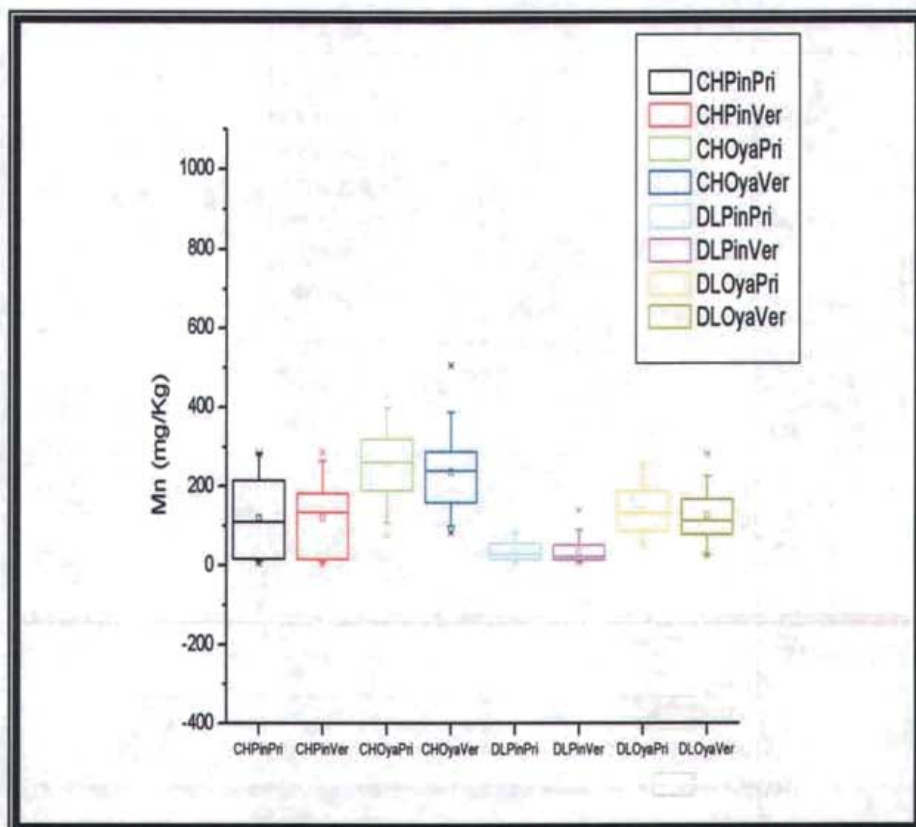


Figura 37: Comparación de la distribución elemental (Mn) en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- Fe en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH.

Podemos observar que en El CH *Abies religiosa* en primavera y verano reportan los valores máximos comparados con la otra zona y especie, valor máximo 900 mg/kg, para el caso de estos su dispersión es homogénea al igual que en el (CH-Pin-Pri y Ver) y en el (DDLL-Oya-Pri).

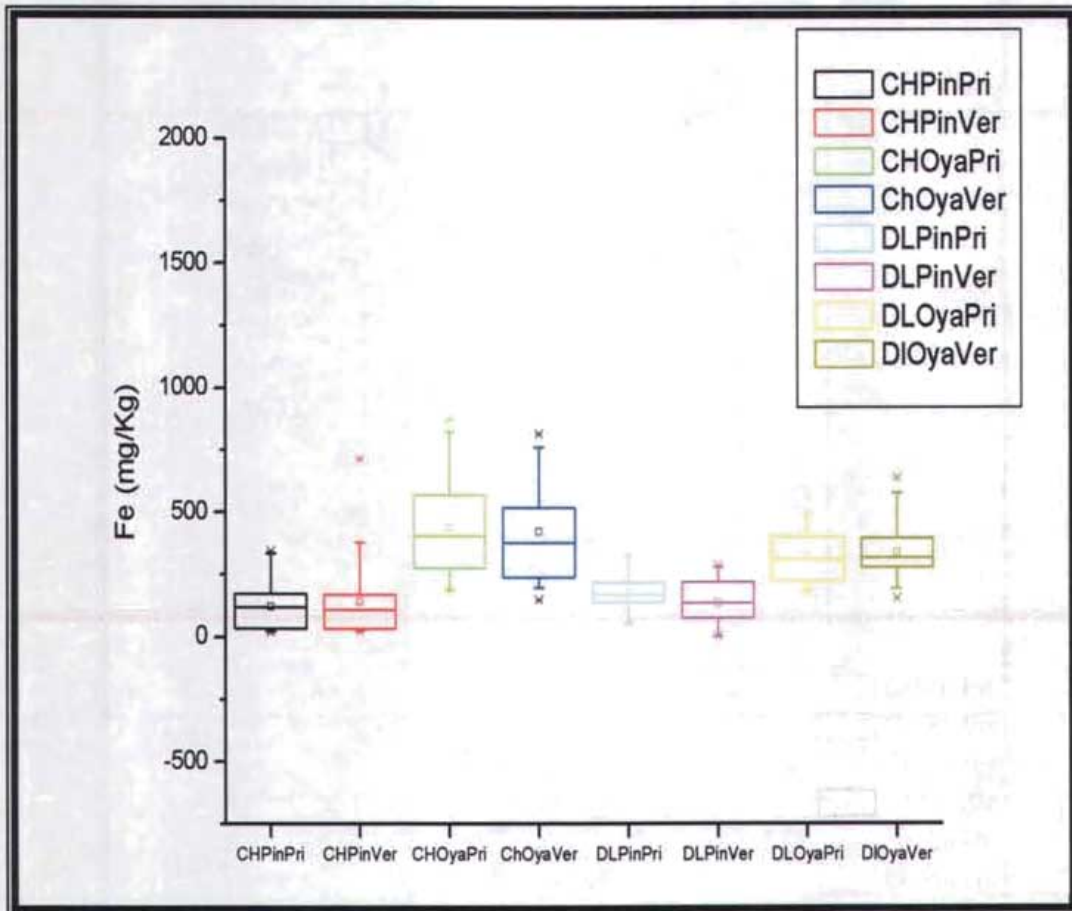


Figura 38: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

- Ni en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* en el DDLL y el CH.

