



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

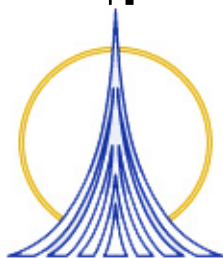
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

**CUANTIFICACIÓN RETROSPECTIVA (1993-1999) DE  
LA DEPOSITACIÓN ÁCIDA EN SUELOS FORESTALES  
DEL DESIERTO DE LOS LEONES, IZTAPOPO Y  
ZOQUIAPAN, Y DETERMINACIÓN MULTIELEMENTAL  
APLICANDO LA TÉCNICA DE PIXE.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A:  
**RAMÓN CHAVARRÍA ÁLVAREZ**

DIRECTOR DE TESIS M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ



MÉXICO D. F.

2005.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Agradezco a mis padres Gregorio Chavarría Chávez y Genoveva Álvarez por el regalo de la vida.**

**A la Licenciada Gabriela Robles Mora, amiga y compañera por aportar valiosos comentarios y correcciones para la realización de este Trabajo.**

**A David Eduardo Chavarría Robles, por regalarme tu tiempo de juegos.**

**Al M. En C. Calva Vázquez Germán por su admirable paciencia y a cada uno de los miembros del jurado, Biol. José Rubén Zulbarán Rosales, M en C. Efraín Ángeles Cervantes, Biol. Maria de loa Ángeles Galván Villanueva y a la Biol. Ana Laura Maldonado Tena.**

**A la Dra. Corina Solís del Instituto de Física.**

**A los técnicos Francisco J. Jaime y Lopez Karim por su Valiosa colaboración con el asesoramiento en el manejo del acelerador de Partículas Pelletron.**

**A las instituciones de Educación Profesional F. E. S. Zaragoza y al Instituto de Nacional de Física de la UNAM, por las facilidades para la realización de este trabajo.**

**Al financiamiento otorgado por DEGAPA IN402999.**

# **D E D I C A T O R I A**

**ESTE TRABAJO ES DEDICADO A MIS PADRES A MIS HERMANOS.**

**A MI FAMILIA GABRIELA Y DAVID EDUARDO POR SER MOTIVO DE SUPERACIÓN**

**AI M. En C. GERMAN CALVA POR LOS CONSEJOS Y SU BUEN ANIMO ANTE LA ADVERSIDAD.**

**A TELESFORO ALCANTARA ANGELES, TIO Y AMIGO DONDE ESTES RECIBE LAS GRACIAS POR LOS CONSEJOS QUE COMPARTISTE.**

**Y SOBRE TODO A LA Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y al Instituto de Física de la UNAM, por el conocimiento compartido**

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>II. HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>III. PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>5</b>
<b>IV. ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
<b>V. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>8</b>
<b>VI. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>7. 1. Ecosistema Forestal.....</b>	<b>9</b>
<b>7. 1. 1. Suelo forestal.....</b>	<b>9</b>
<b>7. 1. 2. Efectos de la depositación ácida y elementos traza                 en los ecosistemas terrestres.....</b>	<b>10</b>
<b>7. 1. 3. Elementos pesados en el suelo.....</b>	<b>14</b>
<b>7. 1. 4. Mecanismos de depositación.....</b>	<b>17</b>
<b>7. 2. Técnicas Utilizadas.....</b>	<b>20</b>
<b>7. 2. 1. PIXE Y RBS en la determinación de elementos                 trazas metales pesados en el suelo.....</b>	<b>20</b>
<b>7.2. 2. Iones en el suelo.....</b>	<b>22</b>
<b>7. 2. 3. Técnica de electrodo de ion                 selectivo.....</b>	<b>23</b>
<b>VII. ZONAS DE ESTUDIO.....</b>	<b>24</b>
<b>7.1. Parque Nacional Desierto de los Leones.....</b>	<b>24</b>

