UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Correlación nutrimental del suelo y anillos de crecimiento del Bosque de Pino-Oyamel del Parque Nacional Zoquiápan a través del depósito atmosférico mediante la técnica de PIXE.

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

PEDRO CORREA GALICIA

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

MÉXICO. D, F 2006

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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

Gracias a mis padres Leovigilda Galicia Acosta y Gregorio Correa Hernández por darme la dicha de la vida.

Gracias a Elizabeth Hernández Silva mi esposa y compañera.

Gracias a mis hijos Lilian Marlene Correa Hernández y Julián Aldair Correa Hernández.

A MIS SINODALES
Por las sugerencias recibidas para la culminación de este trabajo

M. en C. Ramiro Ríos Gómez
M. en C. German Calva Vásquez
Biól. Elvia García Santos
Dr. Gerardo Cruz Flores
Biól. María de los Ángeles Galván Villanueva

A los doctores J. Luis Ruvalcaba y Luis Rodríguez de IF, UNAM.

A los técnicos Francisco J. Jaime y López Karim por su apoyo técnico en el acelerador de partículas peletron.

Al financiamiento otorgado por DGAPA IN204999

Doy gracias a todas aquellas personas que me alentaron antes, durante y final de carrera pero sobre todo a ti que tienes tiempo valioso para detenerte a leer este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN **1**

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **3**

III. JUSTIFICACIÓN **5**

IV. HIPÓTESIS **6**

V. OBJETIVO GENERAL **7**

4.1. OBJETIVOS PARTICULARES **7**

VI. MARCO TEÓRICO **8**

6.1. El árbol un organismo viviente 8

6.1.1. *Abies religiosa* (H.B.K) 9

6.1.2. *Pinus montezumae* Lamb 10

6.1.3. Elementos esenciales 11

6.2. Contaminación en suelos 12

6.2.1. Efectos sobre el suelo forestal 13

6.2.2. Factores de variación en la absorción mineral 14

6.2.3. Transporte de nutrimentos 15

6.2.4. Necesidades de nutrimentos en las plantas 16

6.2.5. Toxicidad de los metales en plantas 16

6.2.6. Esencialidad, deficiencia y exceso **17**

VII. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 19

7.1. Ubicación 19

7.1.2. Clima 20

7.1.3. Suelos 21

7.1.4. Vegetación y Fauna 21

VIII. MÉTODOS 22

8.1. Fase de campo 22

8.1.2. Fase de laboratorio 22

8.2. Fase de campo 23

8.2.1. Fase de laboratorio 23

8.3 Emisión de rayos x inducida por partículas (PIXE). 24

X. ANÁLISIS DE RESULTADOS 25

10.1. Parámetros físicos y químicos del en 1993 y 1999. 26

10.2. Cationes intercambiables (Ca, K, Mg, Na) 1993 y 1999. 29

10.3. Macronutrimentos en suelo y madera de *Abies religiosa y Pinus montezumae*, a través del depósito atmosférico. 33

10.3.1. Macronutrimentos en suelo de Zoquiapan. 33

10.3.2. Elementos macronutrimentos (Ca, K, Mg) en *Abies religiosa* 38

10.3.3. Elementos macronutrimentos (Ca, K, N, P, S, C) en *Pinu smontezumae* 40

10.4.Micronutrimentos en suelo y madera del oyamel y pino 44

10.4.1. Elementos Micronutrimentos (Mn, Fe, Zn, Co, Ti y Cl) Suelo Zoquiapan. 44

10.4.2. Elementos micronutrimentos (Mn, Fe, Zn, Cu, Co) *Abies Religiosa* 49

10.4.3. Elementos Micronutrimentos (Mn, Fe, Cu, Zn, Cl, V y Co) *Pinus montezumae* 53

10.5. Elementos traza en suelo y madera del oyamel y pino 56

10.5.1. Elementos traza (Pb, Cr, V, Cu, Ni, Br) en suelo 56

10.5.1. Elementos traza (Pb, Ni, Cr, Cd, Al, Ti) *Abies religiosa* 60

10.5.2. Elementos traza (Pb, AS, Ni, Cr, Zr, Ti) *Pinus montezumae* 66

10.6. Metales en suelo 70

10.6. 1. Metales (As, Rb, Sr) del Suelo Zoquiapan 70

10.7. Elementos parcialmente necesarios del oyamel y pino 73

10.7.1. Elementos parcialmente necesarios (Ga, V, Y, Br) en *Abies Religiosa* 73

10.7.2. Elementos del grupo parcialmente necesarios: (Ga, V, Y, Br) en *Pinus montezumae* 76

XI. CONCLUSIONES **85**

XII. RECOMENDACIONES **86**

XIII. BIBLIOGRAFÍA **87**

XIV. ANEXOS **91**

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de los elementos en relación al pH del suelo 4

Figura 2. Corte transversal de un tronco. 8

Figura 3. Transformaciones químicas http://www.sagan-gea.org/hojared/hoja 13.htm. 13

Figura 4. Concentraciones de micronutrimentos donde muestra las cantidades de amortiguamiento para un estado normal llegando a la toxicidad 16

Figura 5. Localización de la zona de estudio 19

Figura 6. Toma de muestras para suelo y anillos de crecimiento en *Abies religiosa y Pinus montezumae* 22

Figura 7. Representación grafica de los electrones en las capas de valencia 25

Figura 8. Irradiación de haz de protones en muestras de suelo y anillos de crecimiento mediante Técnica de PIXE 25

Figura 9. Propiedades físicas y químicas del suelo periodo 1993-1999 26

Figura 10. Propiedades físicas del suelo periodo 1993-1999 28

Figura 11. Cationes del suelo periodo 1993-1999 30

Figura 12. Correlación de la clase textural con los parámetros fisicoquímicos de suelo forestal de Zoquiapan. EP = espacio poroso, Arc = arcilla, LIM = limo, MO = Materia Orgánica y CIC= Capacidad de Intercambio Cationico. 32

Figura 13. Representación de los macrunutrimentos detectados en µg g^{-1} por PIXE en suelo 1993-1999 del parque nacional Zoquiapan 34

Figura 14. Agrupación de macronutrimentos en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan 35

Figura 15. Representación de macronutrimentos detectados por PIXE *mg* Kg^{-1} en anillos de crecimiento de Abies religiosa de Zoquiapan. 38

Figura 16. Agrupación de macronutrimentos en los anillos de crecimiento de *Abies Religiosa* en Zoquiapan 40

Figura 17. Representación de macronutrimentos detectados por PIXE *mg* Kg-1 en anillos de crecimiento en *Pinus montezumae* 41

Figura 18. Agrupación de macronutrimentos en los anillos de crecimiento *Pinus Montezumae* en Zoquiapan. 44

Figura 19. Representación de micronutrimentos detectados por PIXE µg g^{-1} en suelo 1993-1999 del Parque Nacional Zoquiapan 46

Figura 20. Agrupación de micronutrimentos en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan 47

Figura 21. Representación de micronutrimentos detectados µg g^{-1} por PIXE en anillos de crecimiento en *Abies religiosa* de Zoquiapan. 50

Figura 22. Agrupación de micronutrimentos en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* en Zoquiapan. 52

Figura 23. Representación de micronutrimentos detectados por PIXE µg g^{-1} en *Pinus montezumae* de Zoquiapan 54

Figura 24. Agrupación de micronutrimentos en los anillos de crecimiento de *Pinus Montezumae* en Zoquiapan. 56

Figura 25. Representación de micronutrimentos detectados en µg g^{-1} presentados en mg Kg^{-1} por PIXE en suelo 1993-1999 del Parque Nacional Zoquiapan 58

Figura26.Agrupación de elementos traza en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan 59

Figura 27. Representación de elementos traza detectados en µg g^{-1} por PIXE en anillos de crecimiento en *Abies religiosa* de Zoquiapan 62

Figura 28. Representación de elementos traza detectados en µg g^{-1} por PIXE en anillos de crecimiento en Abies religiosa de Zoquiapan 64

Figura 29. Agrupación de elementos traza en los anillos de crecimiento de *Abies Religiosa* en Zoquiapan. 65

Figura 30. Representación de elementos traza detectados por PIXE en µg g^{-1} en anillos de crecimiento en Pinus montezumae. 67

Figura 31. Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de *Pinus Montezumae* en Zoquiapan. 69

Figura 32. Representación de metales detectados por PIXE en µg g^{-1} en suelo 1993-1999 del Parque Nacional Zoquiapan. 70

Figura 33. Agrupación de metales en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan. 72

Figura 34. Representación de elementos parcialmente necesarios detectados µg g^{-1} por PIXE en anillos de crecimiento de *Abies religiosa* 74

Figura 35. Agrupación de elementos parcialmente necesarios en los Anillos de crecimiento de *Abies Religiosa* en Zoquiapan 75

Figura 36. Representación de elementos parcialmente necesarios detectados por PIXE µg g^{-1} en anillos de crecimiento de *Pinus montezumae*. 76

Figura 37. Agrupación de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de *Pinus Montezumae* en Zoquiapan. 78

Figura 38. Asociación de anillos de crecimiento con concentraciones de Suelo en el Parque Nacional Zoquiapan. 79

Figura 39. Asociación de grupos a distancia en suelo periodos 1993-1999 83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Correlación de Pearson de los macronutrimentos, ancho del anillo de Crecimiento y periodos de colecta del suelo. 36

Cuadro 2. Correlación de Pearson de los macronutrimentos Ca, K, S en suelo para 1993 y 1999. 37

Cuadro 3. Correlación de Pearson de los micronutrimentos detectados por (PIXE) encontrados en suelo 48

Cuadro 4. Correlación de Pearson de los elementos traza detectados por (PIXE) encontrados en suelo y relacionadas con el año 60

Cuadro 5. Correlación de Pearson encontrados entre los metales As, Rb y Sr en suelo y el año de muestra. 73

Cuadro 6. Macronutrimentos en anillos de crecimiento *Abies religiosa*. 80

Cuadro 7.Correlación de Pearson de los micronutrimentos registrados en anillos de crecimiento en *Abies religiosa y Pinus montezumae* 81

Cuadro 8. Correlación de Pearson de elementos traza analizados en anillos de crecimiento de *Abies religiosa y Pinus montezumae* 81

Cuadro 9. Correlación de Pearson encontrados en anillos de crecimiento de *Abies religiosa y Pinus montezumae* 82

Cuadro 10. Correlación de Pearson de los micronutrimentos, Mn, Fe, Zn, Co, Ti en suelo en ambas zonas 1993-1999. 84

RESUMEN

La reducción de la superficie forestal de 110 mil has a 96 mil has de los bosques circundantes al Distrito Federal, junto con los diversos síntomas (decoloración foliar, poca retención de hojas) reportados en diversos estudios, nos permite suponer la presencia del fenómeno del decline forestal. Las emisiones de las fuentes fijas y móviles de la ciudad de México en colaboración con la erupciones volcánicas aceleran este fenómeno del decline.

El estrés nutrimental, hídrico y atmosférico son factores que podrían explicar la mortalidad de los bosques en la Cuenca de México. El depósito atmosférico no solo afecta las copas del estrato arbóreo, cambiando su estructural poblacional, desde perspectiva del Laboratorio de Contaminación Atmosférica y la mía, entendemos que el origen del problema se encuentra en la lixiviación de nutrientes edáficos y impiden su translocación.

Mediante la técnica de rayos X Inducida por partículas (PIXE) se determinaron los principales elementos involucrados en la formación de los anillos de crecimiento y de manera simultanea, se analizó el suelo forestal para los años de 1993 y 1999.

De los parámetros físicos y químicos se determinó diferencia en el espacio poroso (EP) y la clase de textura entre los años de muestreo, al registrarse diferencias en el porciento de limos, arcillas y arenas. Por su parte, el pH y C.I.C. mostraron una disminución sensible entre 1993 con respecto a 1999.

Los macronutrimentos del suelo registraron cambios en su concentración como el **Ca** de 47 $mg\ Kg^{-1}$ a 2.5 $mg\ Kg^{-1}$ mientras en ***Abies religiosa*** su máxima concentración se

dio en el quinquenio de 1995-2000 con 14 *mg Kg* $^{-1}$ por otro lado el ***Pinus montezumae*** se registro con 61 *mg Kg* $^{-1}$ en el quinquenio de 1995-2000 así mismo para otros, por otro lado los micronutrimentos de suelo se lixiviaron apartes más profundas como el **Hierro** de 1993 con 1783 µg g^{-1} a 14 *mg Kg* $^{-1}$ en 1999 por otra parte en los anillos de crecimiento para ***Abies religiosa*** se registraron concentraciones elevadas de **Mn** con 258 µg g^{-1} Fe 315 µg g^{-1} Co 3 µg g^{-1} en el quinquenio de 1995-2000 así mismo para ***Pinus montezumae*** con **Mn** con 107 µg g^{-1} y **Fe** 510 µg g^{-1} Por otro lado los elementos traza sufrieron cambios en el periodo de 1993 con respecto a 1999 como fueron **Pb** 354 µg g^{-1} a 16 µg g^{-1} **Ni** 7 *mg Kg* $^{-1}$ a 15 µg g^{-1}.

Por otro parte en ***Abies religiosa*** las elevadas concentraciones correspondieron al quinquenio de 1995-2000, el Pb con 208 µg g^{-1}, el Cd con 1873 µg g^{-1}, el Al con 221 µg g^{-1} y finalmente, el Ni 10 µg g^{-1}. Respecto al ***Pinus montezumae*** se registraron concentraciones altas en el quinquenio de 1995-2000 como Pb 246 µg g^{-1} entre otros elementos de aproximada concentración.

Los metales del suelo presentaron cambios en las concentraciones de 1993 con respecto a 1999 como fueron As con 6 *mg Kg* $^{-1}$ Rb 11 *mg Kg* $^{-1}$ Sr 75 µg g^{-1} y presencia de elementos parcialmente necesarios en ***Abies religiosa*** (V de 39 µg g^{-1} a 115 µg g^{-1}) en el quinquenio de 1995-2000. En el ***Pinus montezumae*** las concentraciones de Rb 133 µg g^{-1} y Sr 272 µg g^{-1} resultaron las altas, y para, el quinquenio de 1995-2000.

Se concluyo, una correlación alta de las variables del suelo vs. los elementos translocados en los anillos de crecimiento para ambas especies. Los registros podrían ser útiles para las políticas de conservación de las zonas boscosas y mejorar la calidad del aire de la ciudad de México.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema que padecen los bosques que rodean la Ciudad de México, esta se ha incrementando paulatinamente debido al crecimiento demográfico e industrial. Aunado a los tres millones de vehículos que circulan diariamente y que consumen por lo menos un tanque de gasolina en una semana (Newell, 1971). Además se queman otros combustibles y basura en los alrededores de la ciudad, todas estas emisiones son distribuidas (Vásquez, 1993) por los vientos sobre el Valle de México, luego entonces, un problema socioeconómico que repercute en lo ecológico.

Las áreas boscosas son de vital importancia para los habitantes de la ciudad por generar oxígeno, vapor de agua y limpiar la atmósfera. De entre las mas importantes por su extensión encontramos al Parque Nacional Zoquiápan quien juega el papel de reserva de captación, circulación y almacenamiento de acuíferos estratégico para la región, también desempeña un papel en la purificación del aire (Vargas y Ortiz, 1993).

Hay estudios que relacionan, los efectos de la contaminación atmosférica y la degradación del suelo forestal por el efecto de agentes contaminantes (Fishbein *et* al., 1987) como el SO_2 y el NO_x, estos gases forman el ácido sulfúrico y nítrico (Fitter y Hay, 1987), respectivamente, en la atmósfera. Al incidir en el suelo con la lluvia, se disocian los ácidos, liberando iones H^+ y en aquellos suelos, que son muy susceptibles a la acidez se acidifican presentando un acelerado empobrecimiento (Jonhsson, 1977).

Los procesos teóricos más relevantes, explican que los iones H^+ liberados se intercambian con los cationes del complejo de cambio (K, Ca, Mg, Na) y podrían

adsorberse por los coloides del suelo, facilitando su lixiviación, con la consecuente deficiencia nutrimental de la vegetación (Cowling,1982). Las hojas sufren ruptura de membranas celulares y lixiviación de iones del follaje en especial Ca, Mg, K, Zn, Cu, Co, Mo, Cd y Ni (Prinz y Krause,1988; en López *et al* , 1998).

El depósito de los contaminantes esta determinado por los siguientes factores:

- Concentración atmosférica y forma química; radio atómico y molecular.
- Asociación con otras especies químicas (nucleación) y sinergismo.
- Velocidad, intensidad y dirección de los vientos.
- Humedad, radiación solar (ultravioleta e infrarroja).

Por todo lo anterior es imprescindible determinar la posible relación entre la concentración de los cationes, su distribución y su registro nutrimental en el suelo, y a su vez en la madera (anillos de crecimiento) de las zonas forestales de la Cuenca de México.

Una herramienta apropiada para determinar los cationes, involucrados con los desordenes nutrimentales en el suelo y en los anillos de crecimiento, es el dendroanalisis que recurre a la técnica analítica es la de emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE), cuya característica es la de minimizar el error experimental (manejo y preparación de reactivos, etc..) del investigador, requiere de una muestra mínima, el haz se ajusta al tamaño en la anchura de los anillos y es muy sensible a los elementos traza (Johansson y Campbell, 1988).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las zonas forestales (110 mil hectáreas) circundantes en la Cuenca de México, han sido en los últimos 35 años sometidas a contaminantes corrosivos, derivados en su mayoría de la actividad humana (Nieto, 1995), y a partir de 1994, las emisiones volcánicas del Popocatepetl.

El Parque Nacional Zoquiapan desde hace varias décadas ha tenido patrones de mortalidad del arbolado en los Bosques de Pino-Oyamel, ya que los individuos en su mayor parte se encuentran deteriorados, presentando diversos síntomas: decoloración foliar, pérdidas de hojas, la retención de ramas es muy escasa al último año y descortezamiento.

López *et al.* (1998) determinaron que el problema del deterioro directo, derivaba de los contaminantes que son transportados por los vientos. El ácido sulfúrico, clorhídrico y nítrico, depositados en suelo, provocan cambios en el pH, alterando algunas propiedades físicas y químicas, tales como: Capacidad de intercambio cationico (CIC), Materia orgánica (MO), Espacio poroso (EP) y disponibilidad de los nutrimentos (figura 1).

Los macronutrimentos (C, K, Ca, Mg) y los micronutrimentos (Mo, Cu, Zn y Fe) son imprescindibles para el crecimiento y nutrición de los vegetales (Fortescue y Martin, 1980; Ortiz y Villanueva, 1990). Su concentración varia en las diferentes profundidades del suelo mineral, su movilidad depende de la acidez del suelo y del suelo de los factores específicos químicos. También se incrementa en los ecosistemas por efecto de

las emisiones naturales o antropogénicas pasando de niveles normales a tóxicos para las plantas (Calva 1999).

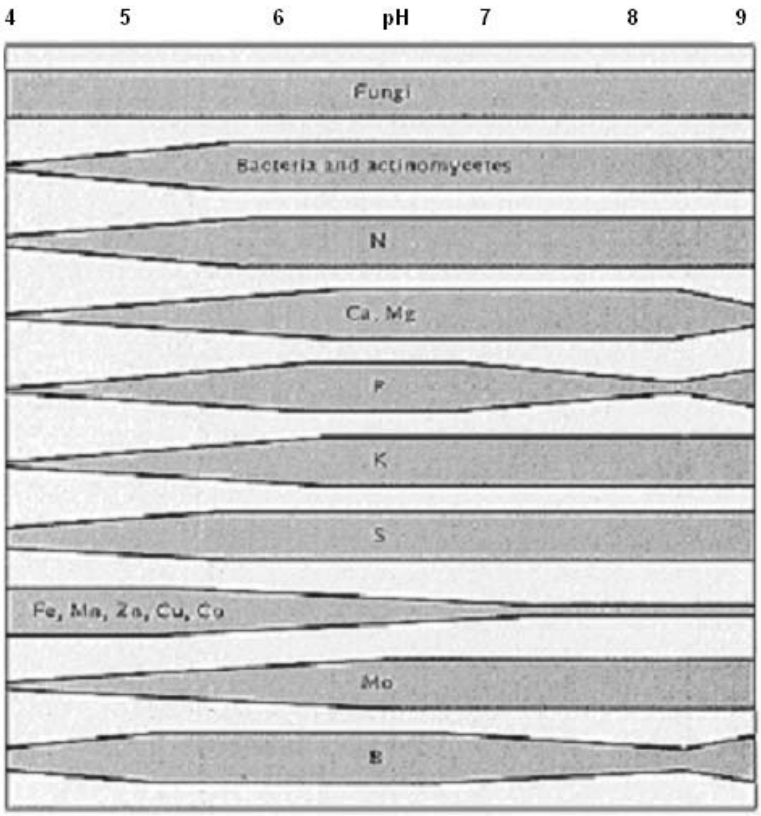

Figura 1: Disponibilidad de los elementos en relación al pH del suelo (López et al. 1998)

De acuerdo con Aber (1982) la toxicidad por los elementos traza (micronutrimentos) producen síntomas y efectos tóxicos como: detención del crecimiento, clorosis intervenal, necrosis marginal, senescencia en las hojas, interferencia en la función enzimático y alteraciones de la permeabilidad de las membranas celulares. Los procesos anteriores en conjunto originan una alteración en las funciones fisiológicas de la vegetación entre otros y producen modificaciones en los suelos.

III. JUSTIFICACIÓN

La contaminación atmosférica en México esta registrada de manera sistemática desde 1975, según reportes oficiales y técnicos de instituciones nacionales e internacionales (Calva y Corona 1989), estos agentes químicos expuestos sobre el suelo, fauna y flora e inclusive en los seres humanos, se pueden asimilar, transformar o eliminarse en forma natural.

La cercanía del Parque Nacional Zoquiapan con la ciudad de México propicia un aumento en el depósito atmosférico, con el consecuente efecto sobre los recursos suelo y forestas, podrían cambiar la estructura química del suelo, así como causar daño a la pedofauna y sistemas radículares (Fulu, *et al*, 2002). En especial en áreas donde la deficiencia nutrimental se ha caracterizado por una baja en cationes básicos (Ca, K, Na, Mg) y una elevada concentración de Al^{+}, H^{+} y Mn^{2+}, la relación nutrimental impone un crecimiento de las raíces desarrollando estrategias para adaptarse a las condiciones adversas (Junling, 2002).

Por lo anterior, se hace necesario cuantificar los macronutrimentos así como los micronutrimentos y elementos traza en el suelo forestal (para evaluar él depósito atmosférico-suelo), así como en la madera del pino y oyamel del Parque Nacional Zoquiapan, con la finalidad de establecer una correlación de ellas. Información útil a fin de proponer un criterio de conservación y utilización de estrategias para la reducción de emisiones atmosféricas (Rincón y Huante 1989).

IV. HIPÓTESIS

Si las sustancias acidificantes incrementan la concentración y la actividad de los iones H^+, en donde los nutrimentos minerales Ca, Mg, K, Zn, Cu son lixiviados, ***entonces*** las concentraciones serán diferentes en el suelo, y esto sé verá reflejado en los anillos de crecimiento a través de la correlación nutrimental.

V. OBJETIVO GENERAL

Determinar la Movilidad elemental de los nutrimentos del suelo hacia los anillos de crecimiento de los árboles de *Pinus montezumae* Lamb y *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham & Schlecht, registrado en una diferencia de seis años (1993, 1999) en el Parque Nacional Zoquiapan.

5.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Cuantificar con la técnica PIXE la concentración de los macronutrimentos intercambiables: Ca, K, S, P, Mg en suelo y anillos de crecimiento del arbolado.

- Cuantificar con la técnica PIXE las concentraciones de los micronutrimentos: Mn, Fe, Cl, V, Co, Cu, Zn, Ti en las muestras de suelo y anillos de crecimiento del arbolado.

- Cuantificar con la técnica PIXE los elementos traza: Pb, Ni, Cr, Cd, Al, Ti, As, Sr, Pd, Bi, en los anillos de crecimiento y en el perfil del suelo en los años 1993 y 1999.

- Correlacionar el gradiente de concentración de los elementos presentes en el suelo con las concentraciones en anillos de crecimiento.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1. El árbol un organismo viviente

El tronco de un árbol es la parte más valiosa para la industria forestal en virtud de ser la parte donde se derivan los materiales para la elaboración de muebles, pulpa de celulosa para el papel y triplay. En términos generales, la anatomía del tallo se muestra en la Figura 2 y se describe a continuación.

Corteza externa: el corcho de un árbol esta compuesta por células muertas, con paredes muy delgadas, que se llegan a impregnar con sustancias impermeables a medida que el tronco del árbol crece en diámetro, la presión generada por su parte interna origina que la corteza se rompa, formando

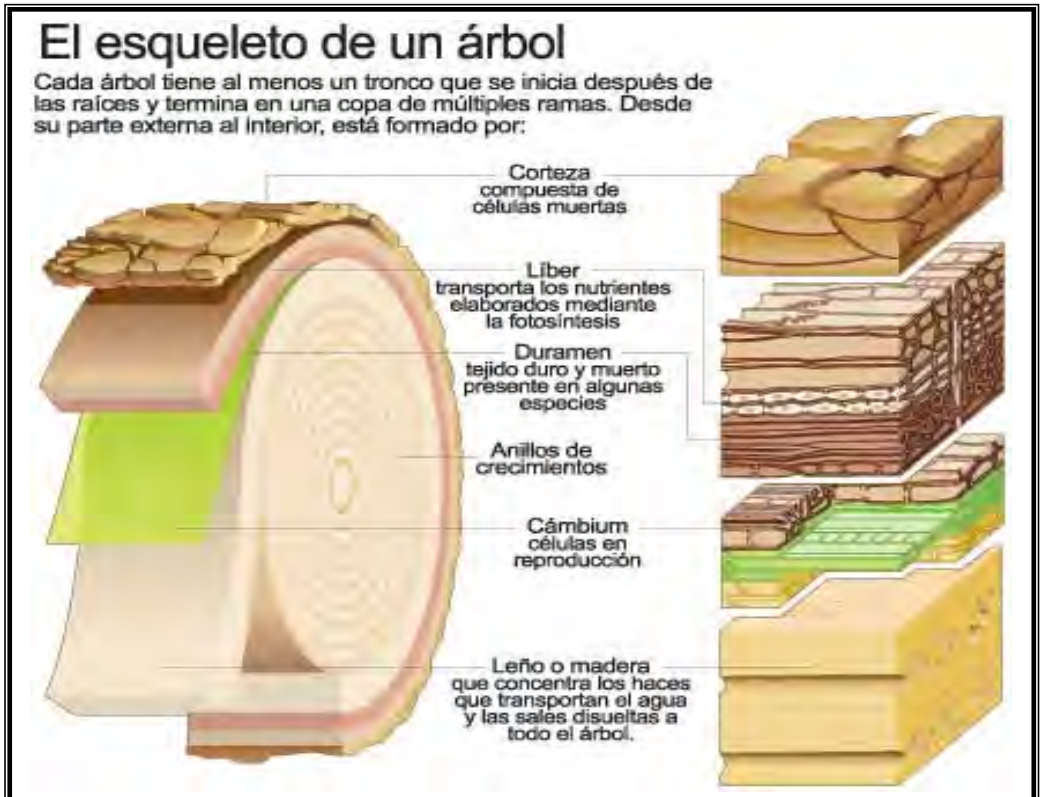

Figura 2: Corte transversal de un tronco

protuberancias, escamas o placas, donde se pueden identificar por la textura de su corteza, por el patrón de superficie o por el color.