La dispersión en las concentraciones de este elemento es muy baja, excepto en el caso del CH en *P. patula* en primavera y en el DDLL en *P. montezumae* en primavera y verano.

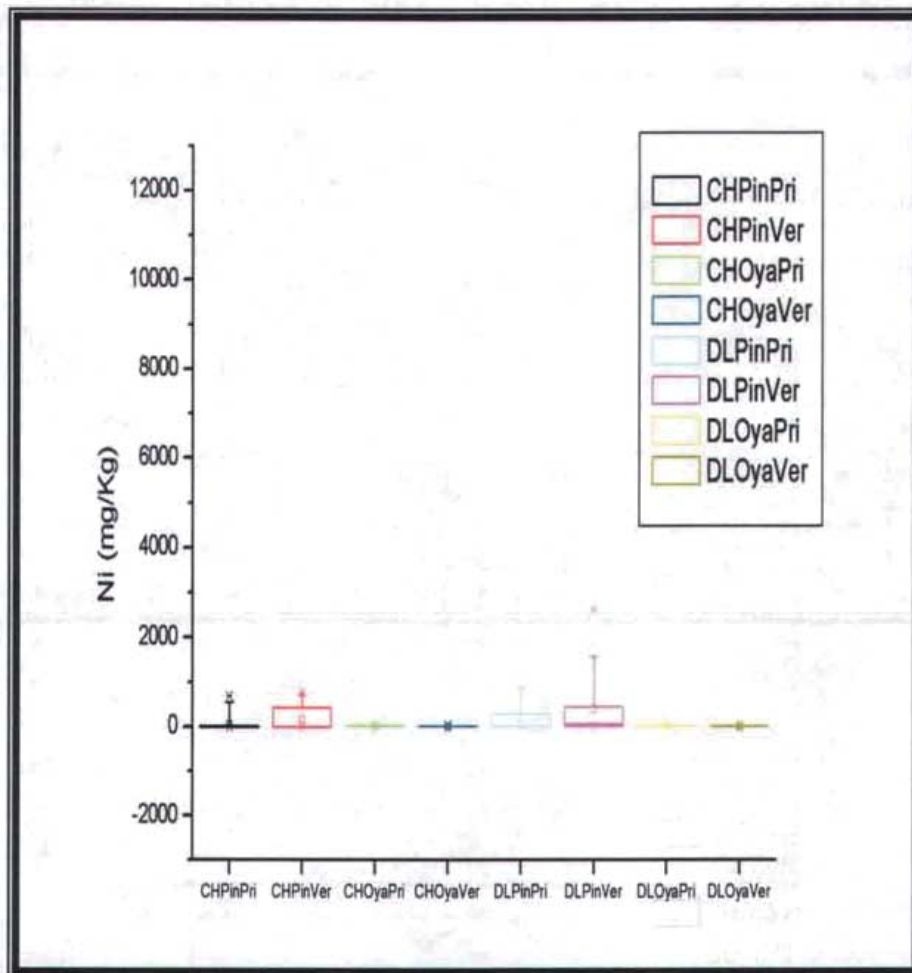


Figura 39: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- Cu en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH.

Se encontró una dispersión homogénea en el CH en *Abies religiosa* para primavera y verano. Y en el DDLL se registraron valores máximos de 42 mg/kg y mínimos de 8 mg/kg.

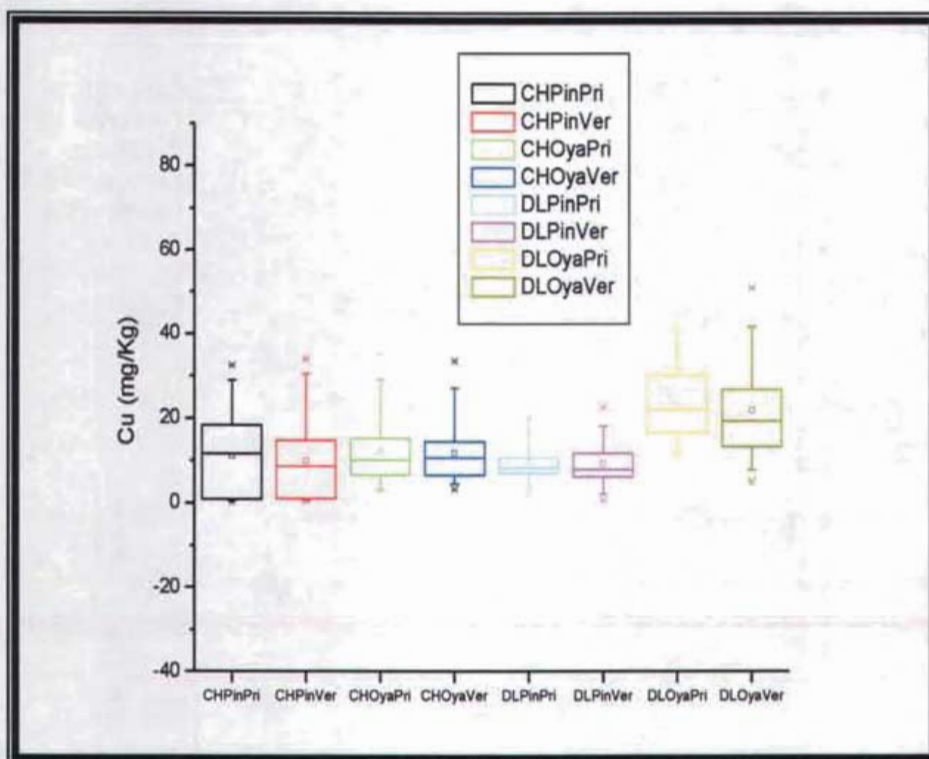


Figura 40: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- Zn en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH.

Para Zn solo se encontró una dispersión homogénea en el CH en *Abies religiosa* en primavera con un valor máximo de 600 mg/kg y con lo que respecta a las otras zonas, especies y temporada la distribución es de manera irregular.