8. 2.	Parque Nacional Iztaccihualt-Popocatepetl.....	24
8. 3.	Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.....	25
<b>VIII.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
9. 1.	Fase de Campo.....	27
9. 2.	Fase de Laboratorio .....	28
9. 2. 1.	Propiedades físicas y químicas .....	28
9. 2. 2.	Radiación con PIXE para la determinación Multielemental .....	29
9. 3.	Cuantificación de NH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> y Cl <sup>-</sup> por la técnica de Ión selectivo y SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> por la técnica de Nefelometría.....	32
9.3.1.	Extractos para la Para determinación del contenido de iones Amonio.....	32
9. 3. 2.	Extractos para la Para determinación del contenido de iones Nitratos.....	32
9. 3. 3.	Extractos para la Para determinación del contenido de iones Cloruros.....	32
9. 3. 4.	Extractos para la Para determinación del contenido de iones Cloruros.....	33
<b>IX.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
10.1.	Parametros físicos.....	34
10.1. 1.	Densidad Aparente de las tres zonas de estudio.....	34
10. 1. 2.	Clasificación de los suelos de acuerdo con la Norma Oficial en función de los Valores de la D. A. ....	36
10. 1. 3.	Determinación de la Densidad Real.....	36
10. 1. 4.	Determinación del porcentaje de Espacio Poroso.....	38
10. 1. 5.	Características Texturales.....	41

10. 1. 5. 1 Por ciento del contenido de Arcilla.....	41
10. 1. 5. 2. Por ciento del contenido de limo.....	43
10. 1. 5. 3. Por ciento del contenido de Arena.....	44
11. Clasificación del suelo por sus clases Texturales de las zonas de estudio.....	46
12. Parámetros Químicos.....	49
12. 1. pH potencial en las 3 zonas del estudio.....	49
12. 2. pH Real en las 3 zonas del estudio.....	51
12.3. Clasificación de los suelos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana en función de los Valores del pH.....	53
13. Contenido del por ciento Saturación de bases.....	54
13. 1. El catión Ca .....	54
13. 2. El catión Mg .....	57
13. 3. El catión K .....	59
13. 4. El catión Na .....	62
14. Determinación de C. I. C.....	65
15. Sensibilidad de acuerdo con la escala del SEI .....	67
16. Determinación del contenido de M. O.....	69
17. Contenido de iones .....	71
17. 1. Contenido del Ion Amonio.....	71
17. 2. Contenido del Ion Nitrato.....	73
17. 3. Contenido del Ion Sulfato.....	74
17. 4. Contenido del Ion Cloruro.....	76
18. Agrupación de iones (1993,1999) .....	78

19. Agrupación de los parámetros fisicoquímicos (1993, 1999) .....	80
20. Determinación Multielemental por la Técnica de PIXE.....	82
20 . 1. Macroelementos.....	82
20. 1. 1. Determinación de Ca.....	82
20 . 1. 2. Determinación de K .....	84
20 . 2. Microelementos .....	86
20. 2. 1. Determinación de Co .....	86
20. 2. 2. Determinación de Zn .....	88
20. 2. 3. Determinación del contenido de Cu.....	90
20. 2.4. Determinación de V.....	92
20. 2. 5. Determinación de Cl.....	94
20. 3. Mesoelementos.....	96
20. 3. 1. Determinación de Mn.....	96
20. 3. 2. Determinación de Fe.....	97
20. 4. Elementos Traza.....	100
20. 4. 1. Determinación de Ti.....	100
20. 4. 2. Determinación de Cr.....	102
20. 4. 3. Determinación de Ni.....	104
20. 4. 4. Determinación de Ga.....	105
20. 4. 5. Determinación de Rb.....	107
20. 4. 6. Determinación de Sr.....	108
20. 4. 7. Determinación de Y.....	110
20. 4. 8. Determinación de Zr.....	111
20. 4. 9. Determinación de Ba.....	113