Corteza interna o floema: de la corteza externa le continua una delgada cubierta compuesta por células alargadas, conocida como floema, unidas por sus extremos formando largas columnas verticales, estas células constituyen largos ductos que permiten el rápido transporte de azucares, fotosintetizados por las hojas, hacia las raíces, ya sea para su uso inmediato o su almacenamiento.

Cambium: es una delicada cubierta de células embrionarias, que se encuentran en la parte interna del floema, estas células continúan su reproducción durante toda la vida del árbol, las células desplazadas hacia la parte externa del cambium forman el floema y las que crecen al interior forman el xilema; el crecimiento en grosor del tronco, desde la germinación hasta la edad adulta, depende exclusivamente de la actividad del cambium.

Madera: las células del xilema que continuamente se están reproduciendo en el cambium, pueden adquirir forma de cilindros relativamente largos o elementos vasculares, o cortos llamados traqueídas, los cuales se adelgazan en sus extremos, la madera de árboles deciduos pueden tener, tanto elementos vasculares como traqueadas.

Albura: está formada por células muertas y huecas del xilema y transportan activamente el agua y los nutrientes del suelo (Owen, 1977).

6.1.1. *Abies religiosa* (H.B.K)

Árbol de 35 (50-60) 45 m de altura, con tronco de 1 (1.50) -1.80 m de diámetro; ramas extendidas con 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. Las ramillas son colgantes, comúnmente opuestas en cruz. Hojas alternas dispuestas en espiral, lineares, derechas o algo falcadas, subdísticas, torcidas en la base, de 20 a 30 mm de largo por 1.5 mm de ancho; ápice agudo y córneo, de color verde oscuro en el haz y glaucas en el envés. Yemas ovoides u ovales, de 6 a 10 mm de color amarillento y protegidas por brácteas delgadas. 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. 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.

6.1.2. *Pinus montezumae* Lamb.

Árbol de 20-30 m de alto, corteza moreno rojiza, gruesa, áspera y agrietada; ramas extendidas con una copa irregularmente redondeada. Hojas en grupos de 5 a 4, anchamente triangulares, de color verde oscuro, de 14-21 cm de largo, son medianamente gruesas y fuertes, extendidas o colgantes, flexibles, con los bordes aserrados. Vainas de 10-20 mm a veces más, anilladas, de color castaño al principio y muy obscuras después. Yemas largamente ovoides, morenas y vellosas. Conillos oblongos purpúreos o moreno azuloso, con escamas anchas. 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 tres; extendidos o ligeramente colgantes, casi

sésiles o sobre pedúnculos de 10-15 mm dejan el pedúnculo en la ramilla. Semillas vagamente triangular, de 6-7 mm; a la obscura de 20 mm de largo por 7 mm de ancho. La madera es blanca y resinosa. Se encuentra formando masas naturales en lugares con precipitaciones pluviales oscilando entre 900 y 1600 mm y entre 11°C y 18°C de temperatura media anual. Frecuenta suelos arenosos, areno-limosos y profundos en altitudes entre 1400 y 3200 msnm. También puede crecer en sitios más secos, aunque en estos lugares los árboles crecen aislados y poco o muy ramificados.

6.1.3. Elementos esenciales

Los elementos químicos que se encuentran en las células vegetales pueden ser diversos, pero el hecho de encontrar un elemento en una planta no es suficiente para concluir que sea esencial para su vida, ya que los minerales son absorbidos principalmente por intercambio iónico del medio, para considerar que un elemento es esencial, es preciso demostrar según los criterios de Arnon. Que la planta no puede completar su ciclo vital normal en ausencia del elemento. Que el elemento sea específico, para una acción fisiológica.

Bollard y Butler diferencian entre elemento esencial según los criterios de Arnon[*] y elemento funcional que es aquel que actúa de modo preciso en el metabolismo, sea o no esencial. Los elementos pueden funcionar como: sustituyentes celulares enzimas o coenzimas; antagónicos en el balance metabólico; amortiguadores de pH y como factores osmóticos.

[*] Arnon es una técnica para los micronutrimentos en las plantas (Rojas, 1993).

6.2. Contaminación en suelos

El deposito ácido y la acumulación de elementos metales de las emisiones industriales ocasionan algunos problemas ecológicos en los bosques, p. e. cambio en el régimen de lluvias y en la química de la precipitación, es decir la lluvia altera las yemas de crecimiento de los árboles brinzales y juveniles, alterando su ciclo biológico y reproductivo (Smith, 1980). Sin embargo, Smith (1980) publico que los metales en suelo también podrían tener una fusión de fertilizantes y coadyuvar a la nutrición de las masas forestales, luego entonces, la diferencia entre una u otra situación depende directamente de la concentración que alcancen.

Las gotas de agua (figura 3) pueden concentrar tal cantidad elemental, que se podría alcanzar niveles tóxicos en los ecosistemas (Albert, 1995), lo cual podría afectar la biodiversidad. Sin embargo, el depositó es un problema regional en donde las transformaciones químicas varían en cantidad y grupos químicos sintetizados, p. e., los niveles de acidez y basicidad de las sustancias, el pH natural puede variar entre 5.0 a 5.6. y cuando los niveles caen por debajo de 5.1 pH las confieras de las zonas altas, se afectadas por lixiviación de calcio, potasio y magnesio, afectando la eficiencia fotosintética y en suelo, se dañan las raíces por el efecto del Ion aluminio liberando desde la arcillas. El plomo y cadmio hace más susceptibles a los árboles a enfermedades (Miller, 1994). Los elementos traza tienen varios orígenes, alcanzan la superficie del suelo alterando las propiedades físicas y químicas, entre más pequeñas sean las partículas, más tiempo persistirán como sustancias tóxicas, esto debido a que las partículas pequeñas aportan una gran área superficial para la absorción de los productos químicos que

se presentan durante el proceso de transformación, son primeramente degradados y depolimerizados hasta sus constituyentes básicos (Hans, 1987) como podrían ser C, O, H, N, K, P, Ca, Mg, S, Na y Cl.

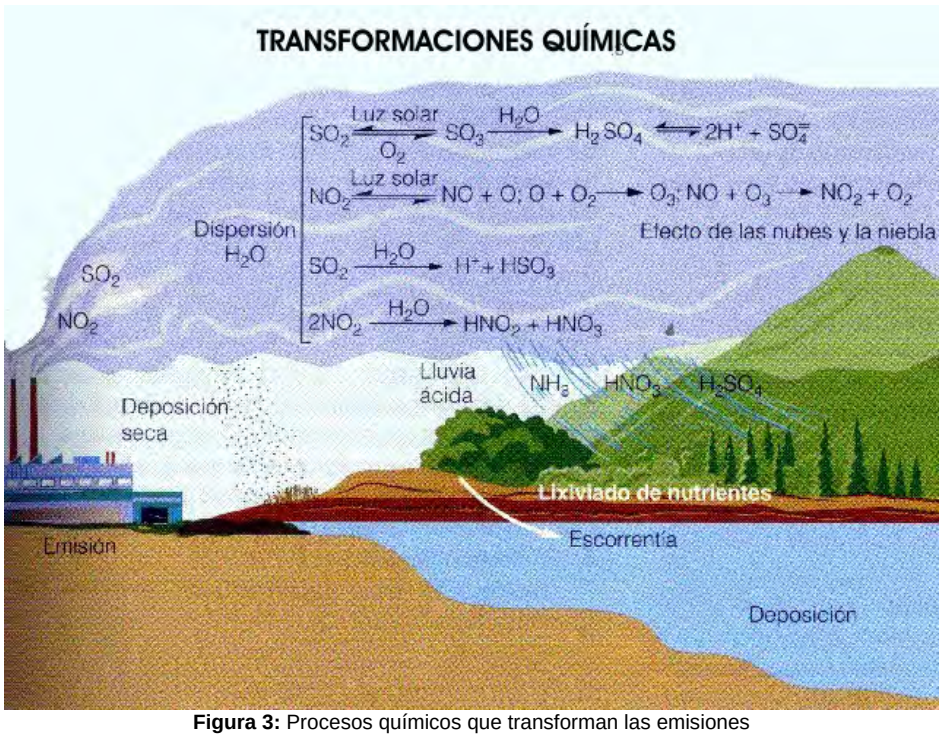

Figura 3: Procesos químicos que transforman las emisiones
http://www.sagan-gea.org/hojared/hoja 13.htm.

6.2.1. Efectos sobre el suelo forestal

El deposito de iónes hídronio en el suelo cambia el pH de la solución, rompe enlaces en las arcillas y altera el flujo de H^+ intercambiable, de ahí que él Al^{3+} y Mn^{2+} se adhieran a las paredes celulares donde desplazan cationes (Ca, K, S, P, Mg) provocando cambios del sitio de la rizosfera durante el periodo de crecimiento vegetal (Junling, 2002) también cambia la absorción de NO^{3-} por efecto de la acidez. Por otro lado la deposito de NO_x, incrementa un equivalente de hidrogeno, en el suelo, que queda como un remanente del balance, este es el proceso inicial

de la acidificación del suelo, la cual incrementa su vulnerabilidad y pone en riesgo a los organismos bacteriológicos en los sistemas forestales (Fulu, 2002).

Así la mayoría de los macronutrimentos (carbono, potasio, calcio, magnesio, fósforo, azufre y micronutrimentos (molibdeno, cobre, zinc, magnesio, hierro, boro) Fortescue (1980), ven aumentada su concentración en los ecosistemas por efecto directo de las emisiones antropogénicas. Estas incluyen a los elementos como: Cadmio, cobalto, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, vanadio y talio con esto es evidente su amplia distribución y elevada concentración en la vegetación y por consiguiente pueden tener un efecto tóxico en los árboles (Smith, 1981 en Calva, 1999).

6.2.2. Factores de variación en la absorción mineral

Las cantidades de iones minerales absorbidas dependen de las condiciones en las que vive la planta: composición química, pH de la solución del suelo, temperatura, iluminación, aireación del medio; el estado fisiológico interno de la planta (fase de desarrollo, edad, estado hormonal) juega un papel muy importante en la absorción (Mazliak, 1976).

Algunos elementos, aunque esenciales, son tóxicos cuando se absorben en exceso, así el pH ácido favorece la absorción de hierro y aluminio y la planta puede presentar síntomas de intoxicación de metales pesados, por exceso pueden descargar las micelas del coloide protoplasmático e inducir la florulación. El Boro y el Cobalto también son tóxicos en cantidades relativamente bajas, y más aún el yodo; otros elementos no son esenciales, pero la planta los absorbe en ciertas

condiciones y pueden resultar nocivos. El fluor es absorbido de la atmósfera por plantas que viven en áreas industriales, este elemento las daña pues inhibe a la enzima enolasa y reduce la actividad de las fosforilasas.

La planta toma sus nutrimentos minerales en forma iónica, pero eventualmente absorbe moléculas, por la raíz y hojas, las moléculas entran a la célula de acuerdo a su solubilidad en las grasas, siendo las más liposolubles las que ingresen con mayor facilidad. También las sales minerales sirven a la planta como nutrientes inorgánicas para construir sus moléculas de proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, se toman del suelo en forma ionizada, la entrada de iones es, pues de primordial importancia metabólica y de gran interés fisiológico (Rojas, 1993).

6.2.3. Transporte de nutrimentos

Una vez que los iones entran al pelo radical o célula epidérmica, llegan al xilema para ser translocados hacia las hojas, órgano donde se efectúa la asimilación de los iones, al incorpóralos en las moléculas activas durante el metabolismo (Rojas, 1993).

Mazliak, 1976, menciona que el silicio, es abundante en la superficie terrestre, y está prácticamente ausente en la materia vegetal y donde las raíces de las plantas suministran a una parte de la población aminoácidos simples y factores de crecimiento tales como la aneurina y la biotina. A lo cual la precipitación es un indicador útil de contaminantes ambiental los niveles y los análisis producen datos

valuados en entradas de nutrimentos y compuestos tóxicos en biota acuática y terrestre (Peden y Skowron, 1978).

6.2.4. Necesidades de nutrimentos en las plantas

Una característica común a todos los nutrimentos es el hecho de que a partir de una determinada concentración, una vez superado el intervalo óptimo, toda cantidad adicional se vuelve tóxica para las plantas como muestra en la figura 4 incluso llegando a un nivel en el que es letal.

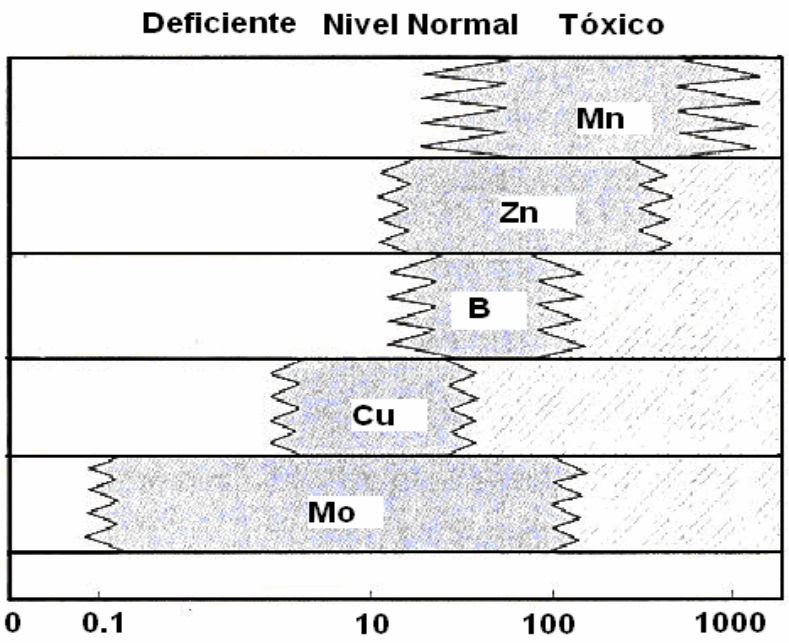

Figura 4: Concentraciones de micronutrimentos donde muestra las cantidades de amortiguamiento para un estado normal llegando a la toxicidad (Alloway, 1990)

6.2.5. Toxicidad de los metales en plantas

En concentraciones excesivas los metales esenciales y no esenciales, provocando efectos fitotoxicos como:

- Cambios en la permeabilidad de la membrana celular Ag, Au, Br, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb.
- Reacciones en los grupos sulfhídrico (-SH) con cationes Ag, Hg, Pb.
- Competición de los sitios con metabolitos esenciales, As, Sb, Se, Te, W, F.
- Afinidad para reaccionar con grupos fosfato y grupos activos de ADP o ATP.
- El Al, Be, Y, Zr, lantánidos y posiblemente todos los metales pesados.
- Emplazamiento de iones esenciales Ca, Mg, K, Zn, Cu, Co, Mo, Cd y Ni por otros como: Cs, Li, Rb, Se, Sr.
- Ocupación de los sitios por grupos esenciales como fosfatos y nitratos boratos (Kabata y Pendias,1992).

6.2.6. Esencialidad, deficiencia y exceso

Los elementos traza esenciales para las plantas no pueden ser substituidos por otros en sus funciones bioquímicas específicas, tienen una influencia directa en el metabolismo del organismo y éste no puede crecer ni completar algún ciclo vital. Bowen (1979) clasificó las funciones y formas de los elementos de los organismos, basado en el estado actual del conocimiento, de este modo se tiene la siguiente división de elementos traza que están en las plantas. Ocupación de los sitios por grupos esenciales como fosfatos y nitratos boratos (Kabata y Pendias, 1992)

Aquellos incorporados dentro de estructuras materiales Si, Fe, raramente Ba y Sr. Son enlazados dentro de pequeñas moléculas miscelánea, incluyendo antibióticos y porfirinas As, B, Br, Cu, Co, Fe, F, Hg, I, Se, Si, y V. Aquellos combinados con

grandes moléculas, principalmente proteínas, incluyendo enzimas con propiedades catalíticas Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, Ni, y Zn. Aquellos que están incorporados a grandes moléculas teniendo almacenamiento, transporte o funciones desconocidas Cd, Co, Cu, Fe, Hg, I, Mn, Ni, Se, y Zn. Aquellos relacionados con organelos o sus partes (Ej. mitocondrias, cloroplastos, algunos sistemas enzimáticos) Cu, Fe, Mn, Mo, y Zn.

Si el cambio de un elemento traza esencial es inadecuado, el crecimiento de la planta es anormal e impide el desarrollo de sus ciclos metabólicos y el desorden fisiológico se manifiesta. Los síntomas de deficiencia no pueden ser generalizados, la clorosis es deficiencia visibles, sin embargo, la distorsión en procesos metabólicos como la producción de biomasa pueden ocurrir antes que los síntomas de deficiencia sean reconocidas. Por lo tanto la génesis del suelo y propiedades son los principales factores que controlan las deficiencias de micronutrimentos (Kabata y Pendias, 1992)

VII. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

7.1. Ubicación

EL Parque Nacional Zoquiapan, se fundo en Marzo de 1937 esta ubicado en los límites del Estado de México y Puebla. Comprende parte de los municipios de Texcoco, Ixtapaluca, Tlalmanalco, Chalco en el Estado de México; Tlahuapan y San Salvador el Verde en el estado de Puebla este parque se localiza en la región montañosa conocida como la Sierra Nevada. (figura 5). Con una superficie de 20,454 Ha, la mayor parte esta en el estado de México.

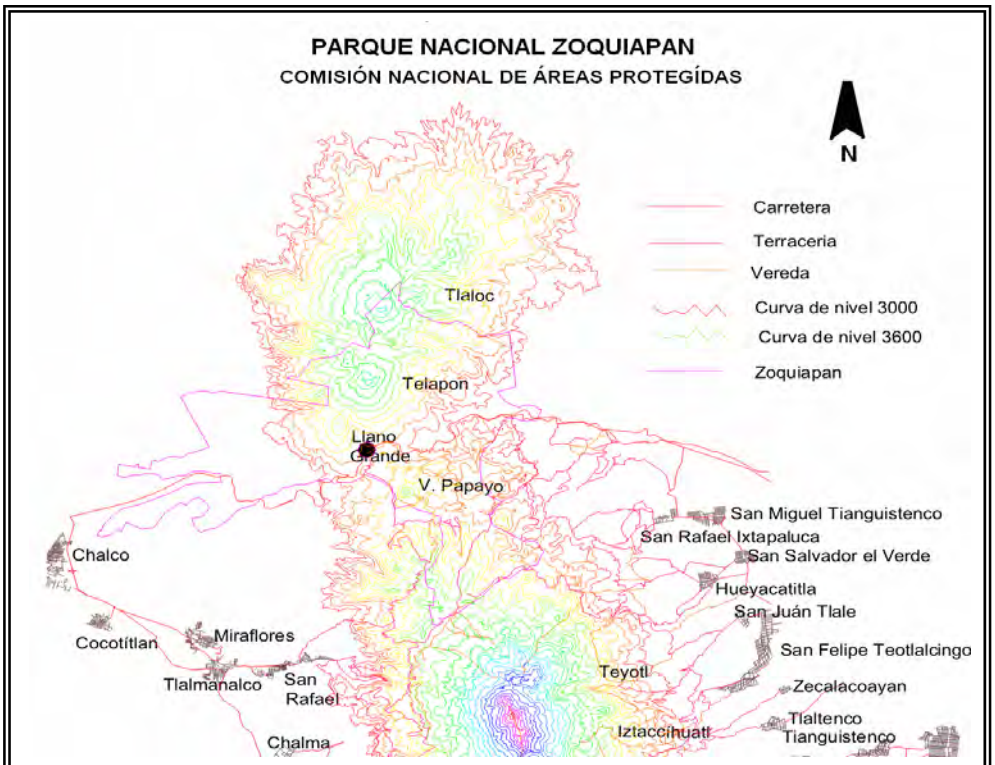

Figura 5. Localización de la zona de estudio

Al Norte se encuentra la Sierra de los Órganos, al NE convergen los limites de los estados de México, Puebla y Tlaxcala; al Este el poblado de San Pedro Matamoros, al

SSE por el pecho del Iztaccihuatl; al Sur se encuentra situada la fábrica de Papel San Rafael; al SW los pueblos de Tlalmanalco e Ixtapaluca.

El municipio pertenece a 2 regiones morfológicas; de la cota 1,000 hacia el norte, al declive del golfo y de la misma cota hacia el sur, a la Sierra Norte. La Sierra Norte o Sierra de Puebla, está formada por Sierras paralelas, comprimidas las unas contra las otras y que suelen formar grandes o pequeñas altiplanicies intermontañas que aparecen frecuentemente escalonadas hacia la costa, en tanto que el declive del golfo es el declive septentrional de la Sierra Norte hacia la llanura costera del Golfo de México y se caracteriza por sus numerosas chimeneas volcánicas y lomas aisladas. El Municipio presenta un declive accidentado; a excepción de algunos cerros aislados como El Ahuatzingo, presenta un declive constante, en dirección Sur-Norte, por lo que prácticamente forma parte del declive del Golfo. Su altura con respecto al nivel del mar oscila entre 400 y 1480 metros. Cerros: Cosoltepec y Tepehica.

7.1.2. Clima

El municipio se localiza en transición entre los climas templados de la Sierra Norte, y los cálidos del declive de Golfo; presenta el Clima semicálido subhúmedo con lluvias todo el año. El tipo de clima es subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media del mes más frío inferior a 18° C pero superior a -3° C.

7.1.3. Suelos

Son Andosoles móllicos (FAO-UNESCO,1994) el relieve que presenta esta fuertemente inclinado con pendiente de 25 a 50%, su drenaje es moderado a bien drenado y su profundidad va hasta 100 cm sin impedimento para las raíces. Son suelos derivados de

cenizas volcánicas, sobre las cuales la acción climática y la vegetación han influido para dar origen a dos perfiles de suelo bien diferenciados: uno sustenta vegetación de Pino (*Pinus montezumae*) principalmente y el otro Oyamel (*Abies religiosa*). El territorio presenta suelos pertenecientes a tres grupos: ***Andosol***: Ocupa la parte meridional, es el suelo predominante y presenta fase pedregosa, ***Luvisol***: Ocupa un área reducida del sur. ***Litosol****:* Se localiza bordeando los suelos andosoles.

7.1.4. Vegetación y Fauna

El Municipio presenta áreas muy reducidas de bosques; tan solo al Sureste y al Suroeste, bosque Mesófilo de montaña y selva alta perennifolia respectivamente.

Los rodales de las tres especies acumuladoras se localizan en el Cerro Tlatelpa, faldas del Telapón en la ladera Oeste. Ahí Abies religiosa es dominante y *Cupressus lindleyi* y *Pinus montezumae* son acompañantes. También están presentes *Quercus sp. , Pinus pseudostrobus, Alnus spp*. En las faldas del Cerro se localizan cultivos temporales, cuya superficie va en aumento en detrimento del Bosque de Pino-Oyamel.

Fauna: Tejón, tuza real, armadillo, martas, reptiles, tigrillos, aves canoras (clarin, jilgueros, primaveras) mapaches, conejo, zorra y ardilla

VIII. MÉTODOS

La fase de campo se realizó en dos muestreos una para el suelo y la otra para la olecta de los anillos de crecimiento de ambas especies arbóreas.

8.1. Fase de campo: Para la toma de muestra, se realizaron dos perfiles a una profundidad de 0 a 120 cm figura 6 se tomó una cantidad aproximada de 1 kilogramo se envasaron en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas para su fácil manejo, bajo estas condiciones se transportaron al Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES-Zaragoza, UNAM.

Figura 6: Toma de muestras para suelo y anillos de crecimiento en *Abies religiosa y Pinus montezumae*

8.1.2. Fase de laboratorio: Una vez en el laboratorio, se procedió a secar las muestras a temperatura ambiente, donde posteriormente se realizó un tamizado a cada una de ellas con malla de 2 mm, después sé tomaron 100 gramos de muestra representativa y se llevaron al Instituto de Física para realizar pastillas de 0.5 cm de diámetro por 3 mm de espesor. A las pastillas se les aplico 4 ton de

presión en una prensa hidráulica, cada una de las muestras se sometieron a una irradiación de protones en un acelerador de Van Graaff de 5.5 MeV perteneciente al Instituto de Física de la UNAM, donde los detectores empleados fueron dos uno para elementos ligeros Si (Li) y otro de Germanio (Li) para elementos pesados los cuales se dispusieron a un ángulo de 45^0 con respecto al haz incidente y el colimador se ajusto a 0.5 mm Estos detectores están conectados a un analizador multicanal, donde aparece el espectro de la muestra analizada este espectro será analizado con un programa denominado GUPIX que interpreta cada uno de los espectros la concentración (Miranda, 2000a).

8.2. Fase de campo: Una vez elegida la zona, se identificaron las especies de *Pinus montezumae* y *Abies religiosa* que se encontraban en buen estado, como: vigor, capa frondosa, sin parásitos, sin plantas parasitarias, ausente de daño alguno como machete, hacha, ocoteados donde los diámetros oscilaron 150 a 2.45 m, para realizar el estudio se obtuvieron muestras de cuatro árboles a cada uno de ellos se les extrajo un par de núcleos de madera (anillos de crecimiento) figura 6 con un taladro Pressler de 0.5 mm y se colocaron en popotes para su traslado al laboratorio.

Los orificios hechos al *Abies religiosa* y *Pinus montezumae* por la extracción de los núcleos fueron sellados con palillos de madera previamente tratados con formol al 10 %, esto para evitar que las bacterias u hongos invadan el orificio y así evitar un posible daño al arbolado (Watmough *et al.*, 1998).

8.2.1. Fase de laboratorio: Los núcleos extraídos de los árboles del Parque Nacional Zoquiapan fueron seleccionados selectivamente bajo los criterios de 1:20 m de diámetro y sin que presente daño físico. Debidamente etiquetados y

conservados se trasladaron al Laboratorio de Contaminación Atmosférica para su secado en una estufa Kinet (modelo 53874) a 40° C por 24 horas, evitando el exceso de agua y la posible proliferación de hongos. Posteriormente se colocaron en bastidores de madera a fin de orientarlos tangencialmente, para realizar el rasurado exponiendo el ancho del anillos en acuerdo a lo descrito por Fritts (1986). Dejando expuestas las dos regiones del anillo de crecimiento (verano y primavera), se marcaron las divisiones de cada región en papel milimétrico a fin de que nos permita situar el año del anillo y su ubicación para incidir el haz de protones. Al marcar los anillos de crecimiento también es posible cuantificar las anchuras (mm) con la ayuda de un estereoscopio (20x).