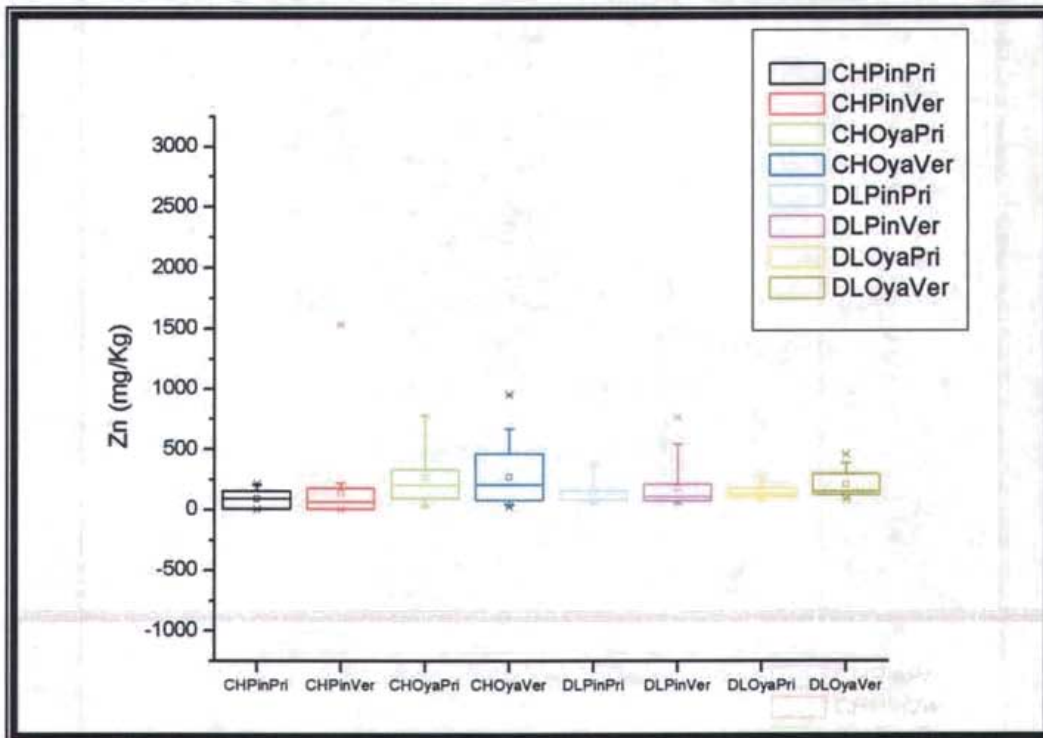


Figura 41: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- **Pb en *Pinus patula* en el CH.**

Podemos observar que el Pb en el CH, en *P. patula* tiene su valor máximo de 150 mg/kg en la época de primavera y con lo que concierne a verano este apenas logra alcanzar 10 mg/kg como valor máximo, reportándose este elemento solo en esta zona y especie.

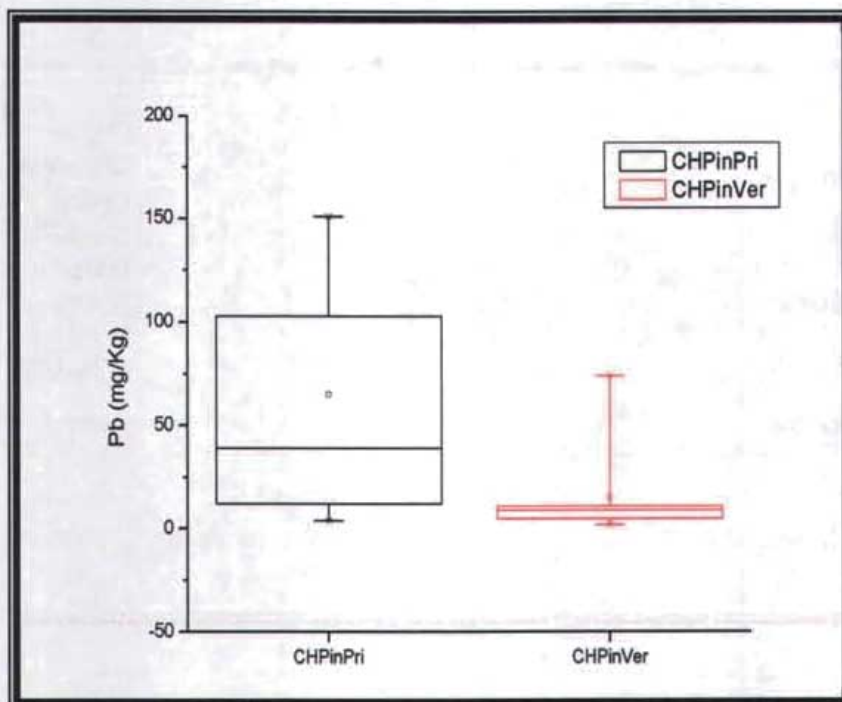


Figura 42: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- Br en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH

En el Br las concentraciones no son detectables. Y esto no permiten observar con precisión la dispersión de este elemento y por supuesto menos la distribución del mismo. En ambas zonas sucede lo mismo así como en las especies.