20. 4. 10. Determinación de Pb.....	115
20. 4. 11. Dendograma de elementos traza.....	118
20. 5. Contenido de Nutrielementos minerales.....	119
20. 5. 1. Determinación de P .....	119
20. 5. 2. Determinación de S.....	120
20. 5. 3. Dendograma Multielemental ( 1993, 1999) .....	123
21. Contenido de Minerales elementales Por RBS (1993, 1999).....	130
XI. CONCLUSIONES .....	131
XII. BIBLIOGRAFÍA .....	132
XIII. SECCIÓN DE ANEXOS.....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Fuentes, dispersión y precipitación de los desechos de combustibles fósiles, en diferentes ecosistemas.....	10
Figura 2. Sensibilidad de los suelos a la Depositación Ácida a nivel mundial .....	13
Figura 3. Rutas de la Depositación Total.....	19
Figura 4. Diagrama del proceso físico en el cual se basa la técnica PIXE....	20
Figura 5. Ubicación de las zonas de estudio.....	26
Figura 6. Perfiles en campo.....	27
Figura 7. Perfil de una de las zonas de estudio.....	28
Figura 8. Irradiación de haz de protones en muestras de suelo.....	29
Figura 9. Irradiación de haz de protones en muestras de suelo en el acelerador de Partículas Pelletron.....	30
Figura 10. Diagramas de bloques en la fase experimental .....	31
Figura 11. Densidad aparente en las 3 zonas de estudio.....	34
Figura 12. Densidad real en las 3 zonas de estudio.....	38
Figura 13. Por ciento de espacio poroso.....	40
Figura 14. Por ciento de arcilla.....	42
Figura 15. Por ciento de limo.....	43
Figura 16. Por ciento de arena.....	45
Figura 17. pH potencial en las 3 zonas de estudio.....	50
Figura 18. pH real en las 3 zonas de estudio.....	52
Figura 19. Contenido de Ca en las 3 zonas de estudio .....	52

<b>Figura 20. Contenido de Mg en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 21. Contenido de K en las 3 zonas de estudio .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 22. Contenido de Na en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 23. Contenido de CIC en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 24. % de la M. O. en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 25. Contenido del Ion Amonio.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 26. Contenido del Ion Nitrato.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 27. Contenido del Ion Sulfato.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 28. Contenido del Ion Cloruro.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 29. Dendograma de lones en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 30. Comparación de Dendogramas de los parámetros fisiscoquímicos (1993,1999) .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 31. Contenido de Ca en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 32. Contenido de K en las 3 zonas de estudio .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 33. Contenido de Co en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 34. Contenido de Zn en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 35. Contenido de Cu en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 36. Contenido de V en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 37. Contenido de Cl en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 38. Contenido de Mn en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 39. Contenido de Fe en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 40. Contenido de Ti en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 41. Contenido de Cr en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 42. Contenido de Ni en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>104</b>

<b>Figura 43. Contenido de Ga en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 44. Contenido de Rb en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 45. Contenido de Sr en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 46. Contenido de Y en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 47. Contenido de Zr en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 48. Contenido de Ba en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 49. Contenido de Pb en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 50. Dendograma de los elementos traza .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 51. Contenido de P en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 52. Contenido de S en las 3 zonas de estudio.....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Técnicas húmedas de cuantificación de elementos metálicos.....	2
Tabla 2. Efecto del pH en la disponibilidad de elementos en el suelo.....	5
Tabla 3. Cronología de estudios sobre la acidificación de ecosistemas terrestres.....	6
Tabla 4. Cantidades porcentuales del contenido de elementos en el suelo.....	9
Tabla 5. Impactos potenciales en el suelo por la Depositación.....	12
Tabla 6. Cantidades de elementos metálicos requeridos para actividades Industriales a nivel Mundial.....	15
Tabla 7. Diversas cuantificaciones de elementos traza en suelos Forestales.....	16
Tabla 8. Clasificación de partículas según sus propiedades físicas y su origen .....	17
Tabla 9. Determinación del suelo según de acuerdo con la DA. ....	36
Tabla 10. Por ciento espacio poroso de diferentes suelos .....	39
Tabla 11. Relación entre D.A. y el por ciento de espacio poroso .....	39
Tabla 12 Clasificación del suelo del Parque Nacional Desierto de los Leones.....	46
Tabla 13. Clasificación del suelo Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepet .....	46
Tabla 14. Clasificación del suelo Parque Nacional de Parque Nacional Zoquiapan y Anexas .....	47
Tabla 15. Clasificación de los suelos de acuerdo con el valor pH.....	53
Tabla 16. Clasificación de C.I.C. y el % de SB en el Parque Nacional Desierto de los Leones (1993,1999) de acuerdo con la escala propuesta por SEI.....	67