8.3 Emisión de rayos x inducida por partículas (PIXE).

La técnica analítica tiene como principio la medición de energía de rayos X característicos de los átomos, al ser ionizados o excitados a fin de decaer electrones de las capas superiores. La emisión de rayos X sucede cuando el átomo emite un fotón energético al suplir la vacancia de las capas donde los electrones fueron arrancados por la partícula incidente (protón), como se ilustra en la figura 7 así que las capas internas de los átomos del material nos muestra el elemento retenido por la matriz y que se compara con el espectro de una referencia. Al medir los rayos emitidos, se obtiene información de los elementos de la muestra. Si se bombardean las muestras de suelo y anillos de árboles (figura 8) los rayos x son cuantificados en un detector de estado sólido de Si (Li) y de ahí llevados a una tarjeta multicanal donde son acumuladas las energías producidas, obteniéndose espectros, donde se analizan posteriormente con un programa de

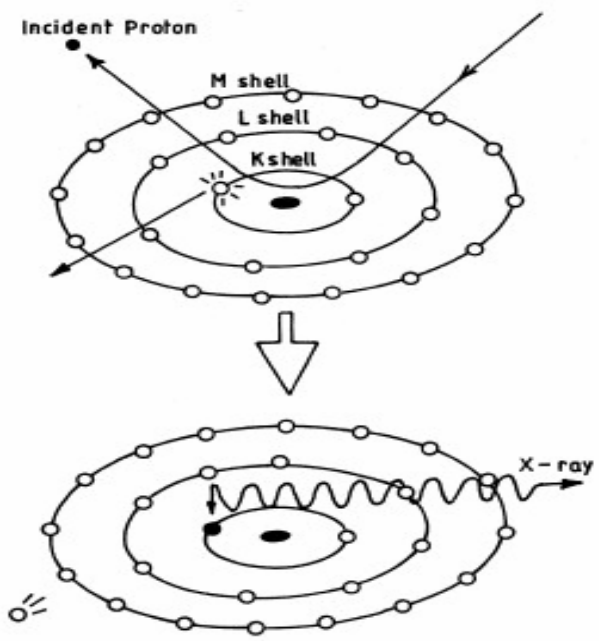

Figura 7: Representación grafica de los electrones en las capas de valencia http://fys.kuleuven.be/iks/nvsf/Exp_Facility/pixe.htm

computo (GUPIX) donde se obtienen las mediciones de elementos totales de las muestras analizadas.

Figura 8: Irradiación de haz de protones en muestras de suelo y anillos de crecimiento Mediante Técnica de PIXE

X. ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1. Parámetros físicos y químicos del suelo en 1993 y 1999.

El ***pH Potencial*** registro (figuras 9A1 y B1) un ascenso de 4.7 a 4.8 unidades a las profundidades de 15 a 60 cm. Los cambios registrados en el periodo de seis años oscilan entre los 4.8 a 5.2 en el pH potencial y en el real, va de 5.6 a 6.0.

El registro del pH en el suelo de Zoquiapan se ubica, de acuerdo con Ortiz-Villanueva y Ortiz Solorio (1990), en acidez moderada a ligera. Siendo que esas concentraciones Kabata y Pendias (1992) las consideran como de acidificación y

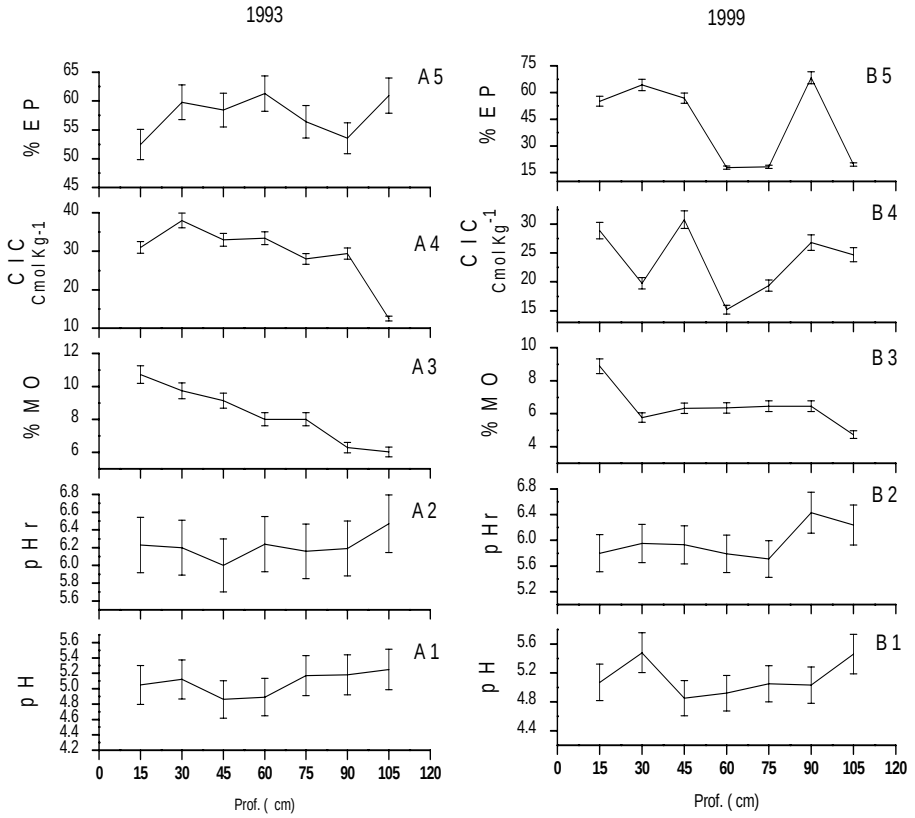

Figura : 9 Propiedades fisico y quimicas del suelo periodo 1993-1999.

que podrían causar daños hacia las raíces más finas del arbolado. En diferentes estudios se ha reportado acidez del suelo (Levy et al. 1996) en un bosque de encinar con pH de 4.60 a 5.05.

La ***Materia Orgánica*** (figuras 9 A 3 y B 3 Pág. 26) tiende a disminuir en las partes mas profundas del perfil del suelo, y al comparar los registros de 1993 *vs* 1999 se pudo determino un disminución en los intervalos que van de 6-11% a 4-9%, respectivamente. Es posible explicar la disminución de la MO por un efecto en la actividad de la pedofauna. En suelos forestales las condiciones de acidez ocasionadas por la materia orgánica, pueden provocar movilidad de metales como el aluminio, hierro y manganeso a través de todo el perfil del suelo donde la formación de complejos orgánicos-solubles pueden contribuir de manera importante al transporte de estos metales (Bohn, 1993)

La ***Capacidad de Intercambio*** mostró una disminución de 20-40 Cmol Kg^{-1} en 1993 a 30-15 Cmol Kg^{-1} para el año de 1999. De esta manera se determina una ganancia ligera de las bases intercambiables seguramente por el depósito atmosférico de cationes provenientes de las emisiones del volcán Popocatepetl. Cabe hacer mención que en la mayor profundidad (105 cm) este comportamiento no fue observado.

Por su parte el **Espacio Poroso** (figura 9 A5 y B5) prácticamente no vario entre los 45-60% en las tres primeras profundidades (0 a 45 cm), seguidos de un decaimiento hasta 45% que corresponde a la profundidad 45-90 cm, finalmente hay un incremento hasta 60% y un retorno al 45%. El espacio poroso no varia en

las tres primeras profundidades expresando así una aceptable permeabilidad del suelo, y la conducta fluctúate en las siguientes tres nos expresa la desintegración de las partículas del suelo.

La ***Características Texturales*** (figura 10) la textura del suelo es un parámetro que tiene más influencia, con respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas.

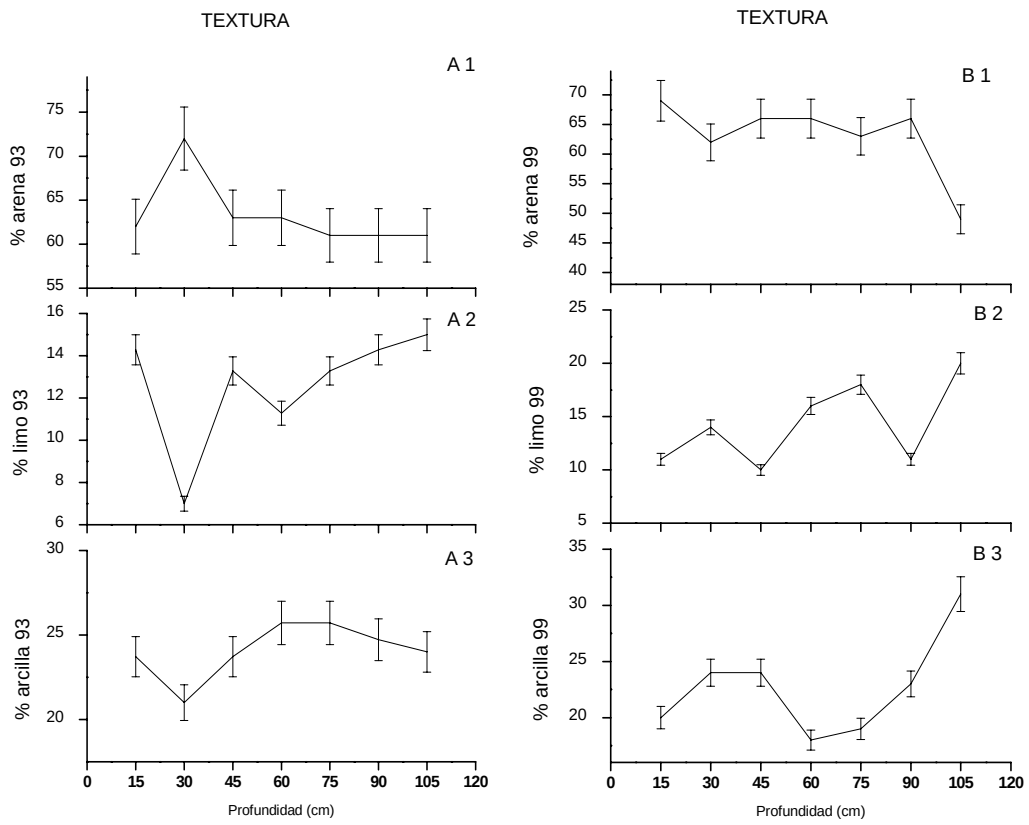

Figura :10 Propiedades físicas del suelo periodo 1993-1999.

Las ***Arcillas*** (figura 10 A3 y B3) constituyen la parte fundamentalmente del suelo ya que estas partículas se ven involucradas en el Intercambio Cationico, las

arcillas con hidrógeno presentan una baja estabilidad y se descomponen liberando H^+ y desplazan el Al de la red cristalina, el Al se encuentra ahí formando los hidróxidos que al ser desplazados por los protones fomentan su deposito entre los minerales (Ortiz-Villanueva y Ortiz Solorio, 1990). Dado que participan en la liberación de cationes divalentes y trivalentes, la disminución de arcillas provoca una reducción del porcentaje de materia orgánica como se ve en la figura 10 donde existe una considerable baja de materia orgánica del periodo 1999.

El ***Limo*** oscila entre 7-15 % periodo 1993 (figura 10 A2) al compararlos con los obtenidos en 1999 (figura 10 B2), donde los valores oscilan entre el 10–20 %. El aumento de limos es el resultado de la degradación del material arenoso, por desgaste o meteorización es propiciado por las sustancias acidificantes depositadas en el suelo donde provocan un decremento en las arcillas, afectando negativamente la Capacidad de Intercambio Cationico (CIC).

Por otro lado las ***arenas*** (figura 10 A 1) presentan pequeños incrementos de sus partículas en las profundidades de 45–75–90 cm lo que permite una lixiviación en la zona.

10.2. CATIONES INTERCAMBIABLES (Ca, K, Mg, Na) 1993 y 1999.

Los cationes intercambiables Na, K, Ca y Mg se representa en la figura 11 durantes los dos muestreos 1993-1999. Todos los elementos mostraron una conducta no definida con respecto a la profundidad del perfil, por lo que fue

necesario elegir el valor “promedio” de la profundidades, así el Na disminuyo de 1993 con un valor promedio de 600 mg Kg^{-1} a 500 mg Kg^{-1}. El K paso de una concentración de 500 mg Kg^{-1} en 1993, a 750 mg Kg^{-1} para el año de 1999. Por su parte el Ca no vario, al transcurso de los seis años en gran medida su concentración promedio 80 mg Kg^{-1}. Por su parte el Mg mostró un valor promedio 50 mg Kg^{-1}, reduciendo por debajo de la misma concentración para el año de 1999.

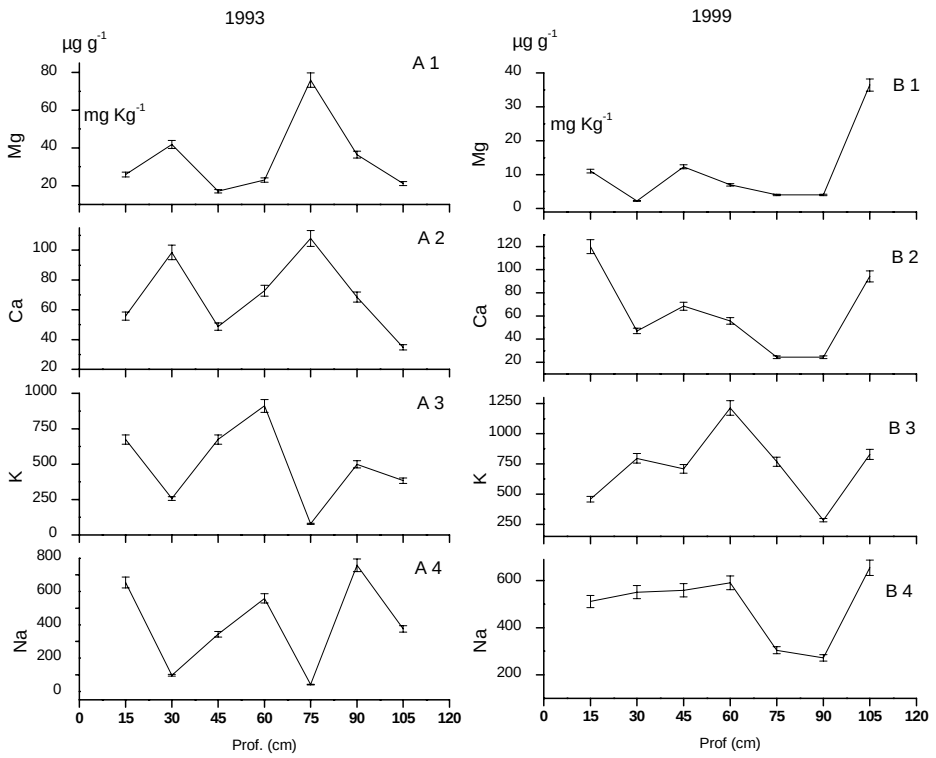

FIGURA : 11 Cationes del suelo periodo 1993-1999

De acuerdo con Ortiz-Villanueva y Ortiz (1990) los cationes son absorbidos por las arcillas y coloide orgánicos, atraen los cationes o nutrimentos esenciales para las plantas. Así en 1999 mostró un pH_r en la profundidad 15 cm de 5.8 en donde

los cationes y elementos presentes se lixiviaron a partes más profundas de 60 a 105 cm donde estas aumentaron las concentraciones de cationes y a su vez el aumento del pH_r 6.43 en la profundidad 90 cm. En comparación con el año de 1993. La acidez del suelo esta determinada, principalmente por la composición de su fase sólida (CaO, MgO, K_2 O, Na_2 O, FeO y NH_3). Estas sustancias aceptan protones donde pueden producir un aumento en el CIC y un aumento de pH en la zona sin embargo, el mecanismo de regulación de pH por las bases intercambiables no neutraliza, sino que la almacena en forma de acidez (potencial) intercambiable; la Materia Orgánica juega un papel importante por sus iones (carboxilo ($R\text{-}CO.O^-$) fenólicos ($\varnothing\text{-}O^-$), alcohólicos ($R\text{-}O^-$), grupos metoxi ($-OCH_3$), grupos amino ($R\text{-}NH_2$) y de grupos sulfidrilos ($R\text{-}S^-$) la carga que desarrollan estos grupos funcionales dependen en gran medida del pH de la solución del suelo. El continuo intemperismo y la lixiviación de bases intercambiables pueden producir altos valores de Al^{3+} intercambiable, como se ve en la figura 25 A 2 pp. 57 y la migración de arcilla, limo, arena y materia orgánica y valores de pH con 5-7 Aguirre (2001).

En la figura 12 se muestra la asociación que existe entre las diferentes variables físicas y químicas del suelo en relación al tiempo (1993 y 1999). Así podemos determinar que el grupo de mayor asociación fue para las variables espacio poroso (EP) y arcillas (amarillo), y al mismo tiempo con el pH real (pHr). La MO y

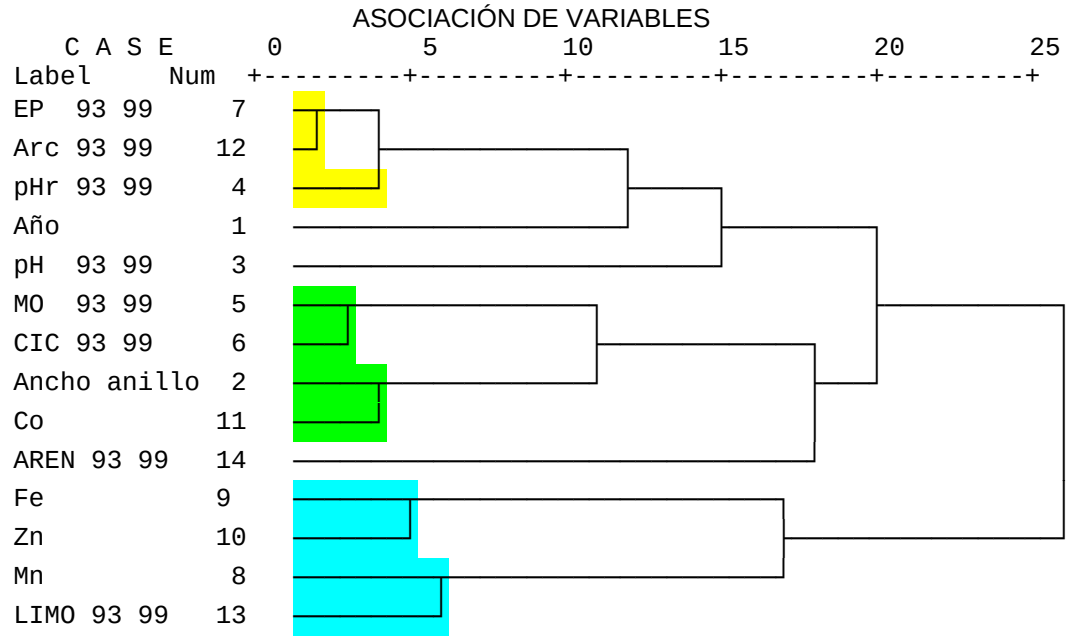

Figura 12: Correlación de la clase textural con los parámetros fisicoquímicos de suelo forestal de Zoquiapan. EP = espacio poroso, Arc = arcilla, LIM = limo, MO = Materia Orgánica y CIC= Capacidad de Intercambio Cationico.

CIC fue el segundo grupo (verde) de asociación determinado que a su vez se relaciono con el Cobalto (Co) y el ancho del anillo de crecimiento del árbol. Finalmente el limo agrupa con el Mn y a su vez con Fe y Zn; (azul) situación que afirma lo expuesto por diversas investigaciones realizadas en bosques fríos.

10.3. MACRONUTRIMENTOS EN SUELO Y MADERA DEL OYAMEL Y PINO

10.3.1. Macronutrimentos (Ca, P, K, N, , S, C) en el Suelo Zoquiapan

La mayor cantidad de **Ca** (Fig. 13 A 6) correspondió al año 1993 y fue en la profundidad 30-45 cm. con 47 *mg* Kg^{-1} la concentración menor estuvo en la profundidad 15 cm. con 0.67 *mg* Kg^{-1} Kabata y Pendías (1992), menciona que el Ca es el principal elemento del suelo y va a depender del pH para que pudiera ser sustituido por algún otro elemento presente. El Ca en el año de 1999 (figura, 13 B 6) presento concentraciones mayores en las profundidades 60, 90-105 cm este siendo más alto con 2.5 *mg* Kg^{-1} Kabata y Pendías 1992 menciona que este elemento puede ser sustituido por algún otro elemento o partícula del suelo. El calcio es un catión que se intercambia en el complejo de intercambio y es altamente probable que su disminución se deba al efecto de la entrada de H^+

El **P** en el año 1993 (Fig. 13 A 5) alcanzo su máxima concentración en la profundidad 15 cm con 0.46 µg g^{-1} y la más baja concentración, correspondió para la profundidad 30 cm con 0.2 µg g^{-1}, Mojica (2003), menciona que este elemento es absorbido en forma de Ion en sus intervalos de forma normal divalente. Mientras que en el año 1999 (Fig. 13 B 5) la mayor concentración de P se encontró en la profundidad 60 cm con 11 *mg* Kg^{-1} y su concentración menor se localizó en la profundidad 30-45 cm 2 *mg* Kg^{-1} teniendo un aumento de concentración en varias profundidades.

En 1993 el **S** (Fig. 13 A 4) estuvo por debajo del umbral de detección mientras que en 1999 el máximo se registró en una profundidad de 60 cm con 1.6 *mg* Kg^{-1}.

Teniendo movilidad de este elemento a las partes más profundas de acuerdo con Tisdale *et al* (1985), este macronutrimento es absorbido por las raíces como Ion Sulfato.

El **K** 1993 (Fig. 13 A 3) tuvo su concentración máxima en la profundidad 45 cm (Fig. 13 A 5) 238.4 *mg* Kg^{-1} y la menor concentración se presenta en la profundidad 75 cm con 191.1 *mg* Kg^{-1} y en la profundidad 90-105 cm no fueron detectadas concentraciones, según Junling (2002) menciona que el K tiene baja

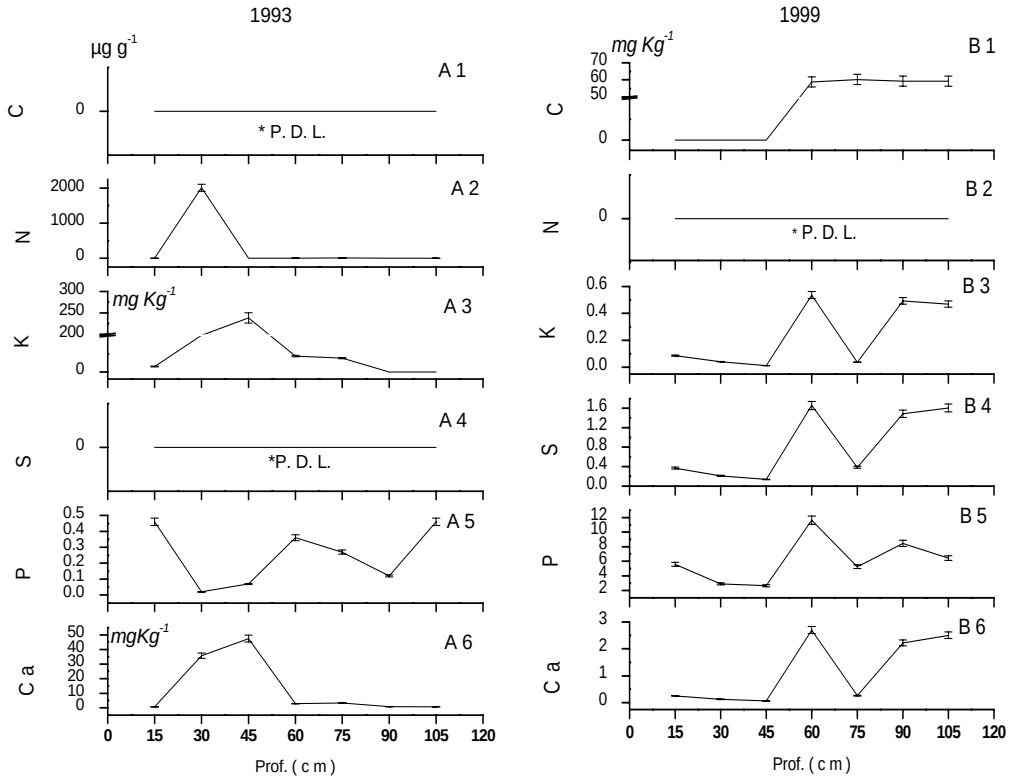

FIGURA 13 : Representación de macronutrimentos detectados en µg g^{-1} por PIXE en suelo 1993-1999 del Parque Nacional Zoquiapan (* por debajo del limite de detección) representados *mg* Kg^{-1}

movilidad en el suelo lo cual pudiera explicar las excesivas concentraciones de este elemento.

Mientras que en el año 1999 el K (figura 13 B 3) su máxima concentración fueron en las profundidades 60, 90-105 cm con 536.54 µg g^{-1} mientras sus concentraciones más bajas estuvieron en las profundidades 45 cm con 12.5 µg g^{-1} según Junling (2002) menciona que la posible disminución de cationes en suelos está limitada por las profundidades del suelos.

En cuanto al **N** detectado en 1993 (figura 13 A 2) su máxima concentración se encuentra en la profundidad 30 cm con 2 *mg* Kg^{-1} hasta no detectarse en la profundidad de 90 cm Con respecto al N en 1999 (figura 13 B 2) los detectores de PIXE no obtuvieron concentraciones por estar por debajo del umbral de detección. Donde el N se encuentra en mayor disponibilidad entre pH 6 a 8 y en Zoquiapan del periodo de 1993 se registro un pH de 6 a 6.47 y en 1999 el pH se registro en 5.7 a 6.4.

En 1993 el **C** (figura 13 A 1) no fue detectado por estar por debajo del umbral de detección, mientras que en 1999 (Fig. 13 B 1) tuvo una máxima concentración en la profundidad 105 cm con 59.2 *mg* Kg^{-1} donde indica movilidad de este elemento a las partes más profundas del suelo.

En la figura 14 muestra la agrupación de las variables donde arrojo como primer

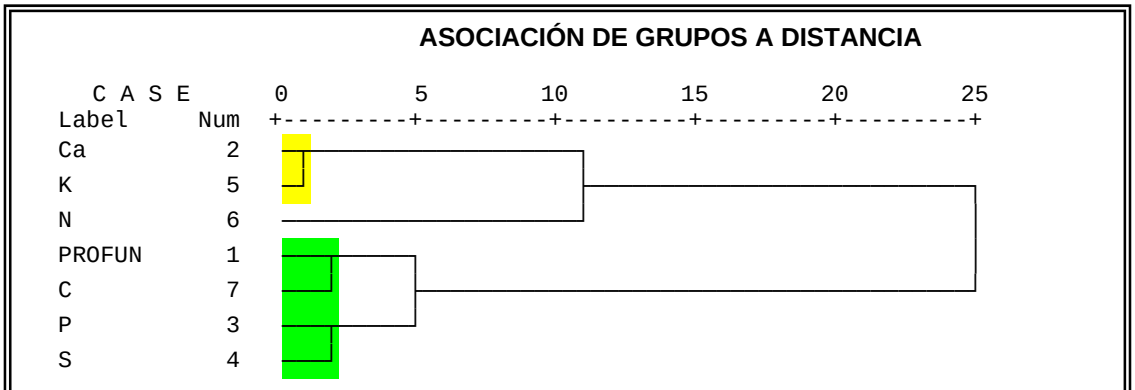

Figura 14: Agrupación de macronutrimentos en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan

grupo asociado Ca y K estos son antagónicos (amarillo) y su posible, inhibición metabólica con el N. Así mismo la relación presente en la profundidad del suelo con C y con otros como P y S (verde) estos macronutrimentos se encuentran más disponibles en un pH de 6 a 8 y se registro un pH de 6 a 6.43 existiendo una forma aprovechable para la planta Ortiz-Villanueva y Ortiz Solorio (1990).