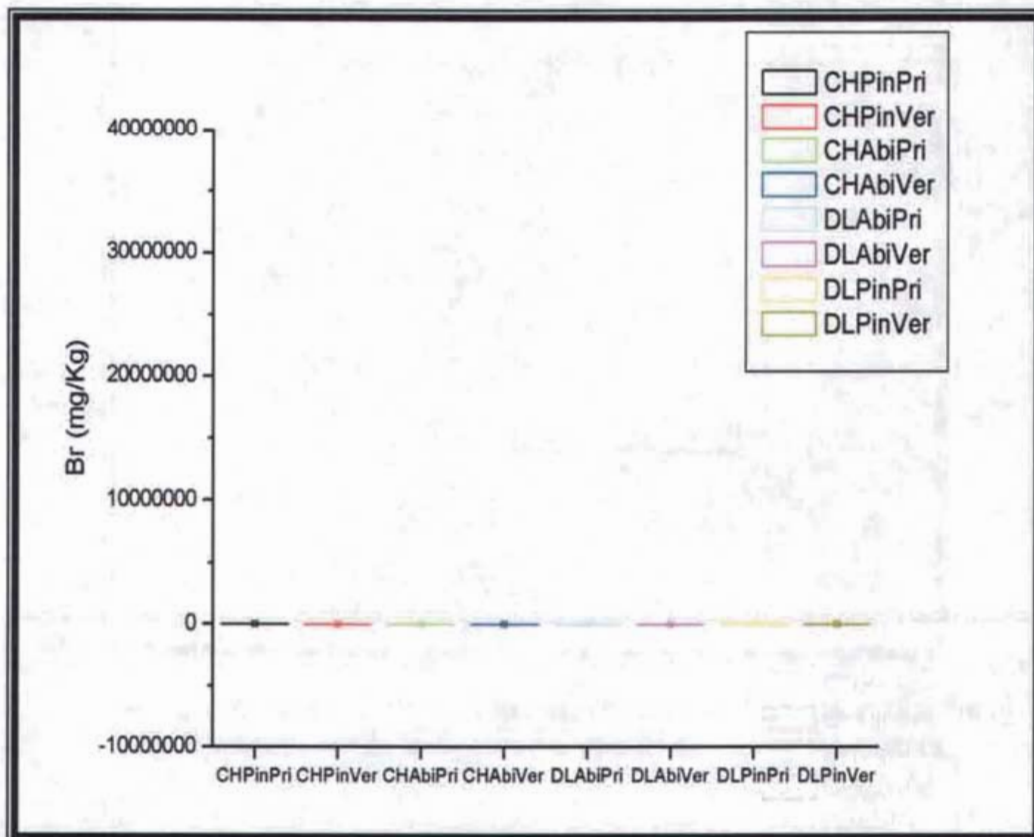


Figura 43: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

10.7 Concentración elemental de los metales ligeros y de transición de primavera y verano en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa*

- K en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH.

Para el K la dispersión es homogénea en el CH en *P. patula* en primavera y verano, observando también en el CH y el DDLL en *Abies religiosa* y exclusivamente en verano se reporta un valor máximo de 25000 y 26000 mg/kg de este elemento, teniendo distribuciones irregulares en las otras zonas y especies.

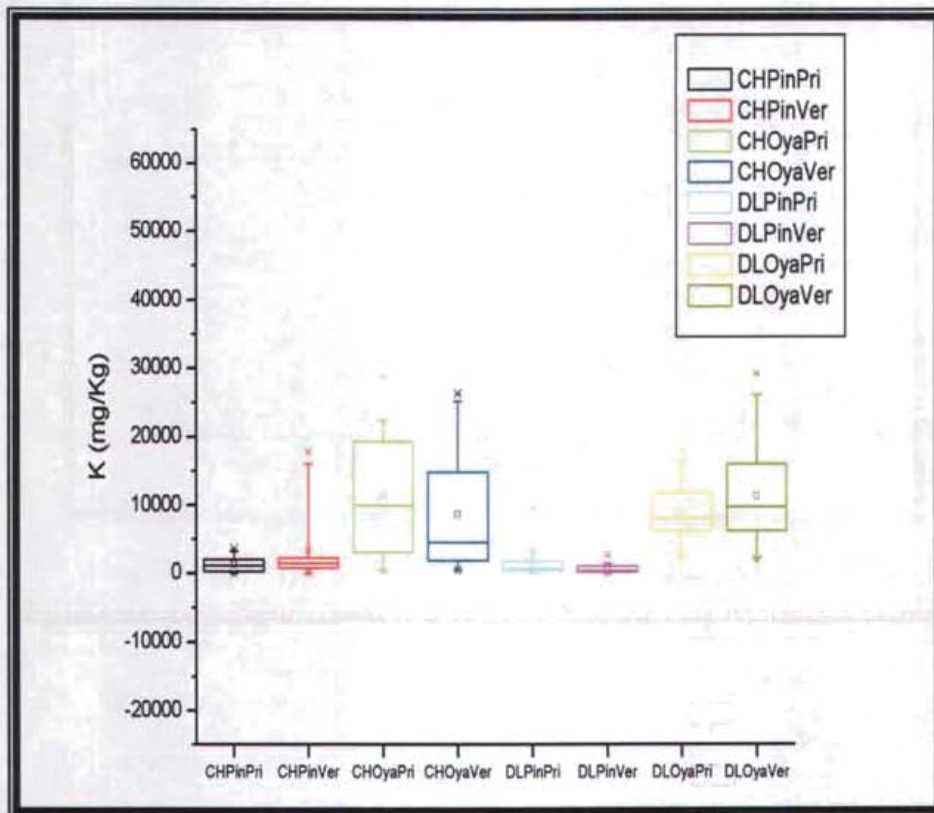


Figura 44: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- Rb en *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el CH.

El Rb sólo se encontró en el CH en ambas especies, se distribuyen los valores máximos 25 y 30 mg/kg en *P. patula*, en primavera y verano y sus valores no detectables, mientras que en *Abies religiosa* para primavera y verano se tienen valores mínimos de 9 y 10 mg/kg.

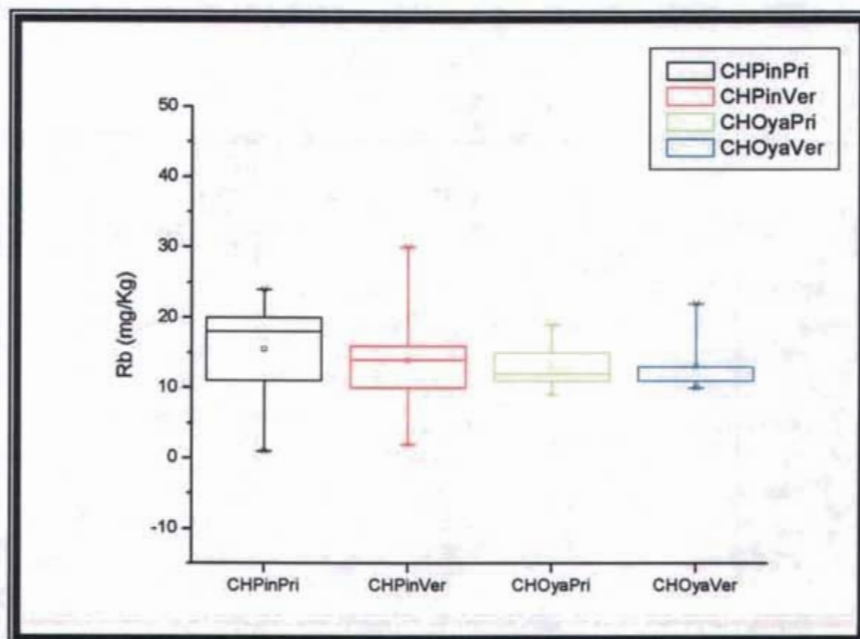


Figura 45: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- **Ca en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH.**