<b>Tabla 17. Clasificación de C.I.C. y el % de SB en el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl (1993,1999) de acuerdo con la escala propuesta por SEI de acuerdo con la escala propuesta por el SEI.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 18. Clasificación de C.I.C. y el % de SB en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas (1993,1999) de acuerdo con la escala propuesta por SEI.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 19. Correlaciones de los parámetros fisicoquímicos de las tres zonas de estudios(1993, 1999).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 20. Correlaciones de PIXE del Desierto de los Leones 1993.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 21. Correlaciones de PIXE del Desierto de los Leones 1999.....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 22. Correlaciones de PIXE de Iztaccihuatl-Popocatepetl 1993.....</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 23. Correlaciones de PIXE de Iztaccihuatl-Popocatepetl 1999.....</b>	<b>127</b>
<b>Tabla 24. Correlaciones de PIXE de Zoquiapan 1993.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 25. Correlaciones de PIXE de Zoquiapan 1999.....</b>	<b>129</b>

## **RESUMEN**

La Depositación ácida y la acumulación de elementos traza, son dos problemas derivados de la contaminación ambiental, cuyos efectos se reflejan en los suelos de origen ácido. Originando un decremento del valor de pH, del suelo, una mayor solubilidad de elementos traza y un desplazamiento de cationes básicos.

El objetivo principal de este trabajo es determinar como la Depositación ácida altera las características físicas y químicas del suelo, en las zonas de los Parques nacionales Desierto de los Leones, Iztaccihuatl-Popocatepetl y Zoquiapan. Para cumplir con el objetivo de este trabajo se analizaron muestras tomadas de en año 1993 y 1999.

Las técnicas nucleares utilizadas para cuantificar los 21 elementos fueron PIXE (Particle Induced ray x emisión) y RBS para cuantificar Si, C, N, O e H. Para la aplicación de estas técnicas se procedió llevar las muestras de suelo, tomadas cada 15 cm de profundidad hasta el lecho rocoso, al Instituto de Física de la UNAM.

Los resultados de los parámetros físicos muestran que disminuyó la densidad real y aparente en todas las zonas, de 1993- 1999. En consecuencia se observa un incremento en el porcentaje de espacio poroso para el año de 1999.

En el contenido de arcilla en la zona del Desierto de los Leones y Zoquiapan vario a lo largo del perfil en Iztaccihuatl, disminuyó. Los porcentos de bases de saturación disminuyeron en todas las zonas, durante el periodo de los seis años de estudio.

Los valores químicos ( pH real, pH potencial, M.O.) disminuyeron en el DDLL e Izta, pero no así en Zoquiapan, se presentó una acumulación de todos los iones (  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{Cl}^-$ ) en el año 1999 en las tres zonas.

De acuerdo con la escala propuesta por el SEI, las relaciones de % BS y CIC, para los suelos de las tres zonas están dentro de la propuesta. La concentración Multielemental en el Desierto de los Leones presenta altas concentraciones de origen Antropogénico año de 1999. Para Izta se presentan acumulaciones a partir de la profundidad de 105 cm. Y para Zoquiapan, un comportamiento inverso a las dos zonas anteriores.

**Palabras clave:** Depositación ácida, Elementos traza, PIXE, RBS, Deposito atmosférico, Lixiviación, *Abies Religiosa*.





## I. INTRODUCCIÓN

La *Deposición ácida y la Acumulación de Elementos Traza*, son problemas que están impactando a los Ecosistemas Terrestres. El primer fenómeno es provocado por la emisión de óxidos de Azufre, Nitrógeno y Amonio, vertidos a la atmósfera. Los cuales pueden ser depositados cerca o a grandes distancias de la fuente de emisión al ser transportados por el viento. Estos productos primarios sufren transformaciones en la atmósfera por medio de la humedad y de reacciones fotoquímicas, resultando en productos más agresivos llamados contaminantes secundarios. Estos contaminantes son depositados en la superficie terrestre de dos formas, como deposito seco o húmedo. La depositación ácida provoca cambios en las características Fisicoquímicas del suelo, originando deficiencias de cationes, incrementa la solubilidad y toxicidad de elementos como Al, Fe, Mn. (Driscoll, 2003; Lee, 1984; Páramo *et al*, 1987; Rodison, 1987).