En Cuadro 1 se muestra una correlación de Pearson donde se tienen los macronutrimentos detectados por (PIXE) en suelo de ambos periodos de 1993-

Cuadro 1: Correlación de Pearson de los macronutrimentos, ancho del anillos de crecimiento y periodos de colecta del suelo.

	ANCHO	**Ca**	**Ca 93 99**	**P 93 99**	**K 9 399**	**S 93 99**
ANCHO	1.0000	-.4440	-.2975	.2536	-.3049	-.2065
	(0)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .	P= .129	P= .324	P= .403	P= .311	P= .499
Ca	-.4440	1.0000	.3982	-.0318	.1093	.3815
	(11)	(0)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .129	P= .	P= .178	P= .918	P= .722	P= .198
Ca 93 99	-.2975	.3982	1.0000	.1509	**.9254**	.2428
	(11)	(11)	(0)	(11)	(11)	(11)
	P= .324	P= .178	P= .	P= .623	P= .000	P= .424
P 93 99	.2536	-.0318	.1509	1.0000	.0834	**.7672**
	(11)	(11)	(11)	(0)	(11)	(11)
	P= .403	P= .918	P= .623	P= .	P= .787	P= .002
K 93 99	-.3049	.1093	**.9254**	.0834	1.0000	.1568
	(11)	(11)	(11)	(11)	(0)	(11)
	P= .311	P= .722	P= .000	P= .787	P= .	P= .609
S 93 99	-.2065	.3815	.2428	**.7672**	.1568	1.0000
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(0)
	P= .499	P= .198	P= .424	P= .002	P= .609	P= .
K	-.7092	**.6826**	.1873	-.0599	.1354	.5387
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .007	P= .010	P= .540	P= .846	P= .659	P= .057
Mg	-.2272	-.1179	-.4341	.2120	-.3928	.2552
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .455	P= .701	P= .138	P= .487	P= .184	P= .400

(Coefficient / (D.F.) / 2-tailed Significance)

1999 donde el grado coeficiente de correlación esta en Ancho y K (0.7092), Ca y K anillos (0.6826), Ca y K suelo (0.9254), P y S suelo (0.7672), S y P suelo (0.7672).

En el **Cuadro 2** se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los macronutrimentos, Ca, K, S, detectados por (PIXE) en suelo en ambos periodos (1993 y 1999) donde los valores fueron : Ancho y Ca (0.6354), Ancho y K suelo (0.6411), Ca 9399 y Ancho (0.5221), K 9399 y Ca 9399 (0.5175), Ca suelo y S suelo (0.94), K suelo y ancho (0.6411), K suelo y Ca (0.5116), S suelo y Ca (0.9400).

Cuadro 2: Correlación de Pearson de los macronutrimentos Ca, K, S en suelo para 1993 y 1999.

	ANCHO	**Ca 9399**	**K 9399**	**Ca SUE**	**K SUEL**	**S SUEL**
ANCHO	1.0000	**.5221**	-.4875	**.6354**	**.6411**	.4823
	(0)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .	P= .099	P= .128	P= .036	P= .034	P= .133
Ca 9399	.5221	1.0000	**.5175**	.0502	.3335	-.0572
	(9)	(0)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .099	P= .	P= .103	P= .883	P= .316	P= .867
K 9399	-.4875	-.5175	1.0000	-.1272	-.3289	-.0366
	(9)	(9)	(0)	(9)	(9)	(9)
	P= .128	P= .103	P= .	P= .709	P= .323	P= .915
Ca SUE	**.6354**	.0502	-.1272	1.0000	**.5116**	**.9400**
	(9)	(9)	(9)	(0)	(9)	(9)
	P= .036	P= .883	P= .709	P= .	P= .108	P= .000
K SUEL	**.6411**	.3335	-.3289	.5116	1.0000	.1944
	(9)	(9)	(9)	(9)	(0)	(9)
	P= .034	P= .316	P= .323	P= .108	P= .	P= .567
S SUEL	.4823	-.0572	-.0366	**.9400**	.1944	1.0000
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(0)
	P= .133	P= .867	P= .915	P= .000	P= .567	P= .
S	.4253	-.1368	.0820	.1539	-.1897	.2731
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .192	P= .688	P= .811	P= .651	P= .576	P= .416

(Coefficient / (D.F.) / 2-tailed Significance)

10.3.2. Elementos macronutrimentos (Ca, K, Mg) en *Abies religiosa*

En cuanto al **Ca** en *Abies religiosa* (Fig. 15 A 3) se registró durante el periodo 1995-2000 con 0.05 *mg* Kg^{-1} la mínima detectada fue entre 1975 hasta 1990 con 0.002 *mg* Kg^{-1} trabajos realizados por Watmough y Hutchinson 1999 encontraron promedio de cinco años en 0.060 y 1.4 *mg* Kg^{-1} de calcio en *Abies Religiosa* en el desierto de los leones.

Mientras el **Ca** detectado (Fig. 15 B 3) tubo una mayor concentración 1980-1985 con 14.9 *mg* Kg^{-1} donde la mínima se detecto en el periodo de 1989 con 0.2 *mg* Kg^{-1} de acuerdo con Tisdale *et al.* 1985 el Ca es otro macronutrimento requerido

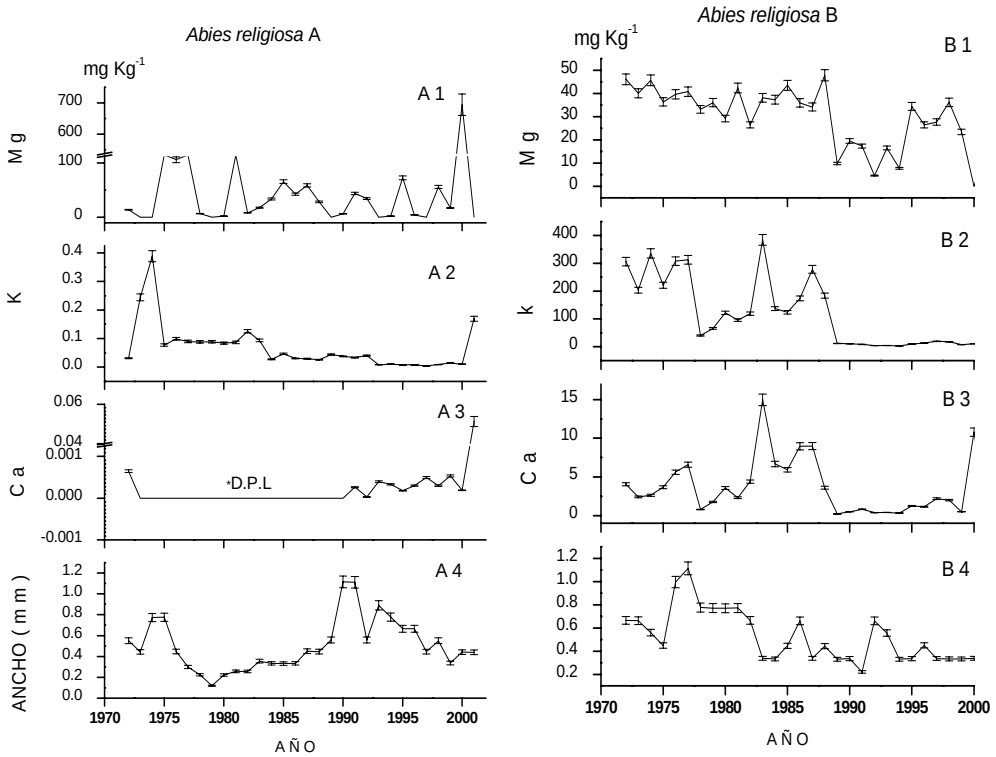

Figura 15 Representación de macronutrimentos detectados por PIXE en µg g^{-1} presentados en *mg* Kg^{-1} en anillos de crecimiento de ***Abies religiosa*** de zoquiapan .*(D.P.L.) debajo del limit e de detecci ón.

Por todas las plantas superiores y es absorbido como Ca^{2+} y su concentración normal es del 0.2 al 1 %.

El **Potasio** registro su máximo en 1970-1975 figura 15 A 2 con 0.38 *mg* Kg^{-1} mientras su menor se localizo en el periodo de 1995-2000 con 0.004 *mg* Kg^{-1} Tisdale *et al. (*1985) mencionan que las concentraciones de este macronutrimento en las plantas son dentro del 1 y 5 % y en ocasiones más altas. El potasio figura 15 B 2 se encontró la mayor concentración en el quinquenio de 1980-1985 con un máximo de 384 *mg* Kg^{-1} mientras la menor cantidad se registro en el periodo de 1994 con 3.2 *mg* Kg^{-1} Tisdale et *al* (1985), menciona que el potasio es absorbido como Ion K^{+} Williams *et al* (2005) menciona que el potasio tiene ciclos rápidos y eficientes en los campos reforestables campesinos.

El **Magnesio** en el quinquenio de 1995-2000 se registro 694 *mg* Kg^{-1} (figura 15 A 1) mientras la mínima concentración se registro el quinquenio de 1980-1990 con 2.3 *mg* Kg^{-1} según Tisdale *et al.(*1985) este macronutrimento es absorbido en forma de Ion y su concentración usual varía entre 0.1 y 4% es un elemento móvil y fácilmente translocado de las partes más viejas de las plantas a las partes más jóvenes cuando hay una deficiencia por su movilidad y fácil translocación de los síntomas de deficiencia (clorosis, necrosis) aparecen primero en las hojas que se encuentran abajo. El Mg obtuvo una concentración de 46 *mg* Kg^{-1} (Fig. 15 B 1) en 1970-1975 y van disminuyendo hasta el periodo de 1980 con un mínimo de 2.6 *mg* Kg^{-1} Watmough y Hutchinson (1998) encontraron en *Abies Religiosa* una disminución de magnesio de 200 a 100 µg g^{-1} en el desierto de los Leones.

Como se observa en la figura 16 la mayor asociación se da a partir con el resultado de crecimiento anual del anillo de crecimiento de *Abies religiosa* de Zoquiapan con el crecimiento de primavera (blanca-marzo-junio) seguida con la de verano (obscura-junio-septiembre). El siguiente grupo consiste en K-Mg estos micronutrimentos antagónicos son disponibles a partir de un pH de 4, así como la posibilidad de encontrar Ca en todo el año.

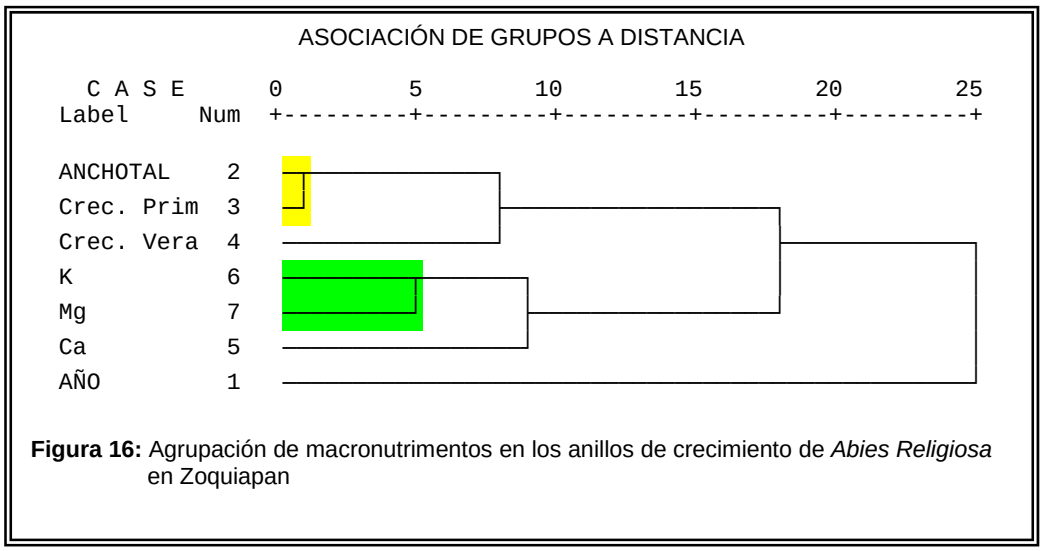

Figura 16: Agrupación de macronutrimentos en los anillos de crecimiento de *Abies Religiosa* en Zoquiapan

10.3.3. Elementos macronutrimentos (Ca, K, N, P, S, C) en *Pinus montezumae*

En Zoquiapan la mayor concentración de **Calcio** (Fig. 17 A 4) fue durante el periodo de 1995-2000 con 61.8 *mg* Kg^{-1} Tisdale *et al* (1985) dice que este macronutrimento es absorbido en forma de ion Ca 2^{+} es abundante en las hojas su intervalo de las concentraciones normal es de 0.2 al 1 % aunque el calcio frecuentemente se encuentra libre de Ca 2^{+} en la savia celular también puede estar asociada como móvil. El calcio encontró su mayor concentración durante el

quinquenio de 1990-1995 con 1.0 *mg Kg*$^{-1}$ como lo muestra en la (Fig. 17 B 4) y la menor concentración en el quinquenio 1975-1980 con 0.233 *mg Kg*$^{-1}$ Prohaska, 1998 encuentra que el calcio es de moderada movilidad y que su tendencia es del núcleo hasta su corteza de 500 a 2000 µg g^{-1} en donde a partir 1992 infirió que sus árboles estaban más ambientados a las condiciones ambientales.

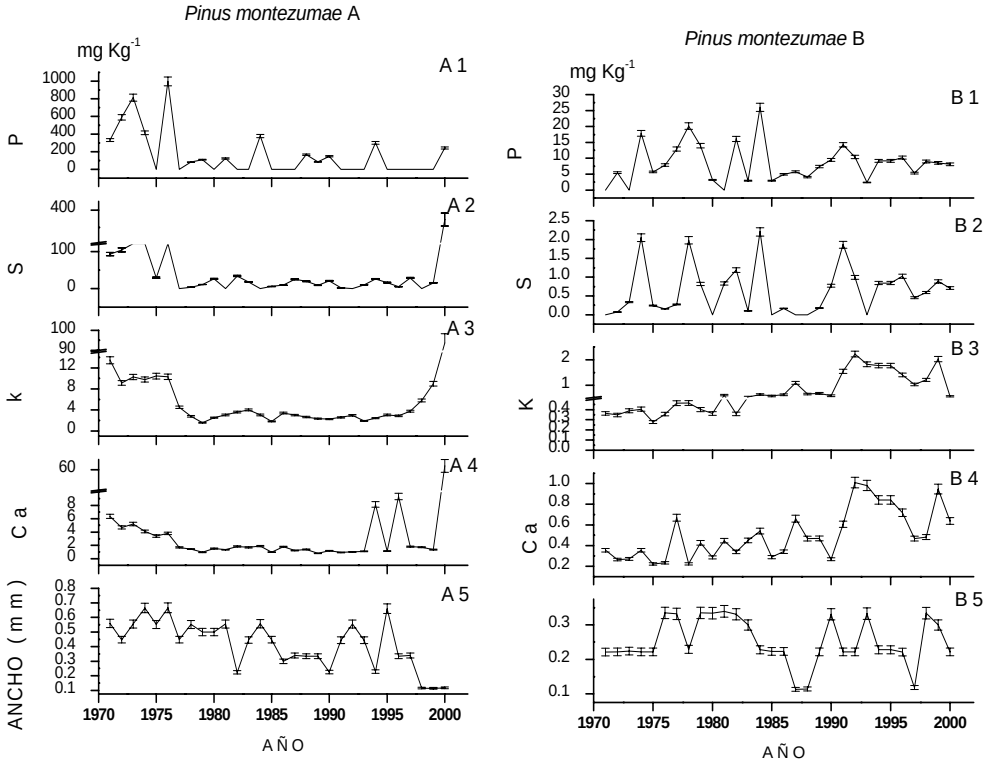

Figura 17: Representación de macronutrimentos detectados por PIXE en µg g^{-1} *presentados en mg Kg*$^{-1}$ en anillos de crecimiento de ***Pinus Montezumae.***

El **Potasio** registro la máxima concentración con 93 *mg Kg*$^{-1}$ (Fig. 17 A 3) fue el en quinquenio 1995-2000 mientras la menor concentración se registro en 1.5 *mg Kg*$^{-1}$

en 1975-1980 según Tisdale *et al.* (1985) este elemento es absorbido como Ion potasio. En cuanto al potasio detectado en la (Fig. 17 B 3), la mayor concentración se registro en 1990-1995 con 2.2 *mg* Kg^{-1} mientras las menores concentraciones se encontraron en el quinquenio de 1975-1980 con 0.2 *mg* Kg^{-1} según Tisdale *et al.* (1985), es un macronutrimento que se encuentra típicamente entre 1% y 5% pero este es algunas veces más alto.

El **Azufre** detectado en (Fig. 17 A 2) su mayor incremento en el periodo de 1995-2000 con 372 *mg* Kg^{-1} y las menores concentraciones estuvieron en 1975-1980 con 110 *mg* Kg^{-1} según Tisdale *et al.*(1985) mencionan que los niveles bajos de CO_2 puede ser absorbida por las hojas de las plantas e interiormente el exceso en forma gaseosa es tóxica. Las concentraciones máximas de azufre detectados en la (Fig. 17 B 2) fueron en el quinquenio de 1980-1985 con 2.2 *mg* Kg^{-1} y encontrando menores concentraciones en 1985-1990 con 0.1 *mg* Kg^{-1} según Tisdale *et al.*(1985) este macronutrimento es absorbido por las raíces de las plantas casi exclusivamente como Ion sulfato SO_4^{2-}.

Los registros de **Fósforo** fueron máximos 975 *mg* Kg^{-1} en el quinquenio 1975-1980 como se ve en la (Fig. 17 A 1) y los mínimos en el periodo de 1995-2000 donde no se registro este macronutrimento. Esto posiblemente se debió ala poca cantidad de Materia Orgánica presente en el suelo en el año de 1993 con 6 % y 1999 con 4 %. Mientras el máximo de P registrado como se muestra en la (Fig. 17 B 1) con 26 *mg* Kg^{-1} en el periodo de 1980–1985 y un mínimo en 1990-1995 con

2.4 *mg* Kg^{-1} Tisdale *et al* 1985 menciona que este macronutrimento se encuentra en plantas con concentraciones de 0.1 al 0.4 %. El P es fácilmente movilizado en las plantas y cuando ocurre una deficiencia, el elemento contenido en el tejido viejo es transferido a regiones del meristemo activo, mientras un efecto de deficiencia da un retrazo a toda la planta. La materia orgánica tiene una función especial en hacer la fósforo más fácilmente aprovechable en suelos ácidos pero como se aprecia en la figura 9 B 3 estuvo en promedio de 6 µg g^{-1} en las profundidades 30 a 90 cm en el periodo 1999 y posiblemente la combinación fue mas fácilmente con el Fe y Al que con el P es por ello que en el periodo de 1999 se encuentran grandes concentraciones de P.

La lluvia ácida incrementa los niveles de macronutrimentos como P, Ca, Mg en suelos forestales Harold, *et al* 1991, donde el estrés reduce mucho el crecimiento de los árboles y en *Abies religiosa* oscilo de 0.2 a 0.4 mm y en *pinus montezumae* de 0.1 a 0.7 mm tomando sus nutrientes minerales en forma iónica e inorgánica por el pelo radical, llegando al xilema para ser transportados hacia las hojas que son los órganos donde se efectúa la asimilación de iones entre los macronutrimentos podemos encontrar al Ca^{+} reducen el efecto dañino del Al y a continuación se dan en forma decreciente de los macronutrimentos encontrados por sus concentraciones representados en *mg* Kg^{-1} **P > S > K > Ca.**

Como se observa en la figura 18 la asociación de macronutrimentos en *Pinus montezumae* encontrando dos grupos de los cuales se describen Ca-K que son antagónicos, así estos inhiben la absorción de otros o bien contrarrestan su

función metabólica, por otro lado se localiza el grupo S-P el cual el P forma parte de los fosfatos de hexosa y triosa, ácidos nucleicos, coenzimas y transportadores

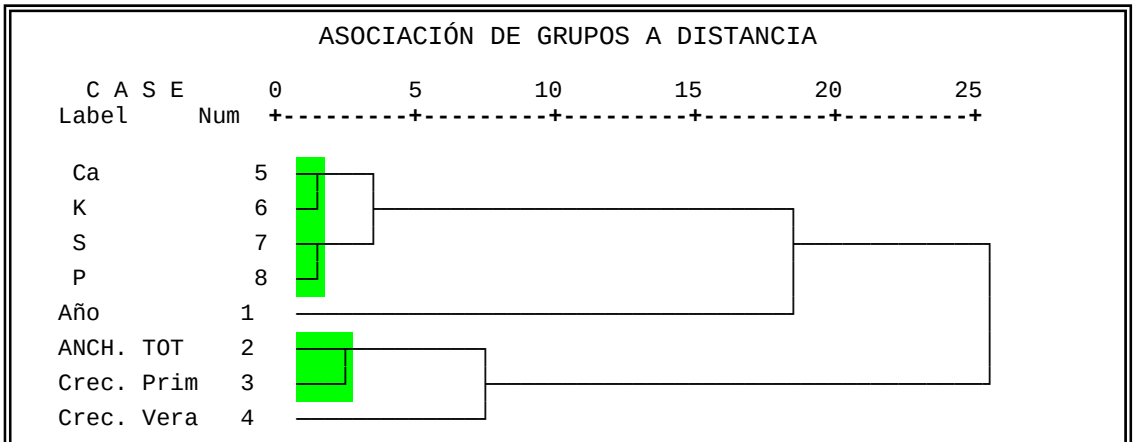

Figura 18: Agrupación de macronutrimentos en los anillos de crecimiento ***Pinus Montezumae*** en Zoquiapan.

de energía y el azufre es parte de las proteínas constituye los aminoácidos cisterna, cistina y metionina (rojas,1993) y por ultimo la asociación del ancho total con el crecimiento de primavera, donde indica el mayor productividad del árbol.

10.4. MICRONUTRIMENTOS EN SUELO Y MADERA DEL OYAMEL Y PINO

10.4.1. Elementos Micronutrimentos (Mn, Fe, Zn, Co, Ti y Cl Suelo Zoquiapan

El **Manganeso** registrado en 1993 (Fig. 19 A 6) arrojo sus mayores concentraciones en la profundidad de 45 cm. con 12322.3 µg g^{-1} disminuyendo hasta 15.3 µg g^{-1} en la profundidad 90 cm Alloway (1990) menciona que las concentraciones mínimas son de 80 a 5000 mg Kg^{-1} y esto también se puede reflejar en su pH. Mientras el Mn en 1999 (Fig. 19 B 6) presento su máxima concentración en le profundidad 105 cm. con 169.49 µg g^{-1} y su mínimo en la

profundidad 45 cm con 6.3 µg g^{-1} Alloway (1990) describe que el pH para el Mn es de 5 a 6.5 y en el perfil se encontró con un pH de 5.4.

Hierro de 1993 (Fig. 19 A 5) se registro una concentración en la profundidad 30 cm con 1783.3 µg g^{-1} donde Kabata y Pendias (1992), menciona que los niveles aceptables son de 30 a 550 µg/L y pueden excederse en 2000 µg/L en suelos ácidos. Mientras en 1999 la mayor concentración de Fe (Fig. 19 B 5) se localizo en la profundidad 60 cm. con 14 *mg* Kg^{-1} esto se debe posiblemente a la cantidad de materia orgánica y el metabolismo de las bacterias.

El **Zinc** 1993 presente (Fig. 19 A 4) tiene un máximo en la profundidad 30 cm con 5156 µg g^{-1} y un mínimo en la profundidad 0-15 con 19.3 µg g^{-1} a lo cual Kabata y Pendias 1992 describe en Alloway (1990), es de 4 a 270 µg/L dependiendo del suelo y la técnica utilizada para obtener la solución y así en donde los suelos con pH ≤ 4 la concentración puede ser reportada en 7137 µg/L. Mientras en 1999 el Zn (Fig. 19 B 4) se registro con una concentración en diferentes profundidades 90 cm con 41.68 µg g^{-1} Prof. 60 cm con 41.40 µg g^{-1} y Prof. 105 cm con 37.24 µg g^{-1} donde Kabata y Pendias (1992), mencionan que los intervalos mínimos de Zn son de 80 a 120 µg g^{-1}.

El **Cobalto** de 1993 (Fig. 19 A 3) su punto máximo fue en la profundidad 30 con 857.8 µg g^{-1} y su menor se localizo en la profundidad 15 cm con 2.5 µg g^{-1} Alloway (1990), reporta que el rango intermedio del Co están entre 10 a 15 µg g^{-1} Mientras tanto el Co en 1999 (Fig. 19 B 3) presento su máxima concentración en la profundidad 105 cm con 82.33 µg g^{-1} y teniendo un mínimo en la profundidad 45 cm de 1.9 µg g^{-1} Kabata y Pendias (1992) menciona que la concentración es de 25

a 50 µg g^{-1} debido a que su movilidad esta relacionada con los óxidos de manganeso y el pH del suelo y este mecanismo de absorción es en forma cristalina.

El **Titanio** encontrado en 1993 (Fig. 19 A 2) en la profundidad 45 cm con un máximo de 3494.7 µg g^{-1} los niveles permitidos son de 0.03 a 1.4 µg g^{-1} 1992. Mientras en 1999 (Fig. 19 B 2) la mayor concentración de Ti se localizo en la profundidad 60 cm con 1135.58 µg g^{-1} en donde Kabata y Pendias (1992), reporta que puede resistir al tiempo en partes profundas por estar en estado tetravalente.

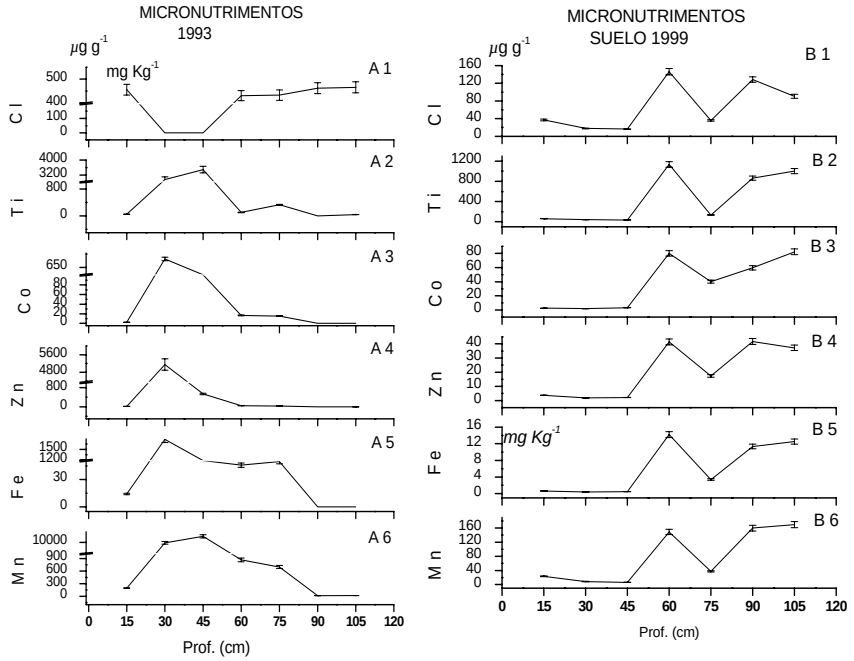

Figura 19 : Representación de micronutrimentos detectados en µg g^{-1} por PIXE en suelo 1993-1999 del Parque Nacional Zoquiapan.