Se encontraron tres dispersiones homogéneas en el CH en *Abies religiosa* en verano y en el DDLL *Pinus montezumae* en verano y *Abies religiosa* en primavera, se reporto un valor máximo de 24000 mg/kg en el CH en *Abies religiosa* en verano, seguido del CH en *Pinus patula* en primavera con un valor de 21000 mg /kg.

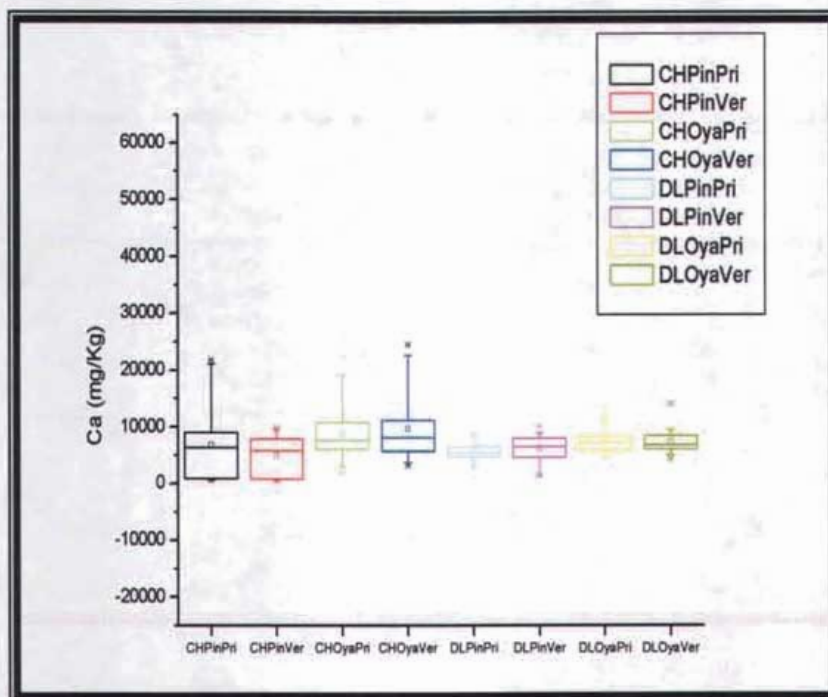
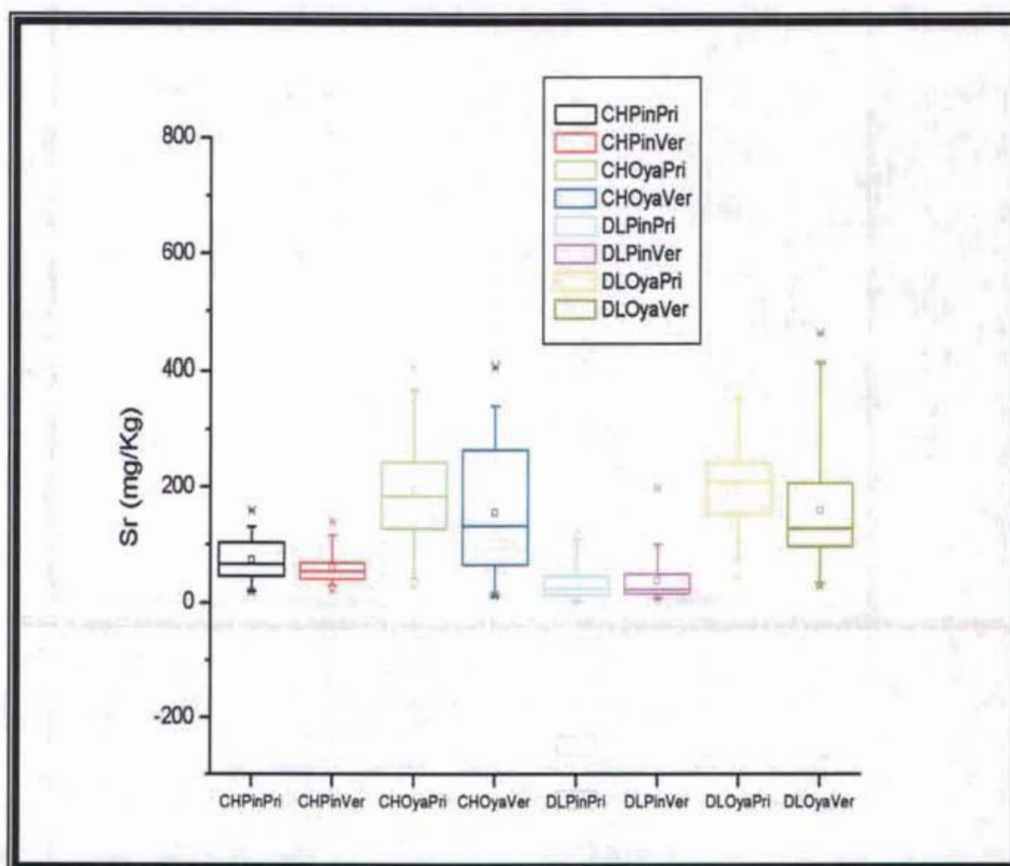