La acumulación de elementos traza es el segundo problema, el cual es debido al deposito de los desechos de la actividad industrial y de la ignición de combustibles de origen fósil (principalmente desechos de ínfimo tamaño). Aunque de manera natural, se incorporan al suelo los metales trazas por el desgaste del material parental y de fenómenos naturales como erupciones volcánicas.

Una alta proporción de ellos, es atribuida a las actividades antropogenicas, de manera similar, la depositación ácida los desechos de elementos traza son transportados por el viento o ser depositados a grandes distancias de la fuente de emisión. Aunque de manera natural esta transferencia del material particulado por acción del viento es una parte significativa del ciclo bioquímico de estos elementos. Este material se encuentra presente en la atmósfera generalmente como aerosoles, con partículas que tienen un rango de medida de 5-20nm, pero algunos tienen un diámetro de entre 0.1 y 10  $\mu\text{m}$ , y pueden permanecer entre 10 - 30 días en la atmósfera. O ser transportado por el viento a otros lugares cercanos o lejanos de la fuente de emisión. (Alloway, 1990; Azimi, 2002; Egli, 1999).

Es por ello que el depósito ácido y la acumulación de elementos traza en los suelos forestales, no debe de ser estudiada como un problema del bosque, sino como un problema del sistema ecológico general. Los efectos de estos dos fenómenos en el medioambiente dependerá de la extensión de la superficie que es impactada, el tamaño de los contaminantes, del pH, de la capacidad buffer, el tipo de vegetación, el origen del suelo, características físicas y químicas (Raymond 1991; Pritchett, 1991; Kabata, 2000)

Los problemas e impactos derivados de estos 2 fenómenos, han servido para que investigadores, para implementar nuevos métodos y técnicas a fin de conocer los cambios en el medioambiente. Algunas de las técnicas más usuales para cuantificar las concentraciones de elementos traza en los ecosistemas terrestres, eran denominadas húmedas, se nombran en la tabla 1, las cuales implicaban un tratamiento previo de la muestra en cuestión, tales como:

Extracciones, disoluciones o con soluciones ácidas. Algunas de ellas son empleadas hoy en día. Este tipo de métodos carecía de precisión por diversas causas. Una inadecuada manipulación, preparación y tratamiento de las muestras, errores en el peso y en la adición de los reactivos, por mencionar algunas. Siendo estas causantes de que estos análisis, tuvieran una baja precisión y exactitud (Allen, 1974; Chapman, 1991; Ruiz *et al.* 1979).

Tabla 1. Técnicas húmedas de cuantificaciones de elementos metálicos.

TECNICAS	ABSORCIÓN ATÓMICA	COLORIMETRÍA	GRAVIMETRÍA	EMISIÓN DE FLAMA	TITULACIÓN	TURBIDIMETRÍA	POLAROGRAFÍA
ELEMENTOS	Al, S, Ca, Cr, Cd, Cu, Cr, Sr, Fe, Mg, Mn, Mo, K, Pb, Na, Zn, Sb, As, Hg, Se	Al, Ca, Fe, Mg, Mn, K, P, Fe, Ti, Si, Se, As, Cr,	Mg, K, Zn, Cu, Mn, Co, Ca, S, Si, Al, Fe, Ti, K, Na, P, Na	Mn, Mg, Ca, K, Na,	Ca, Mg, Mn, Fe, Ti, K, Na, Se,	S, Cl, Se	Al, Cl, Co, Cu, Fe, Mo, Ti, Zn, As, Cd, Pb, Hg, Se,

(Tabla extraída de Allen, 1974; Jackson, 1982; Chapman, 1991)

En la actualidad se cuenta con la utilización de técnicas nucleares, que permiten una rápida obtención de resultados, en aspectos cuantitativos de manera satisfactoria. De entre ellas, destaca la técnica denominada PIXE (Emisión de Rayos X Inducida por Partículas), la cual presenta diversas ventajas en la cuantificación de elementos contenidos en diversos materiales, biológicos o inertes. La técnica presenta diversas ventajas que repercuten satisfactoriamente en resultados.