El **Cloro** de 1993 (Fig. 19 A 1) tiene una concentración máxima en la profundidad 105 cm con 465 *mg* Kg^{-1} los niveles permitidos son de 475 a 1806 µg g^{-1} donde los

daños son de 920 µg g^{-1} y es el resultado de actividades antropogénicas a distancia. Mientras en 1999 (Fig. 19 B 1) se encontró un máximo en la profundidad 60 cm con 146.02 µg g^{-1} Kabata y Pendias (1992), describe que los principales incrementos de Cl se deben a la actividad antropogénica con un promedio de 475-1806 µg g^{-1} teniendo daño en 920 µg g^{-1}.

En la figura 20 se puede observar la relación de dos grupos existentes como son Zn-Co son componentes para el metabolismo de la planta y donde la Materia orgánica dan la distribución de estos micronutrimentos, y por otro lado no se ha determinado si el Ti tienen un rol metabólico en segundo grupo se

ASOCIACIÓN DE GRUPOS A DISTANCIA

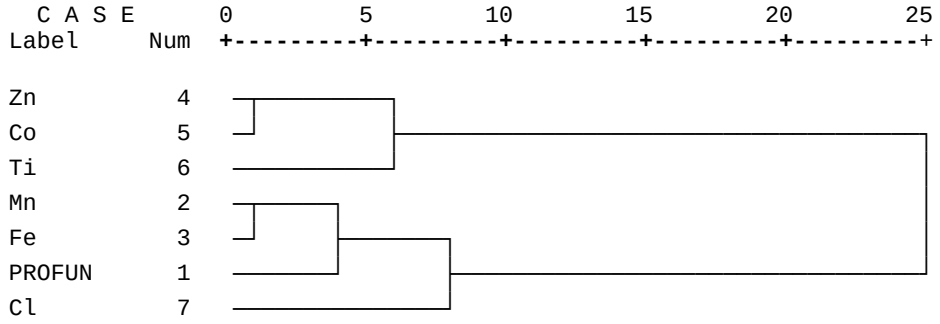

Figura 20: Agrupación de micronutrimentos en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan

encuentra la asociación de Mn-Fe son antagónicos y se observa en suelos ácidos así mismo se interrelacionan ambos para el metabolismo de la planta con apropiada proporción de 1.5 a 2.5 pero en exceso producen toxicidad, donde la relación existente entre Cl-Profun esta presente en suelos húmedos y fuerte

interacción entre las arcillas del suelo. Y el Cl es transportado a las plantas por las raíces en forma pasiva.

En el **Cuadro** 3 se muestra la correlación de Pearson de los micronutrimentos registrados en suelo, ancho de los anillos. Las correlaciones de mayor nivel fueron Ancho y Zn (0.7131), Mn y Fe (0.9843), Mn y Zn (0.5858) , Fe y Mn (0.9843), Fe y Zn (0.5925), Zn y Ancho (0.7131), Zn y Mn (0.5858), Zn y Fe (0.5925); Mn 9399 y Co 9399 (0.7103); Mn 9399 y Ti 9399 (0.9635).

Cuadro 3: Correlación de Pearson de los micronutrimentos detectados por (PIXE) encontrados en suelo

	ANCHO	**Mn**	**Fe**	**Zn**	**Co**	**MN9399A**
ANCHO	1.0000	-.2272	-.2239	**-.7131**	-.0465	-.2900
	(0)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .	P= .455	P= .462	P= .006	P= .880	P= .337
Mn	-.2272	1.0000	**.9843**	.5858	.2086	-.4411
	(11)	(0)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .455	P= .	P= .000	P= .035	P= .494	P= .131
Fe	-.2239	**.9843**	1.0000	**.5925**	.2069	-.4227
	(11)	(11)	(0)	(11)	(11)	(11)
	P= .462	P= .000	P= .	P= .033	P= .498	P= .150
Zn	**-.7131**	**.5858**	**.5925**	1.0000	.2178	.1588
	(11)	(11)	(11)	(0)	(11)	(11)
	P= .006	P= .035	P= .033	P= .	P= .475	P= .604
Co	-.0465	.2086	.2069	.2178	1.0000	-.1797
	(11)	(11)	(11)	(11)	(0)	(11)
	P= .880	P= .494	P= .498	P= .475	P= .	P= .557
Mn 9399A	-.2900	-.4411	-.4227	.1588	-.1797	1.0000
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(0)
	P= .337	P= .131	P= .150	P= .604	P= .557	P= .
Fe 9399A	-.2678	.1989	.2287	.3591	.2966	.2857
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .376	P= .515	P= .452	P= .228	P= .325	P= .344
Zn 9399A	-.1086	-.2844	-.3085	.0057	.1065	.5815
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .724	P= .346	P= .305	P= .985	P= .729	P= .037
Co 9399A	-.1830	-.3044	-.3208	.0696	.0805	**.7103**
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .550	P= .312	P= .285	P= .821	P= .794	P= .007
Ti 9399A	-.3186	-.3416	-.3154	.2307	-.0553	**.9635**
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .289	P= .253	P= .294	P= .448	P= .857	P= .000

10.4.2. Elementos micronutrimentos (Mn, Fe, Zn, Cu, Co) *Abies Religiosa*

El máximo registro de **Manganeso** correspondido para el quinquenio de 1995-2000 (Fig. 21 A 5) con 258.7 µg g^{-1}, mientras que en los consecutivo, las concentraciones oscilaron en el intervalo de 0–79 µg g^{-1}. Iskandar (2000) reporto que es movible en ambientes ácidos y esta presente en el ADN en donde el sistema enzimatico es fundamental en las plantas de C_4. y va a depender de la concentración de materia orgánica presentes en los perfiles.

Mientras en la (Fig. 21 B 5) la máxima concentración de **Mn** se registro en el quinquenio de 1980-1985 con 15.6 µg g^{-1} y los valores mínimos se dieron en los siguientes periodos de 0–8.6 µg g^{-1} Tisdale *et al.* (1985), menciona que es un micronutrimento para las plantas y sus concentraciones van de 20 a 500 µg g^{-1} así las deficiencias de Mn están usualmente asociadas con niveles de entre 15 y 25 µg g^{-1} en las partes superiores de las plantas.

El Hierro de la figura (21 A 4) encontramos una concentración máxima de **Fe** en el quinquenio de 1995-2000 con 315 µg g^{-1} así las mínimas concentraciones se encontraron de 0–137.7µg g^{-1} Reimann (1998), menciona la viabilidad del elemento para el crecimiento de la planta con 3200 *mg* kg^{-1} y mínimo 22 *mg* kg^{-1} Por otro lado en la figura (21 B 4) el Fe obtuvo una máxima concentración en el quinquenio de 1970 – 1980 con 24.8 µg g^{-1} y su mínima concentración se registro en el periodo 1994 con 0.794 µg g^{-1} según Iskandar (2000), menciona que el Fe es requerido para síntesis enzimaticas y como ion Fe^{2+} para el metabolismo.

Para el **Zinc** (Fig. 21 A 3) se registro una máxima concentración en el quinquenio de 1970–1975 con 98.2 µg g^{-1} y una minina en el quinquenio de 1980-1985 con 2.6 µg g^{-1} como también se puede ver en la (Fig. 21 B 3) donde su máxima concentración se registro en el quinquenio de 1970-1975 con 39.2 µg g^{-1} y su mínima concentración estuvo en el quinquenio de 1990-1995 con 1 µg g^{-1} donde Iskandar (2000), menciona que trabajos realizados en la relación suelo-planta.

Aquí se obtuvieron concentraciones de 66 *mg* kg^{-1} y 40 *mg* kg^{-1} y esto tiene que ver con la relación y concentración del suelo. En donde los periodos de 1993 en suelo se encontraron de 5156 µg g^{-1} y el periodo de 1999 en la profundidad 60 – 105 con 41.40 a 37.24 µg g^{-1}.

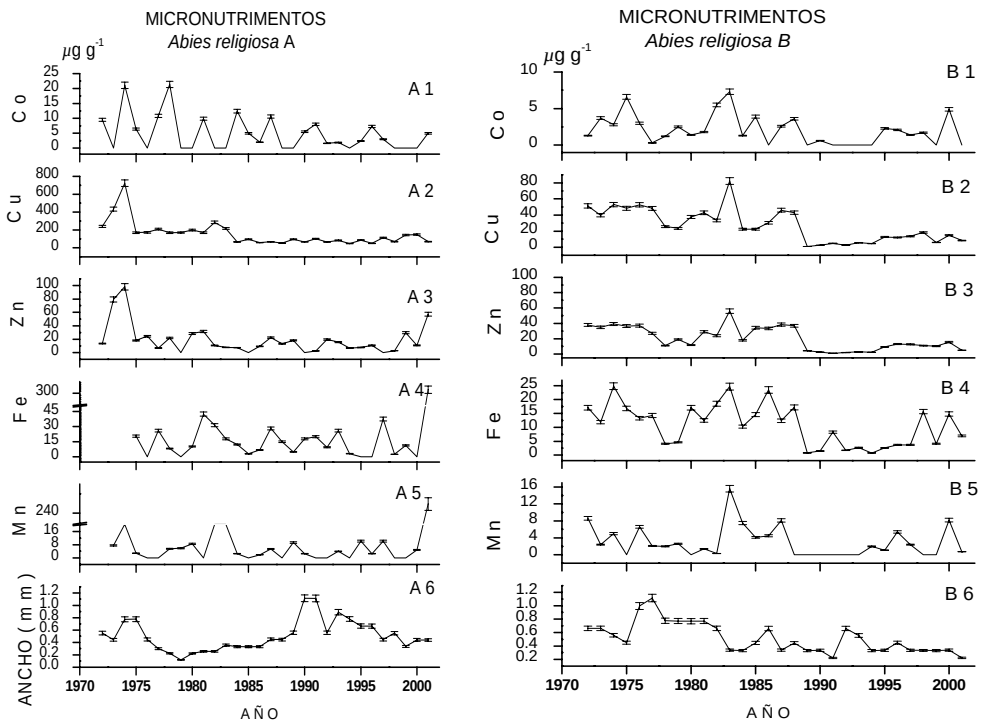

Figura 21: Representación de micronutrimentos detectados µg g^{-1} por PIXE en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa*** de zoquiapan.

En la figura 21 A 2 el **Cobre** registro una máxima concentración en el quinquenio de 1970 -1975 con 723.2 µg g^{-1} y la mínima concentración se registro en el quinquenio de 1985 – 1990 con 53.5 µg g^{-1} Así Iskandar (2000), menciona que el Cu es esencial para la planta en pequeñas cantidades, para las enzimas de citocromo-oxidasa, tirosinasa, del ácido ascórbico. El Cu (Fig. 21 B 2) tiene un máximo en el quinquenio de 1975–1980 con 52.6 µg g^{-1} y una mínima en el quinquenio de 1990-1995 con 2.7 µg g^{-1} Reimann (1998), describe que las concentraciones mínimas de Cu están en 27 *mg* kg^{-1} y las máximas con 701 *mg* kg^{-1}.

El **Cobalto** obtuvo una máxima concentración en el quinquenio de 1975–1980 con 21.4 µg g^{-1} (Fig. 21 A 1) y su registro mínimo estuvo en el quinquenio de 1995–2000 con 3 µg g^{-1}, menciona Iskandar (2000), que el cobalto no es requerido por la planta para sus funciones enzimáticas y todavía no hay reportes de este elemento en corteza. El Co registrado como se muestra en la (Fig. 21 B 1) presenta su máxima concentración en el quinquenio de 1985–1990 con 17 µg g^{-1} y las mínimas en el quinquenio de 1995–2000 con 2.1 µg g^{-1} y Reimann (1998), menciona que la concentración mínima de Co es de 2 mg kg^{-1} a 27 mg kg^{-1}.

Los micronutrimentos pueden ser sustituidos por las plantas por otro en su rol bioquímico y tienen gran influencia en el organismo donde no pueden completar un ciclo biológico y estas concentraciones pueden variar de µg g^{-1} ó mg kg^{-1} Kabata y Pendias (1992), menciona que las concentraciones de los macronutrimentos dependen de la solución del suelo en las cuales registraron elevadas concentraciones en suelo como el Mn 12 *mg* Kg^{-1}, Fe 14 *mg* Kg^{-1} , Zn

mg Kg^{-1}, Co 0.8 *mg Kg*$^{-1}$, Cl *mg Kg*$^{-1}$ que de forma descendente es la siguiente forma **Cl** >**Fe** >**Mn**> **Zn** >**Co.**

Las concentraciones de Mn, Fe, se presentan en cantidades tanto en suelo como en anillos de crecimiento donde estos posiblemente fueron movilizados en un intervalo de pH de 5 a 6 donde también la materia orgánica juega un papel muy importante devido a sus grupos funcionales. Encontrando al Mn y Fe como antagónicos así mismo el Zn, Mn y Cu.

Donde en Zn, Co y Cu están fuertemente relacionados tanto en suelo como en *Pinus montezumae y Abies religiosa* los cuales tienen características para el desarrollo enzimático de la planta.

Como se muestra en la figura 22 la mayor asociación se dio en las partes del crecimiento de los anillos de crecimiento en la parte blanca (primavera) y parte

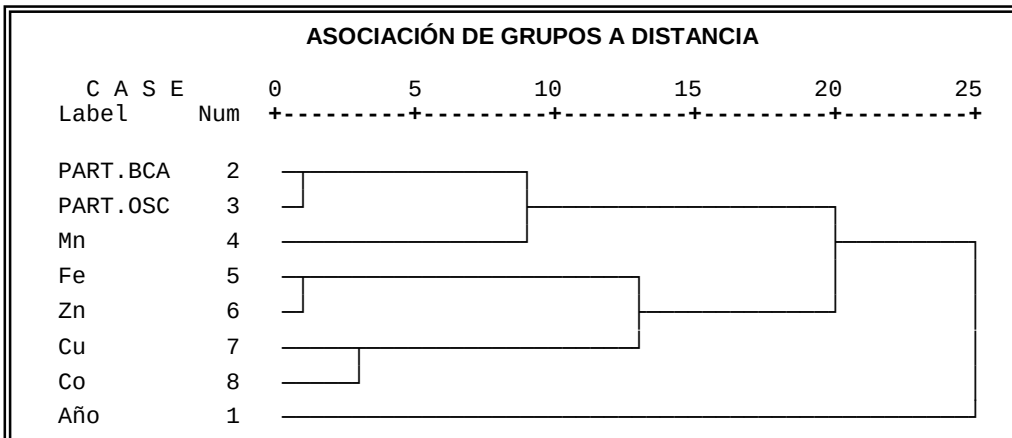

Figura 22: Agrupación de micronutrimentos en los anillos de Crecimiento de ***Abies Religiosa*** en Zoquiapan.

obscura (verano) asociada con el Mn que de cierto modo induce la síntesis de la clorofila, que es cofactor para las deshidrogenasas, que se requiere para la producción de O_2 en la fotosíntesis. El siguiente grupo se da a partir de Fe-Zn

presentes para el metabolismo de la planta, por ultimo encontramos la asociación de Cu-Co donde son esenciales para el metabolismo de la planta.

10.4.3. Elementos Micronutrimentos (Mn, Fe, Cu, Zn, Cl, V y Co) *Pinus montezumae*

En la figura 23 A 8 se representa el crecimiento de los anillos de crecimiento, teniendo un mínimo en los quinquenios de 1980-1985 y en el último periodo de 1995-2000. También (Fig. 23) se registro el **Manganeso** con un máximo de 107.3 µg g^{-1} y una mínima en el periodo de 1986 con 1.5 µg g^{-1} Mientras el Mn figura 23 B 7 se localizo un punto máximo en el quinquenio de 1995-2000 con 5.7 µg g^{-1} y así el en los periodos de 1975-1982 se registro el micronutrimento según reportes.

El **Hierro** obtuvo una máxima concentración en el quinquenio de 1995-2000 con 281 µg g^{-1} (figura 23 A 6), mientras que la mínima concentración se dio en el quinquenio de 1985-1990 con 16.9 µg g^{-1} Mientras que el Fe obtenido se encontró en un máximo en el quinquenio de 1995-2000 (figura 23 B 6) con 510.4 µg g^{-1} .

El **Cobre** (figura 23 A 5) obtuvo un máximo con 112.1 µg g^{-1} en el quinquenio de 1975-1980 y un mínimo en el período de 1985 con 17.4 µg g^{-1} Mientras en la figura (23 B 5) las máximas concentraciones de Cu se registraron en 1975-1980 con 2.6 µg g^{-1} este micronutrimento se localizo en mínimas concentraciones hasta el periodo de 2000.

Se registro una máxima concentración de Zn en el quinquenio de 1975-1980 (figura 23 A 4) con 233.3 µg g^{-1} y una mínima en el quinquenio de 1990-1995 con

54 µg g^{-1} Mientras que en la (Fig. 23 B 4) se registraron dos periodos 1977 y 1999 con la concentración similar de Zn con 3.4 µg g^{-1} de este micronutrimento.

El **Cloro** (Fig. 23 A 3) obtuvo un registro de 202 *mg* Kg^{-1} en el quinquenio de 1995-2000 mientras la mínima concentración se dio en el periodo 1989 con 8.3 *mg* Kg^{-1} El Cl registrado en el quinquenio de 1990-1995 obtuvo su máxima concentración de 1747.2 µg g^{-1} mientras el mínimo se encontró en el periodo de 1975 con 2.3 µg g^{-1}

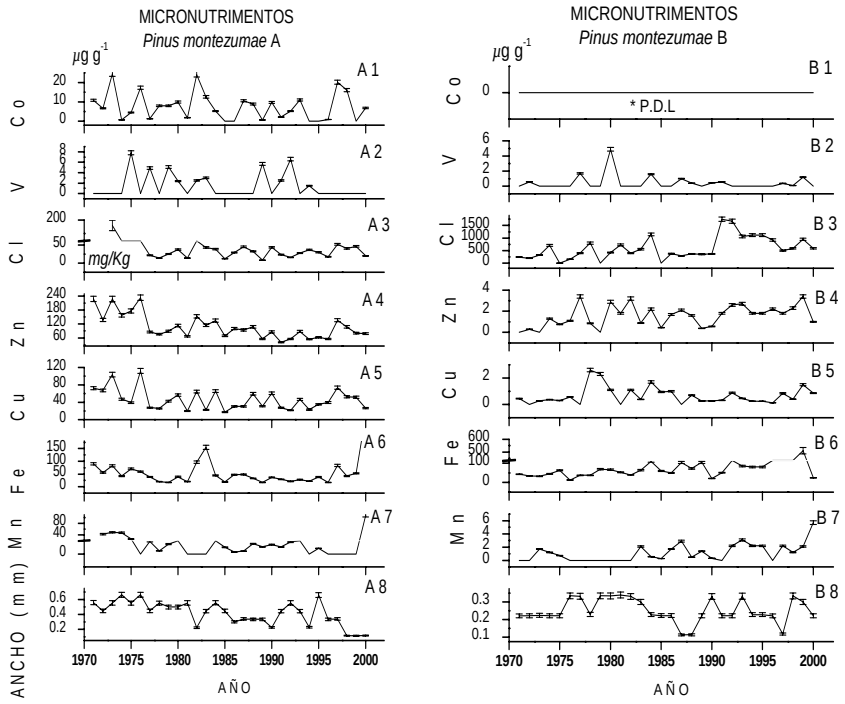

Figura 23: Representación de micronutrimentos detectados por PIXE µg g^{-1} en ***Pinus montezumae*** de zoquiapan.

El **Vanadio** (Fig. 23 A 2) se registro con un máximo en el quinquenio de 1975-1980 con un valor de 7.8 µg g^{-1} mientras su mínimo se registro en el quinquenio de

1995-2000 con un valor de cero y esto se ve reflejado también en el crecimiento de los anillos que en este quinquenio fue de 0.1 mm. Mientras el **V** registrado encontró su máximo en el quinquenio de 1980-1985 como se ve en la (Fig. 23 A 2) con un valor de 4.9 µg g^{-1} y van disminuyendo hasta el último quinquenio de 2000 a pesar de tener un crecimiento de anillos mayor en el periodo de 1990 con 0.3 mm.

El **Cobalto** registrado en el quinquenio de 1980-1985 obtuvo su máximo (Fig. 23 A 1) valor de 24.1 µg g^{-1} mientras que el mínimo se registro en el periodo de 1996 con 0.895 µg g^{-1} mientras que en la figura 20 B 1 el **Co** estuvo registrado por debajo del umbral de detección.

En la figura 24 se presentan cuatro grupos de los cuales, el primero esta asociado el ancho total del anillos con respecto a los periodos de crecimiento de primavera, verano ligado al **V** donde Kabata y Pendias (1992), menciona que esta asociado al pH del suelo, y es absorbido en forma pasiva y no hay evidencia del metabolismo, en segundo grupo encontramos al **Mn-Cl** estos se encuentran presentes en el metabolismo como el Mn que activa enzimas y se involucra en la síntesis de glucoproteinas y metaloenzimas y el **Cl** es vital en las reacciones que llevan a la evolución del O_2 en la fotosíntesis, en el tercer grupo se encuentra al **Cu-Zn** estos metales son aparentemente absorbidos por algunos mecanismos y son muy competitivos en la inhibición de la absorción de las raíces por otros elementos seguido del Co donde es relativamente movible en ambientes ácidos y van a

depender de la absorción por las arcillas. Por ultimo encontramos al Fe-año estos van a depender por el pH del sistema ambiente y estado de oxidación del Fe.

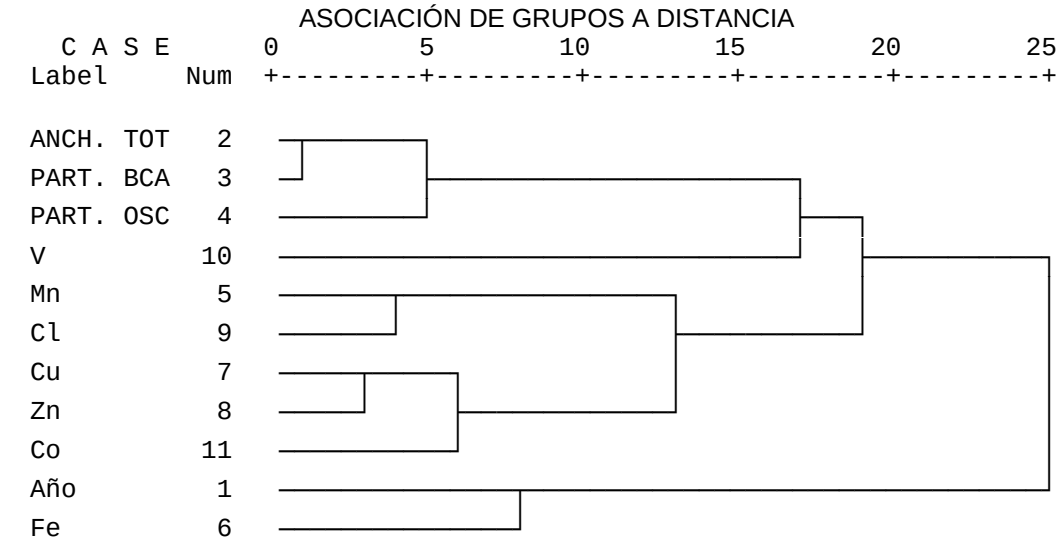

Figura 24: Agrupación de micronutrimentos en los anillos de crecimiento de ***Pinus Montezumae*** en Zoquiapan.

10.5. ELEMENTOS TRAZA EN SUELO Y MADERA DEL OYAMEL Y PINO

10.5.1. Elementos traza (Pb, Cr, V, Cu, Ni, Br) en Suelo

Pb de 1993 con un máximo de 354.1 mg g^{-1} (Fig. 25 A 6) en la profundidad 30 cm donde menciona Kabata y Pendias 1992 que los intervalos permitidos en suelo son de 100 a 500 µg g^{-1} Mientras que en 1999 (Fig. 25 B 6) en la profundidad 60 obtuvo una concentración máxima de 16.56 µg g^{-1}.

Para el Cr 1993 (Fig. 25 A 5) el máximo se obtuvo en la profundidad 45 cm con una concentración de 77.8 *mg* Kg^{-1} según reportes de Kabata y Pendias (1992), los niveles permitidos se encuentran entre 214 a 727 µg g^{-1} y en 1999 figura 25 B 5

este elemento traza se registro con una máxima concentración en la profundidad 60 cm con 30 µg g^{-1}.

En 1993 el V obtuvo un máximo en la profundidad 45 cm con 32 *mg* Kg^{-1} (Fig. 25 A 4) como lo reporta Kabata y Pendias (1992), este elemento se encuentra en forma de catión y anión, y estas van a depender por su forma de oxidación 2^+, 3^+ 4^+, 5^+ entre otras formas con un intervalo permitido de 0.5 a 140 *mg* Kg^{-1}. En 1999 el V (Fig. 25 B 4) la mayor concentración se encontró en la profundidad 60 con 61.70 µg g^{-1} Kabata y Pendias (1992) menciona que las bajas concentraciones de V se deben a los sedimentos orgánicos y esto es el resultado de V^{3+} y varias formas de oxidación.

Cu de 1993 como se muestra en la (Fig. 25 A 3) la máxima concentración registrada se encontró en la profundidad 30 cm con 417 *mg* Kg^{-1} Algunos registros de Kabata y Pendias (1992) menciona que pueden haber variaciones de concentraciones por efectos antropogénicos en las plantas con valores de 3500 mg g^{-1}.

Mientras en la figura 25 A 3 la máxima concentración de Cu se registro en 21.64 µg g^{-1} en la profundidad 60 cm a lo cual Reimann (1998), menciona que las concentraciones permitidas para las plantas van de 27 a 701 *mg* Kg^{-1}.

Ni de 1993 en la figura 25 A 2 se encuentra un registro máximo en la profundidad 30 cm con 7.2 *mg* Kg^{-1} las formas estándares son de un intervalo de 10 a 100 *mg* Kg^{-1} y reportes de Kabata y Pendias (1992), menciona que estas concentraciones se deba a la asociación de carbonatos, fosfatos y silicatos en el suelo. En la (Fig. 25 B 2) se registro una máxima concentración de Ni en la profundidad 60 cm con

15.49 µg g^{-1} Kabata y Pendias (1992) menciona que el Ni se encuentra en solución natural en sus horizontes entre 3–25 µg g^{-1}.

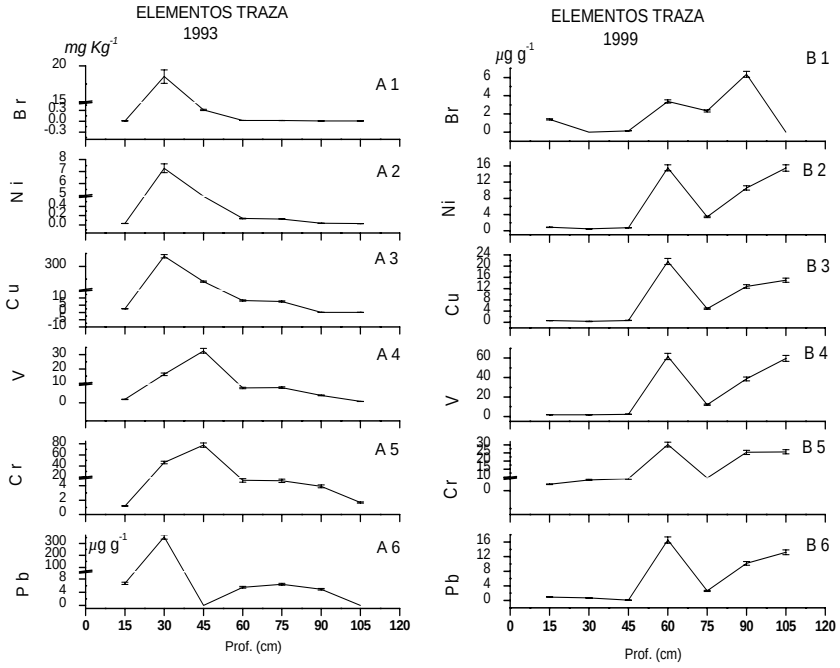

Figura 25 : Representación de micronutrimentos detectados en µg g^{-1} representados en (*mg/Kg)* por PIXE en suelo 1993-1999 del Parque Nacional Zoquiapan.