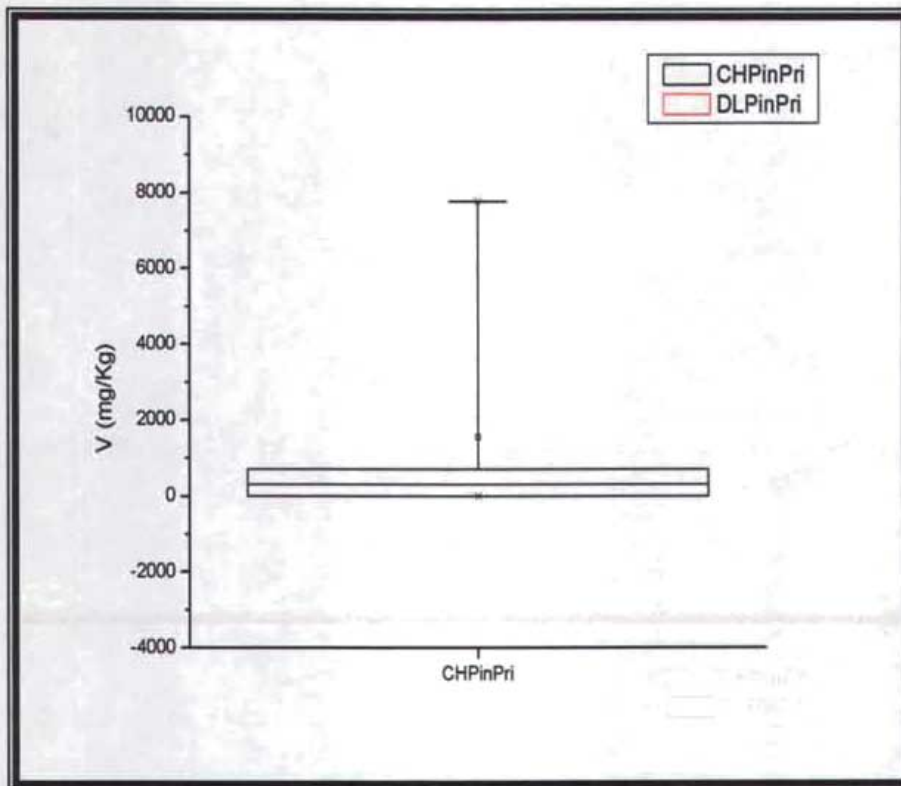
Figura 46: Comparación de la distribución elemental en relación con los periodos de crecimiento (Pri-Ver), las especies arbóreas (Oyamel, Pino) y zonas (DL y CH).

- **Sr en *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Abies religiosa* en el DDLL y el CH**

Sólo existen dos dispersiones homogéneas y ambas son en el CH en *Abies religiosa* y *Pinus patula* en primavera y verano. Teniendo un valor máximo de 440 mg/kg en el DDLL en *Abies religiosa* en verano. Este metal de transición sólo se encontró en el CH en *P. patula* y en primavera, teniendo un valor máximo de 8000 µg/g y valores mínimos no detectables. Dispersándose de forma homogénea entre el rango de no detección hasta 900 µg/g.



- V en *Pinus patula* en el CH.



XI. CONCLUSIONES

- Las anchuras de los anillos entre las zonas de estudio no presentan un comportamiento definido.
- Al comparar las especies de pino de los bosques DDLL (*Pinus montezumae*) y El Chico (*Pinus patula*), se determinó una mayor anchura en éste último.
- Para la especie de oyamel (*Abies religiosa*) en el DDLL se determinó una mayor anchura con respecto a El Chico.
- La década de los años 80, fue la de mayor anchura en pino y para oyamel, los 90 en Desierto de los Leones y El Chico.
- Los metales pesados registrados en el DDLL y El CH con núcleos de *Abies religiosa* fueron Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn y Br.
- En *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus patula* Schlecht & Cham. se registraron Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb y Br. La alta concentración de Ni rebasó el intervalo propuesto por Reimann (op. Cit.), mientras que Fe y Cu, por el contrario, presentan niveles por debajo del límite inferior.
- Los metales ligeros y de transición para ambas zonas en los núcleos de *Abies religiosa* son K, Rb, Ca, Sr.
- Para *P. montezumae*, *P. patula* son K, Rb, Ca, Sr y V, en este se registró una alta concentración, al igual que para Ca, mientras que K reportó una baja concentración, saliéndose del rango propuesto por Reimann (1998).
- Se considera a la contaminación atmosférica como una de las fuentes del depósito de metales pesados, ligeros y de transición registrados en los dos parques.
- Se determinó que no existe similitud en los registros encontrados de los elementos entre ambos parques y especies.
- En la época de primavera con respecto a verano se encontró mayor concentración de elementos.
- La técnica (PIXE) utilizada es muy importante para el tipo de estudio realizado ya que es precisa, exacta, y determina concentraciones de elementos de forma simultánea.

XII. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo un estudio similar en otros Parques Nacionales para poderlo comparar entre ellos y disponer así de más información.

XIII. REFERENCIAS

- Alloway**, B. J. (1990). Heavy Metals in Soils. London. Environmental Science. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 20-26.
- Alvarado**, R. D; L. I. de Bauer & J. Galindo A.1993. Decline of Sacred Fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico city. Environmental Pollution. 80: 115-121.
- Arcos**, H. L: 2001. Estudio de la composición elemental total de suelos contaminados por aguas residuales usando las técnicas, PIXE, RBS y RNA. Tesis de Licenciatura. México 46-52.
- Baes**, C. F., IM, and Ragsdale, H. L. 1981. Age-specific lead distribution in xylem rings of three tree genera in Atlanta,Georgia. Environmental Pollution. Ser. B.2:21-35.
- Barkman**, J. J. 1958. Phytosociology and Ecology of cryptogamic. Assen, The Nertherlandis; Van Gorcum.
- Blanck**, K.W., T. M. Roberts and R. A. Skeffington. 1988. New perspectives on forest decline.NATURE. 336(3):27-31.
- Bonneau**, M Y G. Landmann. 1989. El deterioro de los Bosques Europeos. Mundo Científico. 88(9):190-205.
- Bruce**, E. C. and Guyette P. R. 1993. Anatomical, Chemical, and Ecological Factors Affecting Tree Species Choice in Dendrochemistry Studies. Published in J. Environ. Qual. 22:611-619.
- Calva**, V. G y Corona B. 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**, V. 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. Colegio de Postgraduados. México. 3-38.
- Calva**, V. G. Miranda J. Huerta L. Solis C. 2001. Trace element determination in tree rings and forest soil, related to atmospheric acid deposition. IX International Conference on Particle Induced X-ray Emission and its Analytical Aplications. Guelph, Canada. Pág 27.
- Casas**, A., J. L. Viveros y J. Caballero. 1994. Etnobotánica mixteca. Sociedad, cultura y recursos naturales en la montaña de Guerrero. INI-CONACULTA. 366p.