Esta técnica es de las denominadas secas, no requiere un tratamiento previo, es un método no destructivo, las lecturas se realizan de manera “rápida” y Multielemental. En la irradiación de protones de una muestra de suelo, se pueden cuantificar diversos elementos traza, minerales y metales pesados. Se puede conocer a concentraciones de muestras muy pequeñas y además permite saber concentraciones muy bajas alrededor de un microgramo / gramo (Cruvinel, 1999; Miranda, 1996; Miranda, 2000a; Moser, 1998; Rajander, 1999)

Por estas ventajas es factible la aplicación de la técnica de PIXE, en la cuantificación de concentraciones de elementos traza contenidos en los suelos forestales. Al proporcionar concentraciones en mg/kg, de los elementos traza y de este manera determinar, si las zonas forestales que circundan a la Ciudad de México, sufren los efectos de la acidificación de suelo y la lixiviación de nutrimentos, biodisponibilidad y la acumulación de elementos tóxicos.

## II. JUSTIFICACIÓN

La importancia del dendroanálisis como una forma de investigación en México, los fenómenos *deposición ácida y la acumulación de elementos traza* en suelos, permiten determinar los efectos, impactos y alteraciones en las zonas boscosas que circundan la cuenca de Valle de México.

Dado que el origen de la mayoría de estos suelos, son los resultados de diversos episodios volcánicos, son considerados como suelos ácidos. Los cuales son típicamente deficientes en nutrientes y usualmente contienen un desequilibrio de elementos esenciales; indispensables para la nutrición de los organismos vegetales. N, H, O P y S) elementos formadores de toda la materia viva. Otro segundo grupo denominado Macroelementos o Polielementos minerales Nutritivos se encuentran los cationes (K, Ca, Mg y en ocasiones Na), de los cuales son requeridos en grandes cantidades. El tercer grupo se denomina Microelementos o oligonutriente de los cuales son requeridos en pequeñas cantidades expresados en ppm o en mg/kg. Dentro de este grupo se encuentran los siguientes elementos: B, Zn Cu, Co, Mo y la acumulación, V y el anión Cl. Y por último el cuarto grupo se denominan los Meselementos conformado por el Fe y Mn. Los cuales ocupan una posición intermedia y los no esenciales conocidos como elementos traza ( Al, Ba, Cr, Sr, Rb, Pb entre otros) ( Duvigneaud, 1978).

Alvarado (1993) y Carlson (1988), concluyeron que se han buscado las causas del decremento de las zonas boscosas, sin embargo no se ha tomado en cuenta al suelo y sus diversos procesos internos como el factor primordial. Dado que de él obtienen sus nutrimentos los organismos vegetales y juega un papel importante y fundamental en diversos ciclos biológicos.

De acuerdo con el Instituto del Medio Ambiente Sueco (1994), la sensibilidad de los suelos forestales al depósito ácido depende de varios factores ambientales: la geoquímica del suelo, la vegetación, la emisión de Azufre y Nitrógeno, la pendiente y el depósito de cationes atmosféricos.

La conjunción de dichos factores permitieron determinar un índice de sensibilidad de los ecosistemas terrestres y en consecuencia una escala que va de 1 a 5, siendo 1 la sensibilidad máxima y el 5 la sensibilidad mínima. Los parámetros como la capacidad buffer del suelo, la concentración de cationes, el pH y el CIC (capacidad de intercambio cationico) son determinantes en la construcción del dicho índice.

### III. HIPÓTESIS.

**Si** el depósito ácido modifica las características físicas y químicas del suelo, acumulando elementos traza en su matriz, **entonces**, durante el periodo 1993-1999 los cambios de esas mismas reflejaran el efecto del fenómeno sobre los suelos de la cuenca de México, y de acuerdo a la escala Propuesta por SEI en el año de 1998. (Cinderby, 1998)