El **Bromo** de 1993 figura 25 A 1 registro una mayor concentración en la profundidad 30 cm con 18 *mg* Kg^{-1} el aumento de la concentración de Br es debido al carbón y materia orgánica presentes en suelo. En la (Fig. 25 B 1) se registro Br con un máximo en la profundidad 90 cm con una concentración de 6.34 µg g^{-1} Kabata y Pendias 1992 menciona que los niveles son de 5 a 40 µg g^{-1} .

En la figura 26 se observa una relación equilibrada de elementos traza en suelo de Zoquiapan como son **Cu-Ni-Pb-Br** donde el Ni puede inhibir al Cu y Pb-Br están relacionados con los tipos de contaminantes en automóviles así

ASOCIACIÓN DE GRUPOS A DISTANCIA

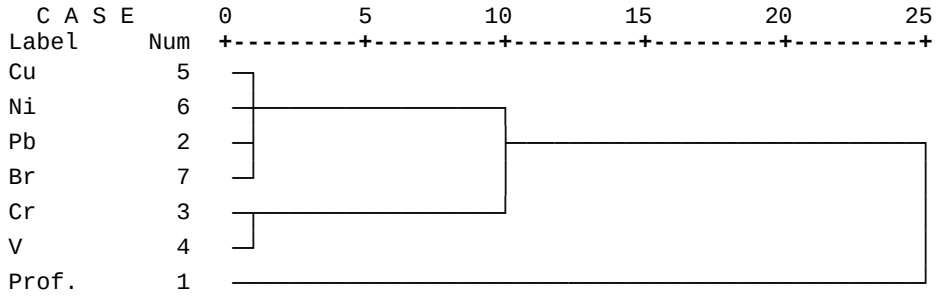

Figura 26: Agrupación histórica de elementos traza en suelo del Periodo 1993-1999 Zoquiapan.

como otros compuestos Pb(OH)Br, PbBrCl, entre otros y esto se deba a la cantidad de arcillas presentes y pH del suelo en las profundidades de 0-120 cm por otro lado el siguiente grupo se de Cr y V se deba al posible antagonismo.

En el **Cuadro 4**, se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los elementos traza detectados por (PIXE) encontrados en suelo y relacionadas con el año, las correlaciones significativas fueron Pb 9399 y Ni 9399 (0.9534), Pb 9399 y Br 9399 (0.9982), Ni 9399 y Pb 9399 (0.9534), Ni 9399 y Br 9399 (0.9620)

Cuadro 4: Correlación de Pearson de los elementos traza detectados por (PIXE) encontrados en suelo y relacionadas con el año

	ANCHO	**Ni**	**Pb**	**Pb9399A**	**Cr9399A**	**Ni9399A**
ANCHO	1.0000	-.1354	-.2571	-.0862	-.2877	-.1547
	(0)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .	P= .659	P= .396	P= .779	P= .340	P= .614
Ni	-.1354	1.0000	-.2254	-.2667	-.3407	-.3203
	(11)	(0)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .**659**	P= .	P= .459	P= .378	P= .255	P= .286
Pb	-.2571	-.2254	1.0000	.0887	-.2696	-.0361
	(11)	(11)	(0)	(11)	(11)	(11)
	P= .396	P= .459	P= .	P= .773	P= .373	P= .907
Pb9399A	-.0862	-.2667	.0887	1.0000	.3216	.9534
	(11)	(11)	(11)	(0)	(11)	(11)
	P= .**779**	P= .378	P= .773	P= .	P= .284	P= .000
Cr9399A	-.2877	-.3407	-.2696	.3216	1.0000	.5890
	(11)	(11)	(11)	(11)	(0)	(11)
	P= .340	P= .255	P= .373	P= .284	P= .	P= .034
Ni9399A	-.1547	-.3203	-.0361	.9534	.5890	1.0000
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(0)
	P= .614	P= .286	P= .907	P= .000	P= .034	P= .
Br9399A	-.0800	-.2607	.0445	.9982	.3461	.9620
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	P= .795	P= .390	P= .885	P= .000	P= .247	P= .000

(Coefficient / (D.F.) / 2-tailed Significance.

10.5.2. Elementos traza (Pb, Ni, Cr, Cd, Al, Ti) *Abies religiosa*

En la figura 27 A 6 su máxima concentración de **Plomo** oscilo en 208.9 µg g^{-1} en el quinquenio de 1980–1985 y su concentración mínima fue en el quinquenio de 1995–2000 con 13.4 µg g^{-1} Mientras que el Pb registrado figura 27 B 6 obtuvo un máximo en el quinquenio de 1985-1990 con 87.5 µg g^{-1} y su mínima concentración se registro en el quinquenio de 1990–1995 con 3.1 µg g^{-1}.

En la figura 27 A 5 se obtuvo el registro de **Níquel** en el quinquenio de 1975–1980 con 10.8 µg g^{-1} así como en el periodo de 1998 con 10.6 µg g^{-1} Iskandar (2000), menciona que la concentración de este elemento es de 5 a 500 *mg* Kg^{-1} en el

suelo y no es esencial para las plantas, Así como en la Fig. 27 B 5 los niveles más altos están en el quinquenio de 1970–1975 con 17.1 µg g^{-1} y las mínimas registradas en el quinquenio de 1990–1995 con 1.3 µg g^{-1} donde Reimann (1998), describe que este elemento puede estar en los intervalos de 8 a 122 mg kg^{-1} como mínimo, pero no forma parte del desarrollo de la planta.

El **Cromo** figura 27 A 4 obtuvo una concentración máxima 28 µg g^{-1} en el quinquenio de 1980-1985 y en el periodo 1992 con 14 µg g^{-1} por otro lado en los periodos de 1986-1991 no hubo registro del elemento traza. Iskandar (2000), menciona que no hay evidencia del Cr en la planta, sin embargo, la absorción del Cr es retenida por las plantas y donde las concentraciones de este elemento en suelo fueron en el periodo de 1993 con 77 *mg* Kg^{-1} pasar a la figura 25 pág. *53.* Así también el contenido de Cr en suelos, es responsable del pobre crecimiento de árboles forestales donde es transportado por las raíces en forma de anion, Kabata y Pendias (1992), menciona la concentración normal de Cr de 1 a 2 *mg* Kg^{-1} y los niveles tóxicos son de 10 *mg* Kg^{-1} y varían por las fuentes antropogénicas. Mientras que el Cr (Figura 27 B 6) registro su máximo en el quinquenio de 1995-2000 con 22 µg g^{-1} su mínimo fue en 1970-1975 con 0.294 µg g^{-1} en el resto se registraron concentraciones menores a 4 µg g^{-1}.

Cadmio (Fig. 27 A 3) obtuvo una máxima concentración en el quinquenio de 1970-1975 con 1873 µg g^{-1} y en el quinquenio de 1995-2000 con 1704 µg g^{-1} en los demás periodos fueron de 0 a 1238 µg g^{-1} Así como el Cd registrado (Fig. 27 B 3) su máximo en 1980 con 528 µg g^{-1} y las demás se registraron de 0 a 290.2 µg g^{-1}

no es un elemento esencial para el proceso metabólico, pero es absorbido por las plantas Iskandar (2000), registra una concentración mínima de 5 a 10 *mg Kg*$^{-1}$ y tóxica de 10 a 20 *mg Kg*$^{-1}$ (Kabata y pendias, 1992).

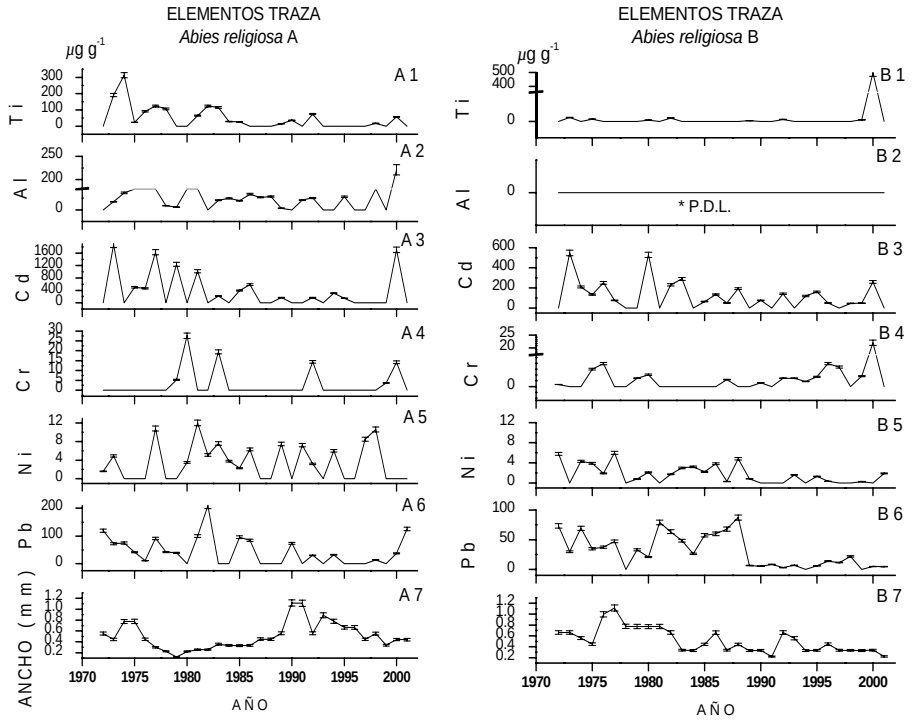

Figura 27: Representación de elementos traza detectados en $\mu g\ g^{-1}$ por PIXE en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa*** de zoquiapan (*por debajo del limite de detección)

El **Aluminio** (Fig. 27 A 2) tubo una concentración máxima en el quinquenio de 1995-2000 con 221.29 µg g^{-1} y una mínima en el quinquenio de 1980-1985 con 3.30 µg g^{-1} en donde la siguiente (Fig. 27 B 2) los detectores de PIXE no obtuvieron concentraciones de Al por estar por debajo del umbral de detección y esto se deba posiblemente a las altas concentraciones de Ca presentes en el suelo, o en su momento se lixiviaron a partes más profundas del suelo.

El incremento de **Al** aumenta la concentración de H^+ produciendo elongación en raíces, producción de biomasa en la raíz, reducción de los fluidos de la membrana y cambios de síntesis de ADN (Kabata y Pendias, 1992). También una alta concentración de Al esta relacionada con el incremento de niveles de Fe y Mn entre otros metales (Reimann, 1998).

El **Titanio** figura 27 A 1 se registro su concentración máxima de 313 µg g^{-1} en el quinquenio de 1970-1975 y su mínima con 15 µg g^{-1} en el periodo de 1989. Por otro lado en la Fig. 27 B 1 su máximo se localizo en el quinquenio de 1995-2000 con 498.1 µg g^{-1} y su mínima en el periodo de 1989 con 2.3 µg g^{-1} Reimann, (1998), menciona que los niveles permitidos están en 26 a 1562 *mg* kg^{-1} donde el Ti predomina en su forma tetravalente y su principal componente es óxidos de titanio (Kabata y Pendias 1992).

En la figura 28 A 4 se puede observar el registro máximo de **Paladio** este elemento traza en el quinquenio de 1980-1985 con 442.1 µg g^{-1} así como la relación en el crecimiento de anillos de 0.1 mm a 0.4 mm. Iskandar (2000), menciona que el Pd existe en forma divalente mientras que en Kabata y Pendias (1992), menciona que las concentraciones registradas en pino van de 2 a 285 *mg* Kg^{-1} y la variación de las concentraciones depende de las condiciones climáticas y etapa de crecimiento de las plantas. El **Pd** (Fig. 28 B 4) tiene un registro de concentración máxima en 1975-1980 de 215.7 µg g^{-1} este metal es ligeramente tóxico sin embargo, la concentración del Pd en la solución del nutriente es alta en 1 a 3 mg ^{L} y el daño de las células puede ser observado. La inhibición de estos

procesos metabólicos puede ser observada en el incremento de Pd contenido en el tejido de la planta.

El **Bismuto** registro un máximo en el quinquenio 1970-1975 con 243 µg g^{-1} (Fig. 28 A3) así también en el periodo de 2000 con 119 µg g^{-1} y así el registro mínimo

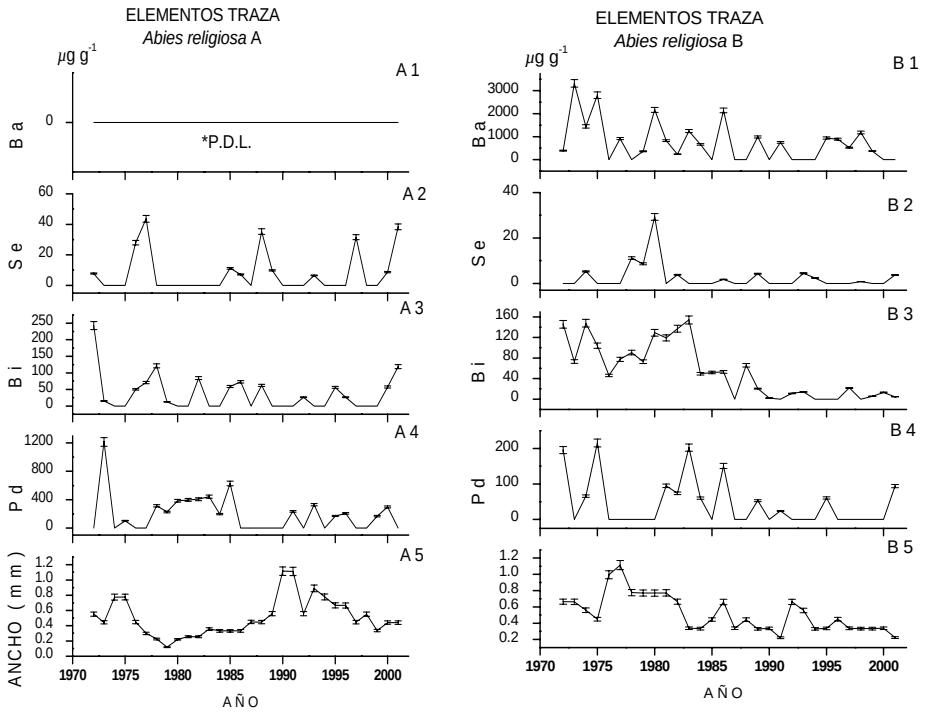

Figura 28: Representación de elementos traza detectados en µg g^{-1} por PIXE en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa*** de zoquiapan (*por debajo del limite de detección)

detectado fue en el periodo 1979 con 12.3 µg g^{-1} en donde algunos años no hubo registro del elemento. Este no debe exceder a 0.5 *mg* Kg^{-1} (Bowen, 1979 en Kabata y Pendias,1992). El **Bi** puede incrementarse en suelos ricos en óxidos de Fe y materia orgánica, así como tener su alta concentración por carbón y aguas residuales.

El **Selenio** registro su mayor concentración de 43.7 µg g^{-1} figura 28 A 2 en el quinquenio de 1795-1980 va a depender de la región climática del suelo, potencial Oxido-Reducción donde el acumulamiento de Mn, Zn, Cu, Fe , disminuyen al Se (Fig. 28 A 2, B 2) que alcanzaron concentraciones de 0–43.7µg g^{-1}.

El **Bario** como se muestra en la (Fig. 28 A 1) los detectores de PIXE no registraron concentraciones de Ba por estar por debajo del umbral de detección, mientras en la Fig. 28 B 1 se observa para el Ba su máxima concentración en el quinquenio de 1970-1975 con 3315.7 µg g^{-1} y su registro mínimo de 0–2801.6 µg g^{-1} El Ba tiene un promedio de 560 a 8500 *mg* kg^{-1} según reportes de Reimann, (1998) y menciona que no es componente del tejido de la planta.

En la figura 29 se presentan cuatro grupos en asociación entre los cuales se

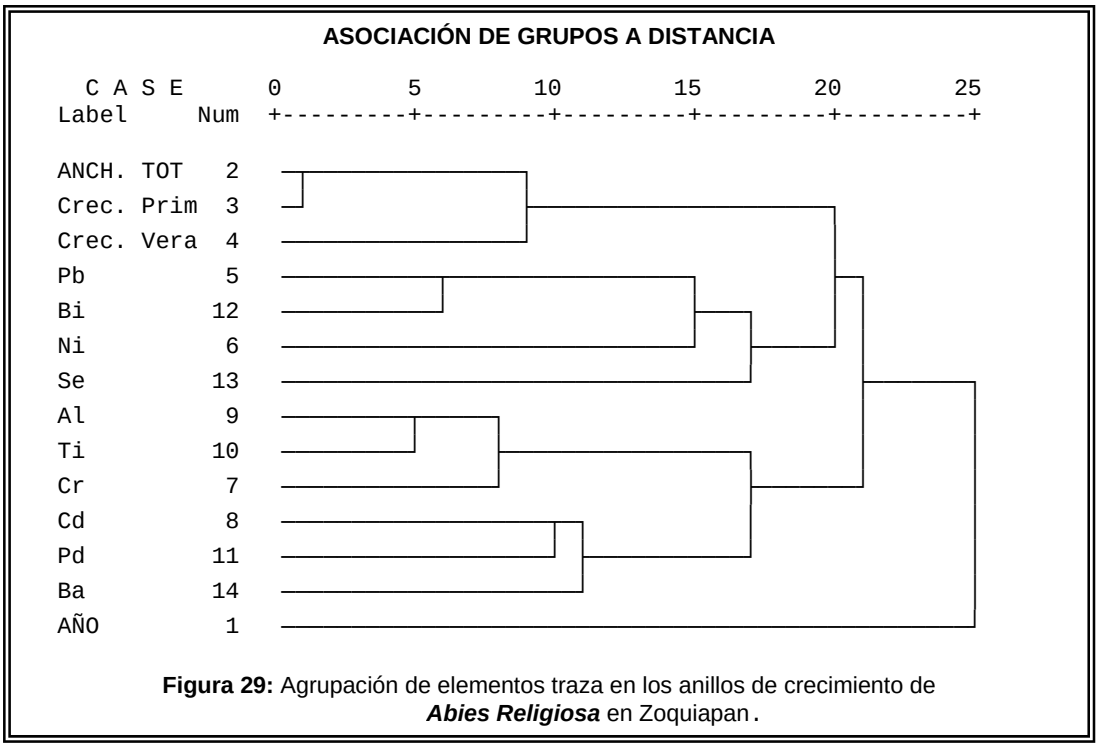

Figura 29: Agrupación de elementos traza en los anillos de crecimiento de ***Abies Religiosa*** en Zoquiapan.

encuentran presentes el ancho total del anillo con respecto ala parte blanca que es

de la de primavera y la parte obscura que corresponde a la de verano el segundo grupo corresponde a **Pb-Bi** donde estos elemento traza se dan por efecto de industrias o efecto de contaminación así como el Ni presente y el Se. El tercer grupo se presenta con **Al-Ti** donde están fuertemente relacionados con las arcillas y materia orgánica asi como el Cr y estas relaciones se deban alas zonas industriales presentes en la zona. El cuarto grupo esta presentado por **Cd-Pd** se deben a las emisiones de contaminantes en la zona y van a depender del pH del suelo y su capacidad amortiguadora así como la del **Ba** que no es indispensable para la planta pero se encuentra presente en el tejido.

10.5.3. Elementos traza (Pb, AS, Ni, Cr, Zr, Ti) Pinus montezumae

El **Plomo** de Zoquiapan (Fig. 30 A 6) obtuvo un máximo de 246.8 µg g^{-1} en el periodo de 1973 así como en 1982 con un máximo de 172.8 µg g^{-1} desminuyendo en varios periodos, pero como se puede apreciar también, hubo una disminución de crecimiento de anillos de pino dentro de los picos máximos de Pb. Iskandar (2000), menciona que las concentraciones de Pb presente en las plantas se debe a las propiedades del suelo y a través del exceso de las gasolinas y Reimann (1998), menciona que las concentraciones máximas de Pb son de 6959 *mg*Kg-1 encontrando Pb en Zoquiapan (Fig. 30 B 6) se observa un máximo en el quinquenio de 1980-1985 con 32.3 µg g-1 hasta no registrar en varios periodos Kabata y Pendias, (1992), mencionan que las concentraciones de Pb son absorbidas por las raíces y así llegan a las paredes celulares

solamente el 3 % las otras concentraciones de Pb se distribuyen en otras partes de la planta.

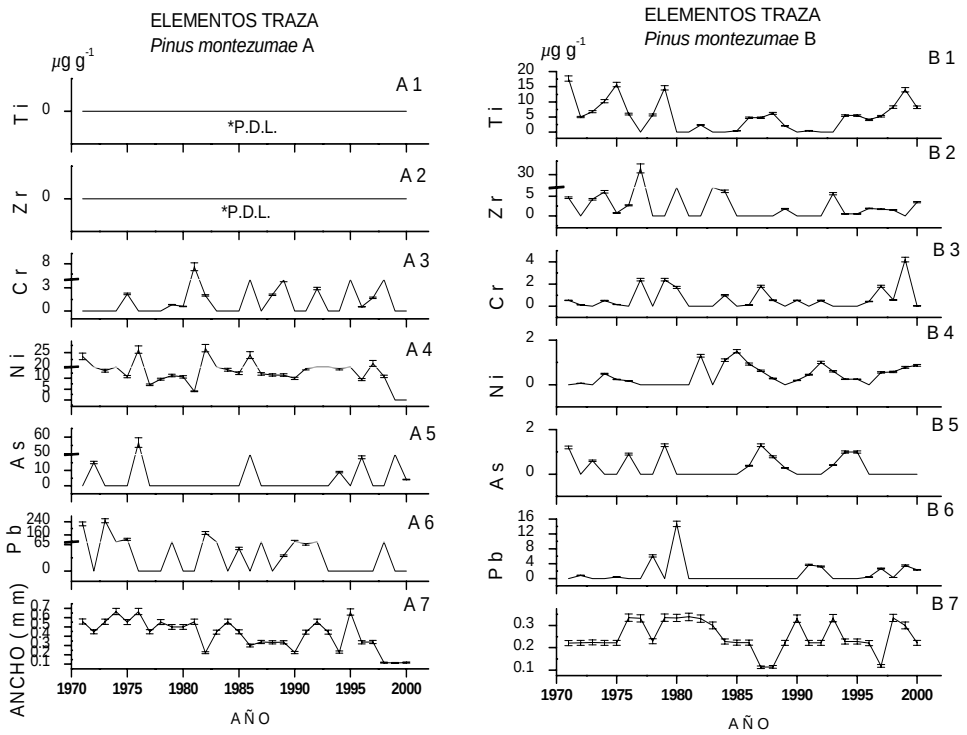

Figura 30: Representación de elementos traza detectados por PIXE *mg g*$^{-1}$ en anillos de crecimiento de ***Pinus Montezumae (*** * por debajo del limite de detección).

El **Arsénico** en la (Fig. 30 A 5) se registro con un máximo en el quinquenio de 1975-1980 con 56.7 µg g^{-1} según Kabata y Pendias (1992), dice que la mayor concentración se registra en las raíces y donde las concentraciones son permisibles para la planta según reportes de Reimann (1998), son de 100 mg Kg^{-1} Mientras el As (figura 30 b 5) registró un máximo en dos periodos 1979-1987 con 1.3 µg g^{-1} hasta no registrarse donde se menciona que el Se inhibe la toxicidad del As en la mitocondria y en alto de las células.

El **Níquel** registrado en la figura 30 A 4 obtuvo un máximo en el quinquenio de 1980-1985 con 26.5 µg g^{-1} y un 24.1 µg g^{-1} en el periodo 1986 donde los anillos de crecimiento fueron angostos con 0.2 a 0.4 mm Kabata y Pendias (1992), menciona que las concentraciones dependen de las propiedades del suelo y las concentraciones en el suelo fueron de 7.2 *mg* Kg^{-1} en el periodo de 1993 hasta no registrarse en el periodo del 2000. Así también como se muestra en la (Fig. 30 B 4) los máximos de Ni se registraron en el periodo de 1985 con 1.5 µg g^{-1} donde Reimann (1998), menciona que las concentraciones permitidas para el Ni es de 122 *mg* Kg^{-1}

El **Cromo** registrado en la figura 30 A 3 con una concentración de 7.7 µg g^{-1} en el periodo de 1981 y de 4.8 µg g^{-1} en el periodo de 1995. Hasta no registrarse en otros periodos. Mientras en la figura 30 B 3 alcanzo una concentración de 4.2 µg g^{-1} en el periodo de 1999 teniendo dos periodos con concentraciones parecidas con 2.4 µg g^{-1} en 1979 y 1977 Kabata y Pendias (1992), concluye que el Cr es transportado en forma aniónica y transformado por las células en cationes Cr^{3+} y esto va depender de la concentración.

El **Zirconio** de la (Fig. 30 A 2) no se registro el Zr por estar por debajo del umbral de detección. Por consiguiente el Zr (Fig. 30 B 2) se registro un máximo en los periodos 1997 con 32.3 µg g^{-1} en 1983 con 8.5 µg g^{-1} y 1993 con 5.6 µg g^{-1} Kabata y Pendias (1992), hasta no registrarse en los demás periodos. La variabilidad del Zr en plantas esta limitado por las propiedades del suelo y van a estar las concentraciones en raíces y nódulos, como se ve en el periodo de 1993 de suelo

donde se registró un incremento de 5.6 µg g^{-1} y también poco crecimiento en el árbol.

El **Titanio** (Fig. 30 A 1) no se detecto al estar por debajo del umbral de detección mientras el Ti (Fig. 30 B 1) obtuvo un máximo en el quinquenio de 1970-1975 con 17.7 µg g^{-1} se encuentra en estado tetravalente posiblemente tiene impacto en la producción de biomasa con un promedio de concentración en 0.15 a 80 *mg* Kg^{-1} y donde su concentración en suelo estuvieron en proporción constante en 1999 de 36.4 µg g^{-1}–1135.5 µg g^{-1}.