- Cook**, E.R.; Kairiukstis, L.A. 1990. Methods of Dendrochronology applications in the environmental Sciences. Edt. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 394p.
- Dawson**, B., Trapp., G. R. 2002. Bioestadística médica. Editorial El Manual Moderno. México, D. F. Tercera edición, Pág. 43- 47, 211-214.
- Espinoza**, G., J., S. Rodríguez, J. 1996. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo complementario Listado florístico del estado de Michoacán. Secc. IV. Instituto de Ecología/CONACYT/UMSNH/CONABIO.
- Fenn**, M. N. L. I. DE Bauer A. Quevedo Nolasco C. Rodriguez F. 1999. Nitrogen and sulfur deposition and forest nutrient status in the Valley of Mexico. Water, Air and Soil pollution. 113:155-174.
- Ferrel**, G. Y P. Miller. 1984. Observaciones de la mortalidad de Abies religiosa en el Parque Recreativo y Cultural Desierto de los Leones. Forest Service. USDA: Pacific South. West Station. Barjet & Riverside, california USA. Reporte Preliminar.
- Fritts**, H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press London. New York – San Francisco. Pp 245.
- Fritts**, H. C. 1990. Modeling tree-ring and environmental relationships for Dendrochronological analysis IN Dixon, R. K.; Remark, G. A.; Warren, W. (eds) Process Modeling of forest growth responses to environmental stress Ed. Timber pres, Oregon, USA, Chap. 33.
- González**, A., y Sánchez, V. M. L. 1961. Los Parques Nacionales de México. Situación actual y problemas. Instituto Mexicano de Recursos naturales renovables. México, D.F. 149 páginas, más fotografías y mapa.
- Hirano**, T. Morimoto K. 1999. Groeth reduction of the Japanese black Pine corresponding to an air pollution episode. Environmental pollution. 106:55-65.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática.** 1993. Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal. Cuaderno Estadístico Delegacional. Aguascalientes, Ags. 102 páginas.
- István**, P. y Benton, J. J. 1997. The Handbook of Trace Elements. Published by St. Lucie Press. U.S.A. Pág. 101,112,115, 118,124,128,135,140,144,146,172,175,177,182.
- Johansson**, S. A. E. y Campbell J. L. 1998. PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis. John Wiley & Sons.
- Kjell**, P. y Bengt J. 1993. PIXE as a tool for determination of acidified forests. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B75: 326-329.
- Kozlowski**, T. T. y H. A. Constantinidov. 1986. Environmental pollution and tree growth. Part II. Factors affecting responses to pollution and alleviation of effects. Forestry Abstracts. 2;47:105-130.

Matus Q. R. J., Hernández L. M., García G. E., Franco. E. M. 2003. Estadística. I.PN. México, D. F. Primera edición. Pág. 95-100.

McClenahen, J. R., Vimmerstedt J.P., Scherzer J. A. 1989. Elemental concentrations in tree rings by PIXE: statistical variability, mobility, and effects of altered soil chemistry. Manuscript No 198-88 of the Ohio Agricultural Research and Development Center. 880-888.

Melo, G. S. C. Oropeza O. O. 1982. Bases geográficas para la reestructuración operativa del Parque Nacional el Chico Edo. Hidalgo. Boletín No.12, Instituto de Geografía: 19-56p.

Mendez, R. G. F., Castañares L. R., Figueroa. J. E. 2001. Daños a la Salud por Contaminación Atmosférica. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Páginas 481.

Mojica, A. M. 2003. Dendroanálisis con PIXE, de núcleos de pino y oyamel para el registro de los eventos del depósito atmosférico en los Parques Nacionales Iztapopocatépetl y Zoquiapan. Tesis de Licenciatura. Mexico. 97.

Nagj, M, Jasna Injuk y V. Valkovic. 1987. Trace element concentration variations in tree rings. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B22. 465-472. North-Holland, Amsterdam.

Nelleman, C. y T. frogner. 1994. Spatial patterns of spruce defoliation to acid deposition, critical loads, and natural growth conditions in Norway. AMBIO. 23(4-5):255-259.

Pendias, K. A. y Pendias, H. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. Library of Congress Card Number. United States of America. Second Edition. Pág. 92, 105, 116, 125, 196, 200, 212, 253, 267, 291.

Penninckix, V. Meerts P. Herbauts J. Gruber W. 1999. Ring width and element concentrations in beech (*Fagus sylvatica* L.) from a periurban forest in central Belgium. Forest Ecology and Management. 113:23-33.

Perry, P. J. 1991. The Pines of México and Central América. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. Colegio de Postgraduados. Pág. 110-113 y 168-169.

PROGRAMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2002-2010. Lic. Arturo Montiel Rojas (Gobernador Constitucional del Gobierno del Estado de México), Lic. Andrés Manuel López Obrador (Jefe de Gobierno del Distrito Federal), Lic. Víctor Lichtinger Waisman (Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Dr. Julio Frenk Mora (Secretario de Salud). Comisión Ambiental Metropolitana. 2ª edición, Toluca México (2002).

Quadri, T. G., Sanchez C. R. L. 1992. La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Editorial Limusa. México, D. F. Páginas 318.