En la figura 31 se representan los elementos traza de *Pinus montezumae* las asociaciones del ancho total del anillo con respecto al de la parte blanca (primavera) se da por el crecimiento del árbol durante el año, así como en la de

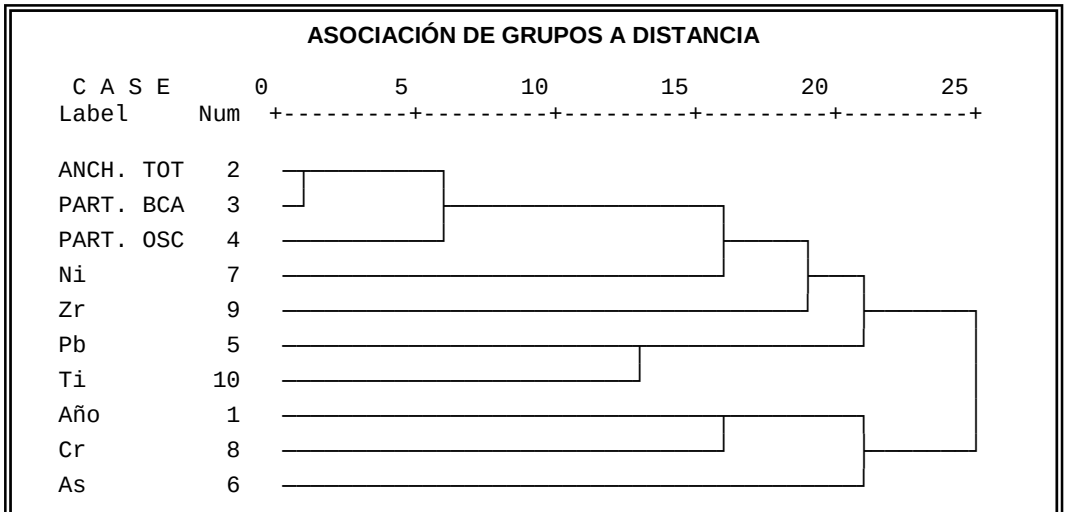

Figura 31: Agrupación histórica de elementos traza en los anillos de crecimiento de ***Pinus Montezumae*** en Zoquiapan.

verano (parte obscura) y el siguiente grupo de elementos se da en Pb-Ti donde se encuentran en forma natural pero el acelerado incremento en la contaminación

tiende a tener un aumento de estos elementos y están relacionados por la materia orgánica y arcillas del suelo presente. Por ultimo grupo se registra al Cr-año donde el Cr es esencial para el metabolismo de la planta la toma en catión Cr^{6+} y la puede transformar en dentro de la célula en catión Cr^{3+} y tiene interacción con el ADN.

10.6. METALES EN SUELO.

10.6.1. Metales (As, Rb, Sr) del Suelo Zoquiapan.

Arsénico 1993 como se muestra en la (Fig. 32 A 3) su máxima concentración se encontró en la profundidad 30 cm con 6.7 *mg Kg*$^{-1}$ Kabata y Pendias (1992), menciona que la migración de As esta limitada fuertemente por las arcillas,

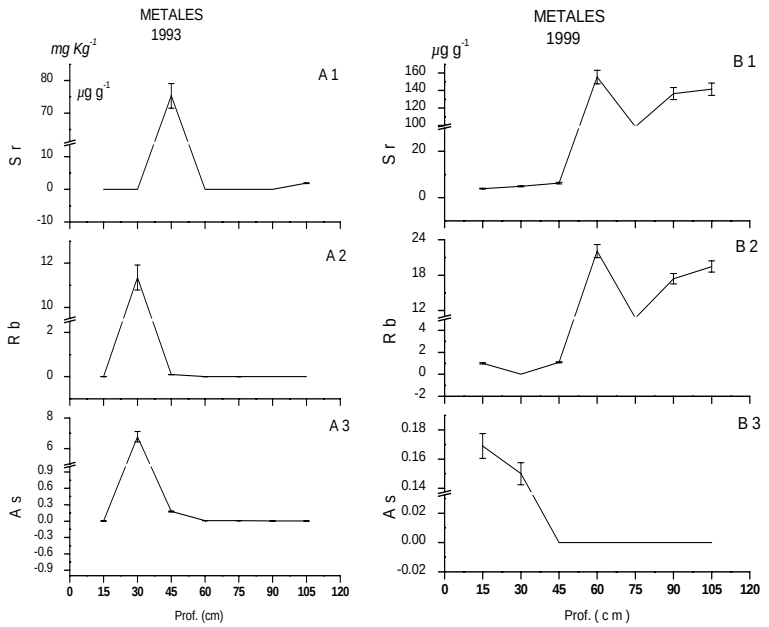

Figura 32: Representación de metales detectados por PIXE $\mu g\ g^{-1}$ en suelo 1993-1999 del Parque Nacional zoquiapan.

hidróxidos y materia orgánica con un intervalo de 0.5 a 2.5 *mg* Kg^{-1} Mientras en 1999 (Fig. 32 B 3) la concentración máxima se encontró en el perfil 15 con 0.17 µg g^{-1} donde también Elkhabit *et al* 1984 en Kabata y Pendias (1992), mencionan que el As en forma cristalina y amorfa en óxidos de Fe tienen una concentración de hasta 450 *mg* Kg^{-1} de As.

El **Rubidio** en 1993 muestra su máxima concentración (Fig. 32 A 2) se registro en la profundidad 30 con 11.3 *mg* Kg^{-1} Koons y Helmke 1978 en Kabata y Pendias (1992), mencionan que los niveles permitidos son de 63 a 420 *mg* Kg^{-1} en la materia total en los cuales esta por encima de lo establecido. El Rb en 1999 se registro un máximo (Fig. 32 B 2) en la profundidad 60 con 22.08 µg g^{-1} reportes de Shacklette y Boerngen 1984 en Kabata y Pendias (1992), describen que la concentración en suelos es de 30 a 50 *mg* Kg^{-1} con materia orgánica.

El **Estroncio** de 1993 figura 32 A 1 tiene su máxima concentración en la profundidad de 45 cm con 75.3 µg g^{-1} mientras que el **Sr** en 1999 (Fig. 32 B 1) registro su máxima concentración en la profundidad de 60 cm con 155.46 µg g^{-1} al respecto Kabata y Pendias (1992), menciona que en suelos ácidos el Sr va hacía las partes profundas y estas concentraciones pueden ser de 18-3500 *mg* Kg^{-1}.

Estos metales van a depender por la capacidad del suelo y reportes de Kabata y Pendias (1992), menciona que el As en suelos contaminados de 30 a 50 *mg* kg^{-1} y en el suelo registrado de Zoquiapan estaba de 6 *mg* kg^{-1} en 1993 a 0.17 *mg* kg^{-1} en 1999, mientras el Rb se registro de 11 *mg* kg^{-1} en 1993 pasando a concentraciones de 0.22 *mg* kg^{-1} en 1999. Por otro lado el Sr se registro de 75 µg g^{-1} en 1993 pasando a concentraciones de 0.1 *mg* kg^{-1} en 1999.

Esto va a depender mucho de la materia orgánica, porcentaje de arcillas presente en el suelo, y como se puede apreciar con el Sr en la profundidad de 45 cm.

En la figura 33 presentan solamente dos grupos de asociación de metales presentes en el suelo de Zoquiapan el primero es de As-Rb y esto se debe ala materia orgánica y arcillas presentes en el suelo así como el pH predominante, mientras el segundo grupo presente es el del Sr-profundidad y esta relación existe por la interacción con las arcillas presentes el suelo y la materia orgánica donde son lixiviados a las partes más profundas del suelo como se dio en el estudio de 0-120cm.

ASOCIACIÓN DE GRUPOS DISTANCIA

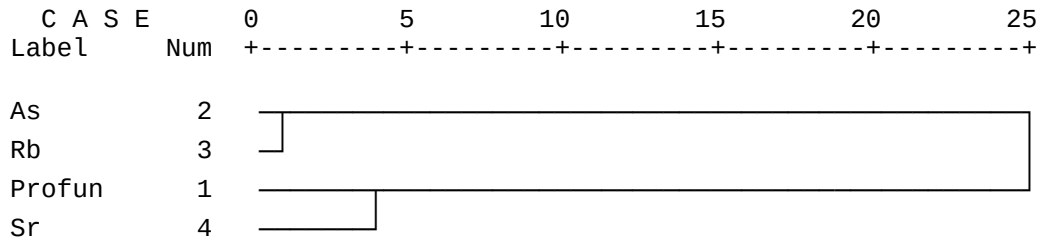

Figura 33: Agrupación de metales en suelo del periodo 1993-1999 Zoquiapan.

En la **Cuadro 5** se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los metales detectados por (PIXE) encontrados en suelo y relacionadas con el año las correlaciones fueron As 9399 y Rb 9399 (0.9999), Rb 9399 y Ar 9399 (0.9999).

Cuadro 5: Correlación de Pearson encontrados entre los metales As, Rb y Sr en suelo y el año de muestro.

	ANCHO	As 9399	Rb 9399	Sr 9399
ANCHO	1.0000 (0) P= .	-.0825 (11) P= .789	-.0783 (11) P= .799	-.4162 (11) P= .157
As 9399	-.0825 (11) P= .789	1.0000 (0) P= .	**.9999** (11) P= .000	.0786 (11) P= .799
Rb 9399	-.0783 (11) P= .799	**.9999** (11) P= .000	1.0000 (0) P= .	.0711 (11) P= .817
Sr 9399	-.4162 (11) P= .157	.0786 (11) P= .799	.0711 (11) P= .817	1.0000 (0) P= .

10.7. ELEMENTOS PARCIALMENTE NECESARIOS EN MADERA DEL OYAMEL Y PINO

10.7.1. Elementos parcialmente necesarios (Ga, V, Y, Br) en *Abies Religiosa*

El **Galio** registrado (Fig. 34 A 4) obtuvo su máxima concentración en 22.8 µg g^{-1} en el quinquenio de 1980-1985 y su mínima fue en el periodo 1990 con 3.1 µg g^{-1} se encontró que las demás concentraciones oscilaron en 0-18.9 µg g^{-1} En la (Fig. 34 B 4) puede observarse que la concentración máxima de Ga es de 99.8 µg g^{-1} y se localizó en el quinquenio de 1980-1985 y su mínima se registro en el periodo de 1993 con 1.5 µg g^{-1} Este elemento se encuentra en forma de Ga^{3+} y se acumula por materia orgánica, comúnmente localizado en el tejido de la planta y su promedio mínimo es de 3 a 30 *mg* Kg^{-1} (Kabata y Pendias, 1992).

En la (Fig. 34 A 3) el **Vanadio** registro un máximo en el quinquenio de 1970-1975 con 59.8 µg g^{-1} registrando un nuevo aumento en el periodo de 2000 con 39.2 µg g^{-1} y en los demás periodos registro de 0- 36.8 µg g^{-1} El V (Fig. 34 B 3) registro su

concentración máxima en el quinquenio de 1995-2000 con 10.6 µg g^{-1} teniendo mínimos registros de 0–7.6 µg g^{-1} reportes de Kabata y Pendias (1992), mencionan que la tolerancia de las plantas van de 5 a 50 *mg* Kg^{-1} y estas pueden aumentar por las fuentes emisoras antropogénicas. En un estudio en China se destaco por tener una concentración de 350 a 840 *mg* Kg^{-1} en suelos y esto se ve

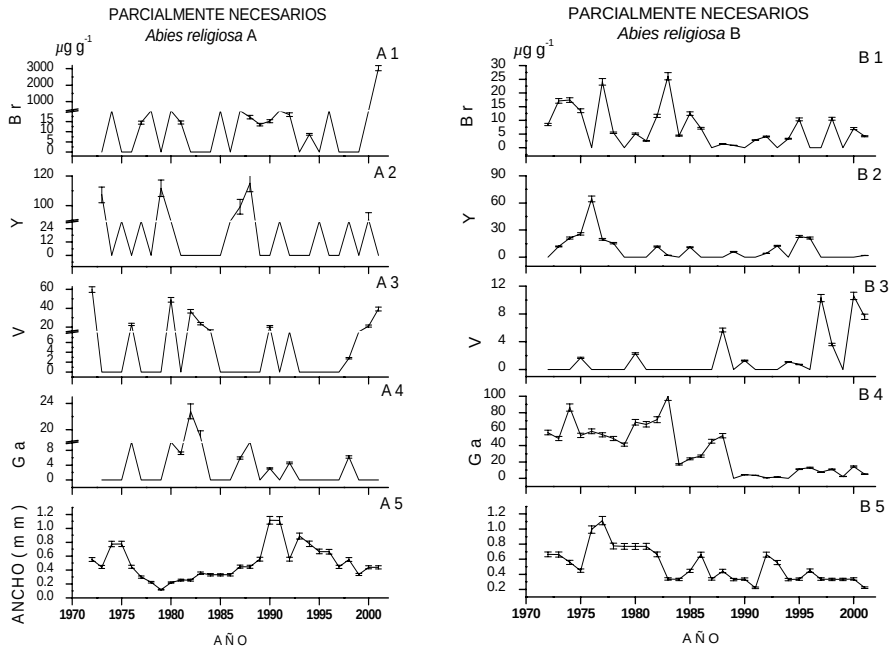

Figura 34: Representación de elementos parcialmente necesarios detectados $\mu g\ g^{-1}$ por PIXE en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa.***

reflejado en el periodo de 1993 en el suelo por tener una concentración máxima de 32. 6 *mg* Kg^{-1}

El **Itrio** en la (Fig. 34 A 2) su máxima concentración se registro en el quinquenio 1980-1985 con 115.1 µg g^{-1} así sus mínimos variaron en los restantes periodos de 0–111.7 µg g^{-1} Por otro lado el Y (Fig. 34 B 2) registro su máxima concentración

en el quinquenio de 1975-1980 con 64.6 µg g^{-1} con sus variaciones de 0–25 µg g^{-1} Se incorpora principalmente en forma de Y^{3+} y varios minerales, silicatos y fosfatos y su intervalo en las plantas va de 20 a 100 *mg* Kg^{-1} (Kabata y Pendias,1992). Algunos reportes de Bowen, 1979 señalan que las semillas de las plantas pueden llegar a acumular hasta 700 ppm.

El **Bromo** (Fig. 34 A 1) registro un máximo con 3038.4 µg g^{-1} en el quinquenio de 1995-2000 posteriormente para tener unas concentraciones en los siguientes periodos que van de 0–147.7 µg g^{-1} El Br no es esencial pero puede sustituir al Cl donde Reimanm,1998 describe intervalos de 16 *mg* kg^{-1} como mínimo, intermedio con 50.5 *mg* kg^{-1} y máximo con 230 *mg* kg^{-1} lo cual va a depender de la región climática del suelo, potencial óxido-reducción y donde la absorción de metales Mn, Zn, Cu, Fe y Cd inhiben el crecimiento como se ve en la (Fig. 34 a5, a4 a3 a2 y 34 b 3) los aumentos a estos elementos y así su disminución se observa en la figura A2 b2 donde sus concentraciones oscilaron de 0–43.7µg g^{-1}.

En la figura 35 se muestra la estrecha relación del crecimiento que se da en

ASOCIACIÓN DE GRUPOS A DISTANCIA

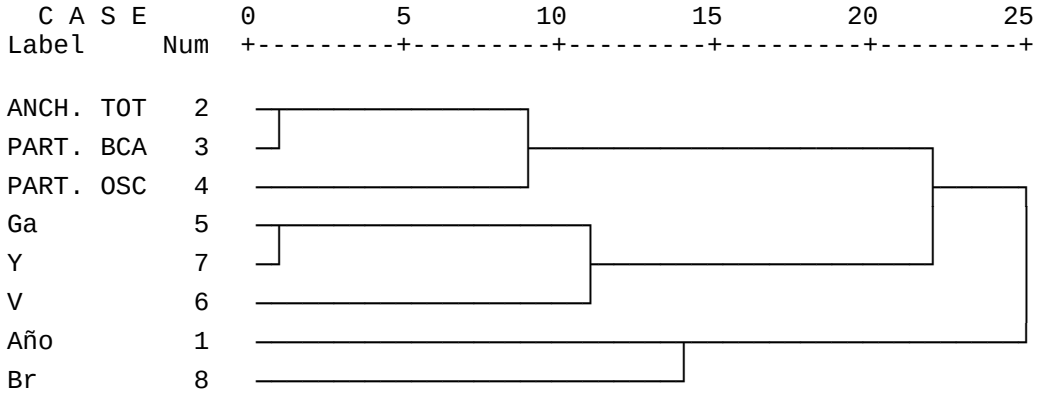

Figura 35: Agrupación histórica de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de ***Abies Religiosa*** en Zoquiapan

primavera, mientras seda solamente un grupo de elementos parcialmente necesarios que son Ga-Y en donde estos no se saben si son esenciales pero se encuentran en los tejidos de las plantas (Kabata y Pendias, 1992) de 20 a 150 µg g^{-1}. Rojas, 1993.

10.7.2 Elementos parcialmente necesarios Ga, V, Y, Br en *Pinus montezumae*

En la Fig. 36 A 6, el Rb tiene un registro máximo en el quinquenio de 1990 con 147.8 µg g^{-1} y en 1995 con 133.8 µg g^{-1} en la absorción la planta simula la

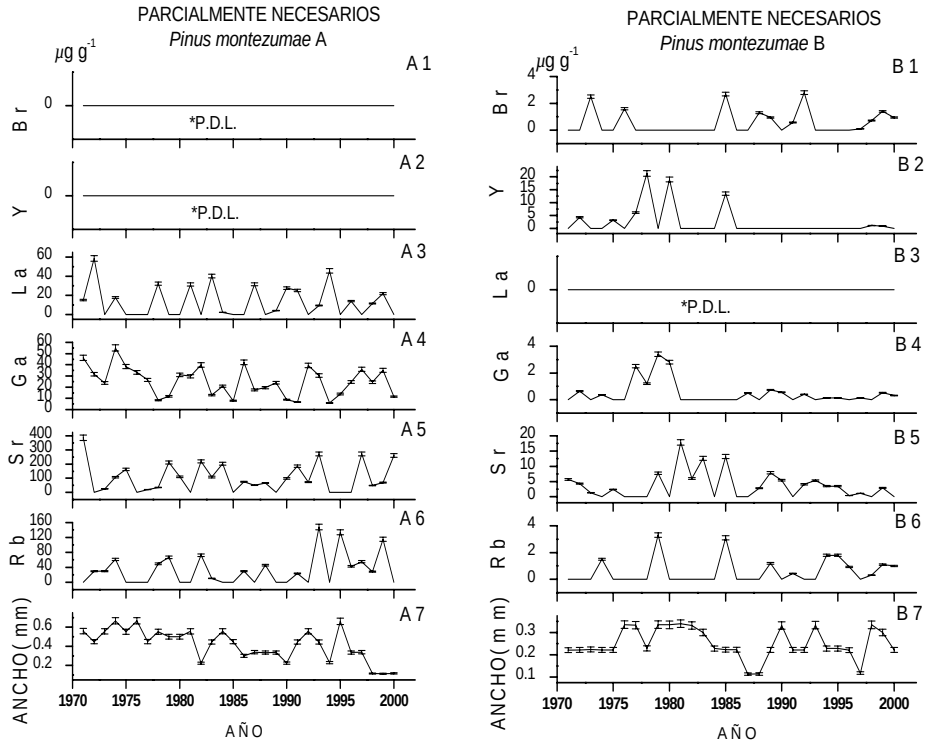

Figura 36: Representación de elementos parcialmente necesarios detectados por PIXE *mg g^{-1}* en anillos de crecimiento de ***Pinus Montezumae (*** * por debajo del limite de detección).

absorción de K donde puede sustituir los roles metabólicos de K Kabata y

Pendias, (1990). Mientras que en la figura 36 B 6 el Rb alcanza valores de 0 a 3.3 µg g^{-1} no permanece homogéneo donde Kabata y Pendias (1990), menciona que el contenido de Rb esta en el intervalo de 20 a 70 *mg* Kg^{-1}.

El **Estroncio** presente como se muestra en la figura 36 A 5 registro un máximo en el periodo de 1993 con 272.6 µg g^{-1} y en el periodo de 1997 con 271.9 µg g^{-1}, su concentración disminuye hasta llegar a concentraciones que no fueron cuantificables. Así mismo el Sr registrado en la figura 36 B 5 obtuvo un máximo de 17.8 µg g^{-1} en el periodo de 1981. Donde el Sr esta relacionado estrechamente con Ca y Mg y también movilizado durante la lluvia especialmente oxidado en ambientes ácidos y es incorporado a las arcillas minerales y mezcla de materia orgánica también puede ser precipitado en carbonatos y esto ocurre principalmente en Sr^{2+} donde los valores permitidos para la planta varían de 10 a 1500 *mg* Kg^{-1}.

El **Galio** registrado figura 36 A 4 en el quinquenio de 1975-1980 con la concentración de 55 µg g^{-1} hasta el periodo de 1985 con 7.9 µg g^{-1} mientras en la fig. 36 B 4 se encontraron pequeñas concentraciones que oscilaron en 3.4 µg g^{-1} máximo hasta no registrar el elemento en el quinquenio de 1980-1985. el promedio de Ga en plantas es de 3 a 30 *mg* Kg^{-1}.Kabata y Pendias (1992), menciona que es benéfico para el rol en el crecimiento de organismos.

El **Itrio** figura 36 A 2 no se detecto el elemento por estar por debajo del límite de detección, mientras que el registro de este elemento en el quinquenio de 1975-

1980 fig. 34 B 2 fue de 21.3 µg g^{-1}, teniendo otro máximo en el periodo de 1985 con 13.5 µg g^{-1}.

El **Bromo** fig. 36 A 1 no se registró por estar por debajo del límite de detección, mientras como se observa en la fig. 36 B 1 los registros máximos de Br se encontraron en el quinquenio de 1990-1995 con valores de 2.8 µg g^{-1} hasta no registrarse en los siguientes periodos. Se a observado la capacidad de absorción del Br en las arcillas y se sabe que las fuentes emisoras son de origen natural (emisiones volcánicas y actividades humanas) y donde Kabata y Pendias (1990), las concentraciones de Br no deben rebasar 40 *mg* Kg^{-1}.el Br pude sustituir en parte al Cl^{-} y este último si tiene una función biológica en la planta.

En la figura 37 los elementos parcialmente necesarios en *Pinus montezumae* dan una relación con el ancho total del anillo anual con respecto a la de primavera y verano, no se conoce su metabolismo especifico pero se encuentran presentes

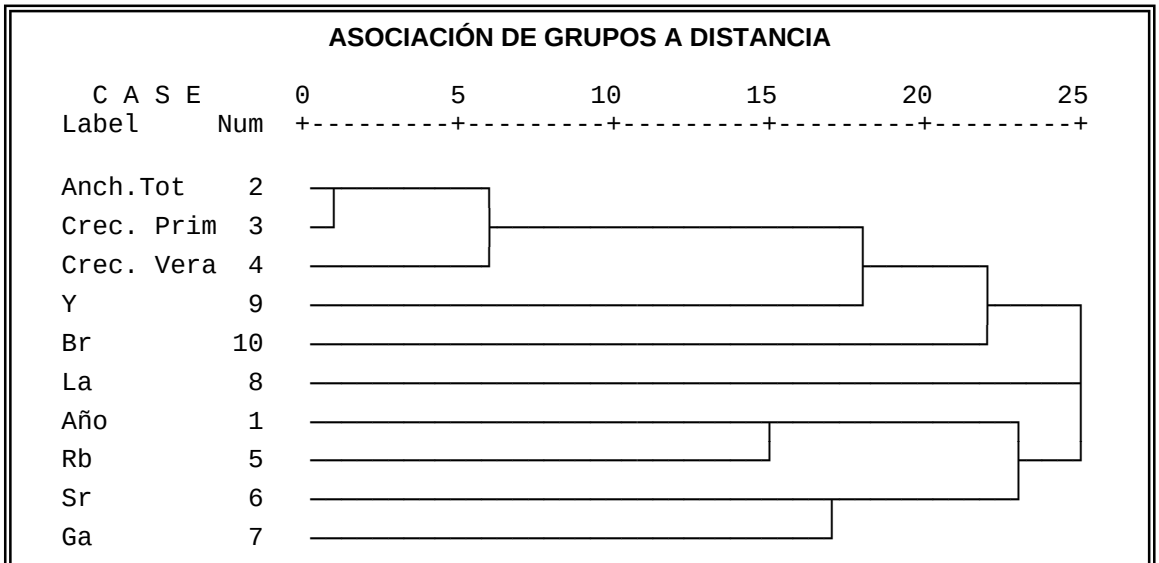

Figura 37: Agrupación de elementos parcialmente necesarios en los anillos de crecimiento de ***Pinus Montezumae*** en Zoquiapan.

como La que no se discute la función en el metabolismo Kabata y Pendias (1990), menciona que inhiben su especialidad y complejidad, donde aumenta el Ca en la mitocondria de las células.

En la figura 38 se puede observar la relación de cinco grupos Zn-Co que están presentes por la cantidad de arcillas presentes en el suelo, así como el cuarto grupo Mn-Ti no reporta el antagonismo pero van a depender de la solución

AGRUPACION DE ANILLOS CONTRA SUELO EXISTENTES EN AMBAS ZONAS

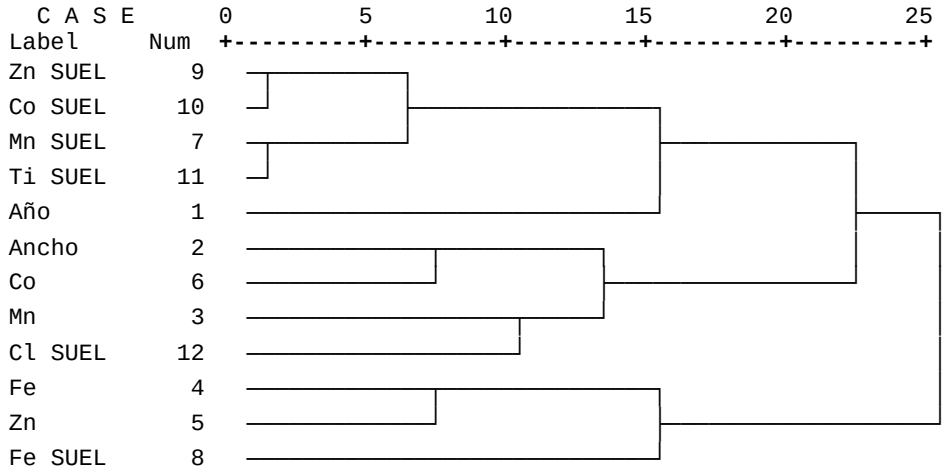

Figura 38 Asociación de anillos de crecimiento con concentraciones de Suelo en el Parque Nacional Zoquiapan.

del suelo, mientras el tercer grupo es Co-ancho menciona Rojas,1993 que el Co es funcional en coenzimas, pero quizás es sustituible, en segundo termino se da en Cl-Mn donde ambos los requiere el organismo para su metabolismo y el Cl es vital en reacciones que llevan a la evolución del O_2 en la fotosíntesis, por último encontramos al grupo de Fe-Zn Kabata y Pendias, (1990) suguiere que esta relación esta asociada con ($ZnFe_2O_4$) y son requeridos para el metabolismo.

En el **Cuadro 6** se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los macronutrimentos detectados por (PIXE) encontrados en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa*** en donde las correlaciones fueron Ca y K (0.9662), Ca y ancho (0.5067), K y Ca (0.9662), K y ancho (0.6128) Ancho y Ca (0.5067), Ancho y K (0.6128).