- Reimann**, C., Caritat. P. 1998. Chemical Elements in the Environmental. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Germany. Pág. 68, 70, 76, 78, 104, 106, 124, 126, 174, 176, 198, 200, 226, 228, 248, 250, 274, 276, 322, 324, 342, 344, 358, 360, 378, 380.
- Robles**, M. G. 2003. Dendroquímica con PIXE con pino y oyamel, para el registro retrospectivo de 30 años de depósito atmosférico, en el Desierto de los Leones y el Chico. Tesis de Licenciatura. México. 9-13. UNAM, FES-ZARAGOZA.
- Romero**, S. L. 1996. Análisis espacio-temporal de la depositación ácida, utilizando como biomonitor de exposición la corteza arbórea de especies perennes del Parque Nacional Desierto de los Leones. Tesis de Licenciatura. México 26-27.
- Ruvalcaba**, S. J. L. 2001 Aplicaciones de PIXE al estudio de muestras de interés biológico. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 4(2):93-99.
- Santamaria**, P. J. C. 1997. Estudio de la composición de la superficie reflejante de vidrios comerciales por medio de retrodispersión de iones. Tesis de Licenciatura. México. 2-29. UNAM,
- SARH**, 1994. Diagnóstico del Parque Nacional El Chico, Estado de Hidalgo, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Consultores en Ecología y Medio Ambiente. 42 Pág.
- Schulze**, E. D. 1989. Air Pollution an Forest Decline in a Spruce (*Picea abies*) Forest. Science 244 (4906): 776-783.
- Smith**, W. H. 1980. Air Pollution – interaction between air contaminants and forest ecosystems. Ed. Spring Verlay; N.Y., U.S.A.
- Stevenson**, F. F. and Mertens R. T. 1986. Anatomia Vegetal. Editorial Limusa. México, D.F. Pág. 127-151.
- Swieboda**, M. and Kalembe A. 1979. The bark of Scotts pine (*Pinus spp*) as a biological of atmospheric air pollution. Acta Societatis Botanicorum Poloniae. Vol. 48, No. 4:539-549.
- Tisdale**, L. S., Werner, L:N: Y J:D: BEATON. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th. Ed. Macmillan Publish Ing Company. U.S.A. 59-91 pp.
- Uribe**, C.D 1988. La madera estudio anatómico y catalogo de especies mexicanas. INAH. 1^a México D F
- Vargas**, M. F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D.F. 266 páginas, más 34 de fotografías y mapa.
- Vazquez**, S. J. 1987. El saneamiento y la limpia forestal en el Desierto de los Leones. COCODER-DDF, México.

Wark, K., Warner F. C. 1994. Contaminación del Aire Origen y Control. Editorial Limusa. México, D. F. Pág. 45-65.

Watmough, S.A. Hutchinson T.C. and Sager E.P.S. 1998. Changes in tree rings Chemistry in Sugar Maple (*Hacer scharum March*) along an urban rural gradient in southern Ontario. *Environmental Pollution* 101:381.

Watmough, S.A.; Hutchinson T.C. 1999. Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years. *Environmental Pollution* 104: 79-88.

Yanoski, M.T., Hansen P. B., SHENING R. M. 2001. Use of tree rings to investigate the onset of contamination of a shallow quifer by Chlorinated hydrocarbons. *Journal of contaminant Hydrology*. 50: 159-173.

REFERENCIAS ELECTRONICAS:

- <http://www.gob.d.f.> (02-15-04)
- http://www.aguadehermosillo.gob.mx/maim_cultura_aguaclima.html. (03-10-04)
- <http://www.ltrr.arizona.edu/dendrochronology.html> (03-14-04)
- <http://www.southwestwoods.com/index1.htm> (03-26-04)
- <http://www.planeta.com/ecotravel/méxico/hidalgo/hidalgo.htm> (05-13-04).

ANEXOS

Cuadro IV: Tipo de industrias clasificadas en relación al elemento que emiten principalmente.

Elemento	Principales Fuentes de emisión y utilidades
V	Combustion de autos, de carbón, industria metalúrgica, polvo geogénico.
Fe	Industria de acero, siderúrgica, polvo geogénico.
Ni	Fundidoras de Cu-Ni, industria metalúrgica, industria química, refinación de petróleo, depósito de basura, fertilizantes, emisiones vehiculares, volcanes.
K	Química industrial, fertilizantes.
Ca	Industria metalúrgica, fertilizantes.
Ti	Industria aeronáutica, pigmentos.
Mn	Industria siderúrgica, aleaciones, baterías, fertilizantes, también es reemplazado por el Pb en las gasolinas sin plomo.
Cu	Industria eléctrica, plástica, fundidora, en fungicidas e insecticidas.
Zn	Industria de cauchos, farmacéutica, pigmentos, plásticos, baterías y pesticidas.
Br	Industria farmacéutica, insecticidas y herbicidas.
Sr	Refinación de zinc, aleaciones, materiales pirotécnicos.
Rb	Electrónica, vidrio.
Pb	Polvo geogénico, vehículos.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA
HERBARIO FEZA

M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ
LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
P R E S E N T E.

En atención a su solicitud de identificación taxonómica para varios ejemplares, le comunico que los nombres científicos son los siguientes:

Ejemplares provenientes Parque Nacional Zoquiapan y recolectados por la alumna Gisela Razo Ángel.

"Muestra del árbol 1"
***Abies religiosa* (H.B.K.) Cham & Schlecht**

"muestra del árbol 4"
***Pinus montezumae* Lamb**

Planta hemiparásita sobre la rama de pino
***Arceuthobium globosum* Hawksworth & Wiens**

Ejemplares provenientes Parque Nacional Izta-Popo y recolectados por la alumna Gisela Razo Ángel.
***Abies religiosa* (H.B.K.) Cham & Schlecht**

Ejemplares provenientes Parque Nacional "El Chico" recolectados por la alumna Rebeca Hernández Tapia
***Pinus patula* Schlecht & Cham.**

Del mismo modo le informo sólo los ejemplares de *Pinus montezumae* y *Arceuthobium globosum* formaran parte de la colección del herbario.

Sin otro particular le envío un saludo afectuoso.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México, D.F., a 13 abril de 2004


M. en C. CARLOS CASTILLEJOS CRUZ
RESPONSABLE ACADÉMICO DEL HERBARIO FEZA