Cuadro 6: Macronutrimentos en anillos de crecimiento *Abies religiosa*

	CA	K	ANCHO	S	AÑO
Ca	1.0000	**.9662**	**-.5067**	-.2532	.2928
	(0)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .	P= .000	P= .093	P= .427	P= .356
K	**.9662**	1.0000	**-.6128**	-.4019	.2238
	(10)	(0)	(10)	(10)	(10)
	P= .000	P= .	P= .034	P= .195	P= .484
Ancho	**-.5067**	**-.6128**	1.0000	.2819	-.4336
	(10)	(10)	(0)	(10)	(10)
	P= .093	P= .034	P= .	P= .375	P= .159
S	-.2532	-.4019	.2819	1.0000	.2133
	(10)	(10)	(10)	(0)	(10)
	P= .427	P= .195	P= .375	P= .	P= .506
AÑO	.2928	.2238	-.4336	.2133	1.0000
	(10)	(10)	(10)	(10)	(0)
	P= .356	P= .484	P= .159	P= .506	P= .

En el **Cuadro 7** se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los micronutrimentos detectados por (PIXE) encontrados en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa y Pinus montezumae*** en donde las correlaciones fueron Ancho y Mg (0.7111), Ancho y Fe (0.7598), Ancho y Zn (0.5319), Ancho y Co (0.6512), Mg y Ancho (0.7111), Mg y Fe (0.7863), Mg y Zn (0.8822), Mg y Cu (0.7485), Mg y Co (0.7143), Mn y Co (0.5432), Fe y Ancho (0.7598), Fe y Mg (0.7863), Fe y Zn (0.6401), Fe y Cu (0.5933), Fe y Co (0.5485), Zn y Ancho (0.5319), Zn y Mg (0.8822) Zn y Fe (0.6401), Zn y Cu (0.8588), Zn y Co (0.5833), Cu y Mg (0.7485),Cu y Zn (0.8588).

CUADRO 7: Correlación de Pearson de los micronutrimentos registrados en anillos de crecimiento en ***Abies religiosa y Pinus montezumae***

	ANCHO	**Mg**	**Mn**	**Fe**	**Zn**	**Cu**
ANCHO	1.0000	**.7111**	.1724	**-.7598**	**-.5319**	-.3336
	(0)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .	P= .010	P= .592	P= .004	P= .075	P= .289
Mg	**.7111**	1.0000	.3714	**-.7863**	**-.8822**	**-.7485**
	(10)	(0)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .010	P= .	P= .235	P= .002	P= .000	P= .005
Mn	.1724	.3714	1.0000	-.1679	-.1004	.1667
	(10)	(10)	(0)	(10)	(10)	(10)
	P= .592	P= .235	P= .	P= .602	P= .756	P= .605
Fe	**-.7598**	**-.7863**	-.1679	1.0000	**.6401**	.5933
	(10)	(10)	(10)	(0)	(10)	(10)
	P= .004	P= .002	P= .602	P= .	P= .025	P= .042
Zn	-.5319	**-.8822**	-.1004	**.6401**	1.0000	**.8588**
	(10)	(10)	(10)	(10)	(0)	(10)
	P= .075	P= .000	P= .756	P= .025	P= .	P= .000
Cu	-.3336	**-.7485**	.1667	**.5933**	**.8588**	1.0000
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(0)
	P= .289	P= .005	P= .605	P= .042	P= .000	P= .
Co	.6512	**.7143**	**.5432**	**-.5485**	**-.5833**	-.2491
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .022	P= .009	P= .068	P= .065	P= .047	P= .435
Año	-.4336	.0025	-.1441	.2687	-.3024	-.3826
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .159	P= .994	P= .655	P= .398	P= .339	P= .220

En **Cuadro 8** se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los elementos traza detectados por (PIXE) encontrados en anillos de crecimiento en

Cuadro 8: Correlación de Pearson de elementos traza analizados en anillos de crecimiento de ***Abies religiosa y Pinus montezumae***

	ANCHO	**Pb**	**V**	**Cu**	**Ni**	**Br**
ANCHO	1.0000	**-.6351**	-.0021	**.5775**	.4863	.3742
	(0)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
	P= .	P= .175	P= .997	P= .230	P= .328	P= .465
Pb	**-.6351**	1.0000	-.4696	-.0328	-.3856	-.2894
	(4)	(0)	(4)	(4)	(4)	(4)
	P= .175	P= .	P= .347	P= .951	P= .450	P= .578
V	-.0021	-.4696	1.0000	.2765	**.7476**	**.5956**
	(4)	(4)	(0)	(4)	(4)	(4)
	P= .997	P= .347	P= .	P= .596	P= .088	P= .212
Cu	**.5775**	-.0328	.2765	1.0000	**.8315**	**.5962**
	(4)	(4)	(4)	(0)	(4)	(4)
	P= .230	P= .951	P= .596	P= .	P= .040	P= .212
Ni	.4863	-.3856	**.7476**	**.8315**	1.0000	**.7928**
	(4)	(4)	(4)	(4)	(0)	(4)
	P= .328	P= .450	P= .088	P= .040	P= .	P= .060
Br	.3742	-.2894	.5956	**.5962**	**.7928**	1.0000
	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(0)
	P= .465	P= .578	P= .212	P= .212	P= .060	P= .
Año	-.4919	**.6780**	**-.8218**	-.5204	**-.8702**	**-.7899**
	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
	P= .322	P= .139	P= .045	P= .290	P= .024	P=.062)

Abies religiosa y Pinus montezumae en donde las correlaciones fueron Ancho y Pb (0.6351), Ancho y Cu (0.5775), Pb y ancho (0.6351), Pb y año (0.6780), V y Ni (0.7476), V y Año (0.8218), Cu y ancho (0.5775), Cu y Ni (0.8315), Cu y Br (0.5962), Ni y V (0.7476), Ni y Cu (0.8315), Ni y Br (0.7928), Ni y Año (0.8702), Br y V (0.5956), Br y Cu (0.5962),Br y Ni (0.7928), Br y Año(0.7899).

En el **Cuadro 9** se muestran las correlación de Pearson donde se tienen Pb, V, Cu, Ni, Br, detectados por (PIXE) encontrados en anillos de crecimiento en (***Abies religiosa y Pinus montezumae***) en donde las correlaciones fueron, Ancho y V (0.8191), Pb y Ni (0.5643), Pb y Br 5461), V y Ancho (0.8191), Cu y Ni (0.9001), Ni y Pb (0.5643), Ni y Cu (0.9001), Br y Pb (0.5461).

Cuadro 9: Correlación de Pearson encontrados en anillos de crecimiento de *Abies religiosa Y Pinus montezumae*

	ANCHO	**Pb**	**V**	**Cu**	**Ni**	Br
ANCHO	1.0000	-.4712	**-.8191**	.4324	.1358	-.0270
	(0)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
	P= .	P= .423	P= .090	P= .467	P= .828	P= .966
Pb	-.4712	1.0000	.2090	.5098	**.5643**	**.5461**
	(3)	(0)	(3)	(3)	(3)	(3)
	P= .423	P= .	P= .736	P= .380	P= .322	P= .341
V	**-.8191**	.2090	1.0000	-.3105	.1158	-.1530
	(3)	(3)	(0)	(3)	(3)	(3)
	P= .090	P= .736	P= .	P= .611	P= .853	P= .806
Cu	.4324	.5098	-.3105	1.0000	**.9001**	.3535
	(3)	(3)	(3)	(0)	(3)	(3)
	P= .467	P= .380	P= .611	P= .	P= .037	P= .559
Ni	.1358	**.5643**	.1158	**.9001**	1.0000	.3490
	(3)	(3)	(3)	(3)	(0)	(3)
	P= .828	P= .322	P= .853	P= .037	P= .	P= .565
Br	-.0270	**.5461**	-.1530	.3535	.3490	1.0000
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(0)
	P= .966	P= .341	P= .806	P= .559	P= .565	P= .

En la figura 39 se puede apreciar la acumulación de estos elementos como son Cu-Ni-Pb-Br y son efecto de la contaminación antropogénica y su estrecha relación con las arcillas del suelo, el V depende de la movilidad del suelo y la

estructura de las arcillas así como el Cr que es esencial para el metabolismo, mientras que el Br no hay evidencia en el metabolismo pero puede sustituir al Cl que lo requiere la planta por eso se hace presente el anillo del árbol.

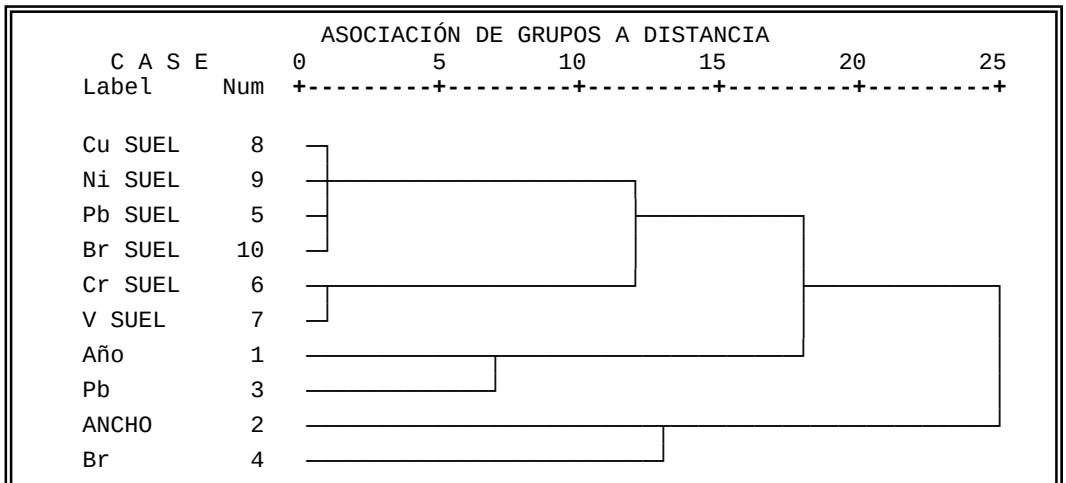

Figura 39: Asociación de grupos a distancia en suelo periodos 1993-1999.

Cuadro 10 se muestran las correlación de Pearson donde se tienen los micro nutrientes, Mn, Fe, Zn, Co, Ti, detectados por (PIXE) en suelo en ambas zonas 1993-1999 los valores fueron : Ancho y Fe (0.7411), Ancho y Zn (0.7719), Ancho y En el Co (0.6136), Ancho y Mn suelo (0.6446), Ancho y Zn suelo (0.6734), Ancho y Co suelo (0.6844), Ancho y Ti suelo (0.6110), Mn y Co (0.5293), Fe y Ancho (0.7411), Fe y Zn (0.7857), Zn y Ancho (0.7719), Zn y Fe (0.7857), Zn y Co (0.7280), Co y Ancho (0.6136), Co y Mn (0.5293), Co y Zn (0.7280), Mn suelo y Ancho (0.6446), Mn suelo y Zn suelo (0.6275), Mn suelo y Co suelo (0.7370) y Mn suelo y Ti suelo (0.9674).

Cuadro 10: Correlación de Pearson de los micronutrimentos, Mn, Fe, Zn, Co, Ti en suelo en ambas zonas 1993-1999.

	ANCHO	**Mn**	**Fe**	**Zn**	**Co**	**Mn SUEL**
ANCHO	1.0000	.1232	-.**7411**	-.**7719**	.**6136**	.**6446**
	(0)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .	P= .718	P= .009	P= .005	P= .045	P= .032
Mn	.1232	1.0000	-.1355	-.1527	.**5293**	-.0614
	(9)	(0)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .718	P= .	P= .691	P= .654	P= .094	P= .858
Fe	**-.7411**	-.1355	1.0000	.**7857**	-.5123	-.5061
	(9)	(9)	(0)	(9)	(9)	(9)
	P= .009	P= .691	P= .	P= .004	P= .107	P= .112
Zn	**-.7719**	-.1527	.**7857**	1.0000	**-.7280**	-.3961
	(9)	(9)	(9)	(0)	(9)	(9)
	P= .005	P= .654	P= .004	P= .	P= .011	P= .228
Co	**.6136**	.**5293**	-.5123	-.**7280**	1.0000	.1328
	(9)	(9)	(9)	(9)	(0)	(9)
	P= .045	P= .094	P= .107	P= .011	P= .	P= .697
Mn SUEL	.**6446**	-.0614	-.5061	-.3961	.1328	1.0000
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(0)
	P= .032	P= .858	P= .112	P= .228	P= .697	P= .
Zn SUEL	.**6734**	-.2556	-.3858	-.2486	-.0065	.**6275**
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .023	P= .448	P= .241	P= .461	P= .985	P= .039
Co SUEL	.**6844**	-.2454	-.4125	-.2459	-.0182	.**7370**
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .020	P= .467	P= .207	P= .466	P= .958	P= .010
Ti SUEL	.**6110**	-.1467	-.4600	-.3021	.0628	.**9674**
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .046	P= .667	P= .155	P= .367	P= .854	P= .000
Fe SUEL	-.1333	-.2878	.1307	.3958	-.3965	-.0002
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	P= .696	P= .391	P= .702	P= .228	P= .227	P=1.000

XI. CONCLUSIONES

Demuestran cambios en los parámetros físico-químicos del periodo de 1993 con respecto a 1999. Como la pérdida de cationes intercambiables, donde el pH y la materia orgánica del suelo refleja las condiciones mineralogícas y por ende la disponibilidad o falta de nutrimento y de esta manera se presentan los macronutrimentos registrados en Zoquiapan P>S>K>Ca>Mg

Los registros del incremento P>S>K>Ca>Mg redujo el crecimiento de anillos en *Abies religiosa* con (0.1-0.7 mm) así como en *Pinus montezumae* que este resulto de (0.1-0.3 mm).

Los elementos traza registrados dependió de los concentraciones del suelo como por ejemplo el Cd presenta afinidad con cadenas de proteínas y otros grupos fosfatos, y estos son indicativos de la actividad humana.

XII. RECOMENDACIONES

Considerar la forma fundamental de la cinética química en la lenta reacción ácido-base de los silicatos minerales del suelo.

Conocer más afondo el tipo de arcilla para saber la reacción resultante que pueda afectar la capacidad amortiguadora del suelo.

Tomar en consideración la distancia del árbol a estudiar con respecto al perfil que se va analizar para poder discriminar cualquier error en la concentración de nutrimentos presentes en la zona.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aber, J., D. 1982. Patented effects of acid precipitation on soil nitrogen and productivity of forest ecosystems, Dirt, F., M., England, Ed. Ann. Arbor science 411-433

- Albert, A., Lilia, 1995 Toxicología ambiental centro panamericano de ecología humana y salud organización panamericana de la salud organización mundial de la salud editorial Noriega México. pp. 7-15.

- Aguirre, G., A., 2001 Química de los suelos Ácidos, Templados y Tropicales. Primera edición Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Pp. 49-236.

- Alloway, B.J. 1990. Heavy metal in soil. Edit. John Wiley and suns, Inc. pp. 19-26

- Bowen, H.J.M. 1979 Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, New York, pp 333

- Bohn, H.1993. Química del suelo. Editorial Limusa. pp 233-347.

- Calva, V. G. 1999. Monitoreo de la depositación ácida con corteza de tres pináceas en cinco zonas boscosas de la Cuenca de México. Tesis de Maestría (Colegio de Postgraduados de Montecillos Instituto de Recursos Naturales). Montecillos, Edo. México.

- Calva, V., G., Corona, R. 1989. Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México causas concentraciones y efectos. Tópicos de Investigación y Postgrado UNAM. (México, DF) 10-21.

- Cowling, E., B. 1982. A Status reports on acid depositions and its ecological consequences as for January 1982 in: Acid Precipitation The North American Change Soil Conservation Society of America, Burlington, Vermont. 2-9 pp.

- FAO-UNESCO Agosto 1994, Mapa mundial de suelos, preparados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Fishbein, L., A., Furt Y M., A., Mehlman 1987 Genotoxic and carcinogenic metal: environmental and occupational occurrence and exposure. Princeton Scientific Publishing Co inc. U.S.A, pp. 339.

- Fitter, A., H., and R., K., Hay. 1987. Environment Physiology of Plants.2nd ed. Academic Press. London 423 pp.

- Fulu, Tao, Yousay, Hayashi y Erda Lin, 2002 Soil, Vulnerability and sensitivity to acid deposition in China, Water, Air and Soil Pollution 140: 247-260, Kluwer Academic Publishers Printed in the Netherlands.

- Fritts, H.C. 1979. Tree Rings and Climate. Academic Press London. New York-San Francisco. Pp 245.

- Fortescue, J, A.C.1980. Environmental Geochemistry a holistic approach. Edt. Springer-Verlag New York. Pp. 348

- Hans, W., F., Elemer,. B., 1987. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina., Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura San José, Costa Rica, Pág.47.

- Jonhsson, B. 1977. Water, Air, and Soil Pollution 7: 497-501

- Johansson, S,A,E. y Campbell J. L. 1988. PIXE : A Novel Technique for Elemental Analysis. John Wiley & Sons.

- Junling, Zhang 2002 Acquisition of cations (Ca, Mg y K) by Roots of coniferous tree ISBN 3-8618-407.

- Kabata-Pendias, A., Pendias, Ph.D. 1992 Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Edition. U.S.A. 67-293.

- Lévy G, Bréchet C. y Becker M. 1996. Element analysis of tree rings in pedunculate oak hearwood: an indicator of historical trends in the soil chemistry, related to atmospheric deposition. Ann Sci For 53. pp. 685-696.

- López, L., Velásquez. M., A., Velásquez, M., A., V., González, Cetina A.,1998. Estado nutrimental de *Abies religiosa* en un área con problemas de contaminación ambiental. México. Agro ciencia 32 (1): 53-57.

- Iskandar, I. K. 2000. Environmental restoration of metals-contaminated soils Lewis Publishers. Boca Raton London New York Washington. D.C.

- Mazliak, Paul. 1976. Nutrición y Metabolismo ediciones Omega, S.A. Barcelona, 277-310.

- Miller, Tyler, G., 1994. Ecología y medio ambiente. Ed. Iberoamericana. Seventh edition. México. pp. 635-652.

- Miranda M.C.J., R-F., O-GL., K. L. Y Harada J. A. 2000. A NEW Beam Line for Characteristic X-ray Experiments at accelerator, Instituto de Física UNAM., Revista Mexicana de Física. 46 (4) 367-372.

- Mojica, A., M., Dendroanálisis, con pixe, de núcleos de pino y oyamel para el registro de los eventos del deposito atmosferico en los parques nacionales Iztapopocatépetl y Zoquiapan. Tesis de licenciatura. México pp. 23-25.

- Nieto, de Pascua Pola Cecilia. 1995. Estudio Sinecológico del Bosque de Oyamel de la Cañada de Contreras, Distrito Federal Ciencia Forestal en México, Vol. 20, 1-35.

- Newell, E. R. 1971 La circulación global de los contaminantes atmosféricos Scientific American Enero, Vol. 27,. 297-309.

- Ortiz-villanueva, B. y Ortiz Solorio C. A. 1990, Edafología Universidad Autónoma de Chapingo Departamento de suelos. Séptima edición.

- Owen, S., Oliver, 1977, Conservación de recursos Naturales. Ed. Pax. México. México D. F. pp.254-259.

- Peden, M., and Skowron, M,. 1978 Atmospheric Environment Vol. 12: 2343-2349.

- Prohaska,t., Stadlbauer, C., Wimmer, R., Stingeder, G., Latkoczy Ch., Hoffmann e., Stephanowitz, H. 1998. Investigation of element variability in tree rings of young Norway spruce by laser-ablation-ICPMS. The science of the Total Environment 219: 29-39.

- Rojas, Garciadueñas, M., 1993, Fisiología Vegetal Aplicada. Ed. Interamericana. Mc. Graw-Hill 4ta edición. México. pp. 121-129.

- Rincón, E., Huante, P., 1989. Dendrocronología Ciencia y Desarrollo Núm. 40. pp. 245.

- Reimann, C., Caritat. P. 1998. Chemical Elements in the Environmental. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New Cork. Germany. 68-380.

- Smith, W.H. 1980 Air Pollution-ineraction between air contaminants and forest ecosytems Ed Spring Verlay; N.Y., USA:

- Tisdale, L.S., Werner,L.N Y J.D. Beaton. 1985. Soli fertility and Fertilizers. 4a. Ed. Mac Millan Publish Ing Company. USA. 59-91.

- Vargas, Pérez, Eduardo y Ortiz Riveroll Octavio 1993 Primer Congreso sobre Parques Nacionales y Áreas Naturales Protegidas de México: pasado presente y futuro. Universidad Autónoma de Tlaxcala Impreso y Hecho en México.
- Watmough, S. A, Hutchinson, T.C. Saguer, 1998. Changes in tree rings Chemistry in Sugar Maple (Hacer sarcharum March) along an urban rural gradient in southern Ontario. Environmental Pollution 101:381.

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

- William J. C., Colin E. J. Sanderson G. M., 2005 Present and future acid deposition to ecosystems: The effect of climate change. Atmospheric Environment. USA. 40 1275-1283

REFERENCIAS ELECTRONICAS.

http://www.sagan-gea.org/hojared/hoja 13.htm.

http://fys.kuleuven.be/iks/nvsf/Exp_Facility/pixe.htm

XIV. ANEXOS

Proximity Matrix

Correlation between Vectors of Values

	ANCHTOT	K	Ca	Mn	PRIM	VER	Zn	Mg	Cu	Fe	V	Br	Pb	Se	Cd
ANCHTOT		-.072	-.044	-.061	.979	.666	-.011	-.019	-.056	-.020	-.176	-.046	-.206	-.182	-.310
K	-.072		.227	-.168	-.085	-.013	.864	.455	.889	.514	.051	.253	.408	.006	.201
Ca	-.044	.227		-.085	-.053	.004	.313	.947	-.121	.886	.327	.999	.297	.437	-.122
Mn	-.061	-.168	-.085		-.032	-.151	-.122	-.124	-.049	-.160	.036	-.084	-.007	.065	.527
Prim	.979	-.085	-.053	-.032		.527	-.075	-.020	-.057	-.060	-.146	-.052	-.203	-.182	-.341
Verano	.666	-.013	.004	-.151	.527		.184	-.033	-.056	.139	-.249	-.005	-.169	-.118	-.036
Zn	-.011	.864	.313	-.122	-.075	.184		.488	.750	.605	.046	.334	.207	-.023	.129
Mg	-.019	.455	.947	-.124	-.020	-.033	.488		.155	.906	.371	.954	.380	.369	-.169
Cu	-.056	.889	-.121	-.049	-.057	-.056	.750	.155		.221	.087	-.099	.341	-.135	.230
Fe	-.020	.514	.886	-.160	-.060	.139	.605	.906	.221		.290	.889	.419	.366	.042
V	-.176	.051	.327	.036	-.146	-.249	.046	.371	.087	.290		.322	.356	.056	-.209
Br	-.046	.253	.999	-.084	-.052	-.005	.334	.954	-.099	.889	.322		.304	.432	-.125
Pb	-.206	.408	.297	-.007	-.203	-.169	.207	.380	.341	.419	.356	.304		.111	.210
Se	-.182	.006	.437	.065	-.182	-.118	-.023	.369	-.135	.366	.056	.432	.111		.139
Cd	-.310	.201	-.122	.527	-.341	-.036	.129	-.169	.230	.042	-.209	-.125	.210	.139	

This is a similarity matrix

Casos 30-93% N2 6.3%total 32--100

Macronutrimentos

	Ca	K	ANCHO	S	AÑO
Ca	1.0000	**.9662**	-.5067	-.2532	.2928
	(0)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .	P= .000	P= .093	P= .427	P= .356
K	**.9662**	1.0000	-.6128	-.4019	.2238
	(10)	(0)	(10)	(10)	(10)
	P= .000	P= .	P= .034	P= .195	P= .484
Ancho	-.5067	-.6128	1.0000	.2819	-.4336
	(10)	(10)	(0)	(10)	(10)
	P= .093	P= .034	P= .	P= .375	P= .159
S	-.2532	-.4019	.2819	1.0000	.2133
	(10)	(10)	(10)	(0)	(10)
	P= .427	P= .195	P= .375	P= .	P= .506
AÑO	.2928	.2238	-.4336	.2133	1.0000
	(10)	(10)	(10)	(10)	(0)
	P= .356	P= .484	P= .159	P= .506	P= .

(Coefficient / (D.F.) / 2-tailed Significance)

Cuadro 2: Correlación de Pearson de macronutrimentos en *Pinus montezumae*

Micronutrimentos

	ANCHO	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
ANCHO	1.0000	.7111	.1724	-.7598	-.5319	-.3336
	(0)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .	P= .010	P= .592	P= .004	P= .075	P= .289
Mg	.7111	1.0000	.3714	-.7863	-.8822	-.7485
	(10)	(0)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .010	P= .	P= .235	P= .002	P= .000	P= .005
Mn	.1724	.3714	1.0000	-.1679	-.1004	.1667
	(10)	(10)	(0)	(10)	(10)	(10)
	P= .592	P= .235	P= .	P= .602	P= .756	P= .605
Fe	-.7598	-.7863	-.1679	1.0000	.6401	.5933
	(10)	(10)	(10)	(0)	(10)	(10)
	P= .004	P= .002	P= .602	P= .	P= .025	P= .042
Zn	-.5319	-.8822	-.1004	.6401	1.0000	.8588
	(10)	(10)	(10)	(10)	(0)	(10)
	P= .075	P= .000	P= .756	P= .025	P= .	P= .000
Cu	-.3336	-.7485	.1667	.5933	.8588	1.0000
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(0)
	P= .289	P= .005	P= .605	P= .042	P= .000	P= .
Co	.6512	.7143	.5432	-.5485	-.5833	-.2491
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .022	P= .009	P= .068	P= .065	P= .047	P= .435
AÑO	-.4336	.0025	-.1441	.2687	-.3024	-.3826
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
	P= .159	P= .994	P= .655	P= .398	P= .339	P= .220

(Coefficient / (D.F.) / 2-tailed Significance)
cu

Cuadro 2: Correlación de Perarson de Micronutrimentos en *Pinus montezumae*

TRACE

	ANCHO	Pb	V	Cu	Ni	Br
Ancho	1.0000 (0) P= .	-.6351 (4) P= .175	-.0021 (4) P= .997	.5775 (4) P= .230	.4863 (4) P= .328	.3742 (4) P= .465
Pb	-.6351 (4) P= .175	1.0000 (0) P= .	-.4696 (4) P= .347	-.0328 (4) P= .951	-.3856 (4) P= .450	-.2894 (4) P= .578
V	-.0021 (4) P= .997	-.4696 (4) P= .347	1.0000 (0) P= .	.2765 (4) P= .596	**.7476** (4) P= .088	.5956 (4) P= .212
Cu	.5775 (4) P= .230	-.0328 (4) P= .951	.2765 (4) P= .596	1.0000 (0) P= .	**.8315** (4) P= .040	.5962 (4) P= .212
Ni	.4863 (4) P= .328	-.3856 (4) P= .450	**.7476** (4) P= .088	.8315 (4) P= .040	1.0000 (0) P= .	**.7928** (4) P= .060
Br	.3742 (4) P= .465	-.2894 (4) P= .578	.5956 (4) P= .212	.5962 (4) P= .212	.7928 (4) P= .060	1.0000 (0) P= .
AÑO	-.4919 (4) P= .322	**.6780** (4) P= .139	**-.8218** (4) P= .045	-.5204 (4) P= .290	**-.8702** (4) P= .024	**-.7899** (4) P= .062

(Coefficient / (D.F.) / 2-tailed Significance)

Cuadro 3: Correlación de Pearson de los elementos traza en *Pinus montezumae*