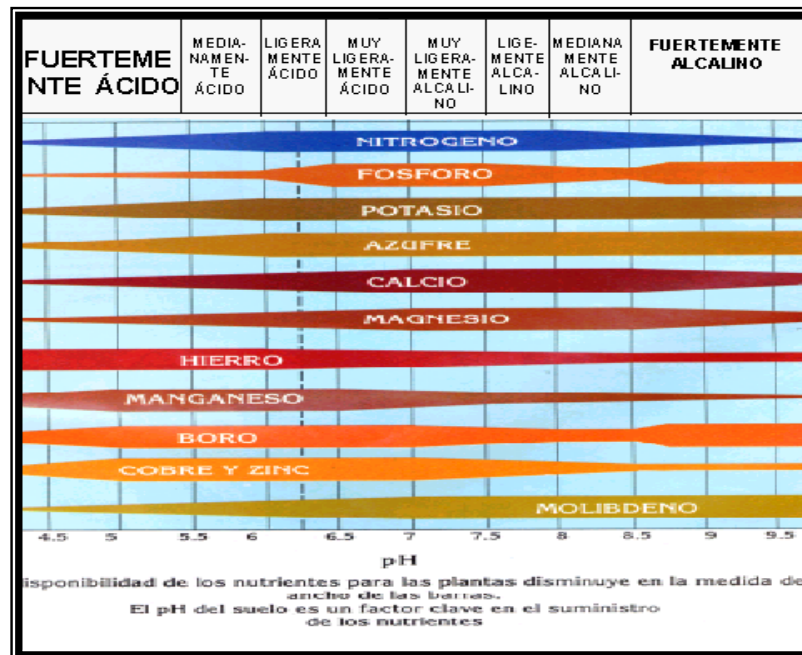
## IV. PROBLEMATICA

La **Deposición ácida** ha sido señalada, hipotéticamente, como una de las causas del decremento de las áreas boscosas a escala mundial, afectando grandes extensiones de las superficies boscosas de Europa, principalmente en Alemania, Suecia, Noruega. En países de Asia como China y Japón no son la excepción, el noreste de Australia, y en América, la parte Norte Alaska, Canadá, EUA, Brasil y Venezuela, también se ven afectados por el fenómeno.

La Deposición ácida es un factor importante que puede originar cambios en las características físicas del suelo. Algunos de estos cambios son, una reducción en el valor del pH ya que los iones hidronios sustituyen eficientemente a los cationes del suelo y éstos, son absorbidos rápidamente por el coloide; entonces los cationes básicos, como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  son desplazados del complejo de cambio y su migración es hacia capas internas, produciéndose un empobrecimiento del suelo afectando esencialmente a las arcillas. (Tamm, 1977)

La adición de  $\text{H}^+$  impide los ciclos del Carbono, Nitrógeno, y propicia condiciones ideales para la reproducción de organismos patógenos para la vegetación. También la solubilidad de elementos Al, Fe, Cu, Mn, se incrementa hasta niveles de toxicidad para la vegetación. Todos estos factores dan origen a un empobrecimiento del suelo (Foster, 1989).

Tabla 2: Efecto del pH en la disponibilidad de elementos en el suelo.



(tomado de Cultivos hidropónicos, 1990)

## V. ANTECEDENTES.

### 5.1. DEPÓSITACIÓN ÁCIDA

Al referirse a la **Depositación ácida** se piensa que es un fenómeno nuevo, pero no es así, este problema ha estado presente durante varios cientos de años, de manera **Natural** a través de eventos volcánicos e incendios por mencionar algunos y recientemente de manera **Antropogenica**, esto al comenzar la Revolución Industrial, con la utilización del Carbón. Esta Depositación ácida, está afectando a ecosistemas acuáticos (lagos, lagunas y ríos) y terrestres, en este último se han acumulado grandes cantidades de óxidos de Azufre, Nitrógeno, Cloruros y Amonio, lo cual origina un incremento y una gran actividad del ión Hidronio  $H^+$ .

### Algunas investigaciones en la acidificación de ecosistemas

Tabla 3. Cronología sobre estudios de acidificación en ecosistemas terrestres

Home 1757	Aplica los conceptos de ácidos, bases y sales Neutras a suelos
Way, 1852	Realiza investigaciones sobre la capacidad del intercambio cationico, en suelo, y nota que el ácido carbónico puede desplazar la absorción del Amonio.
Smith, 1852	Descubre la lluvia ácida como resultado de la combustión del carbón en Manchester Inglaterra.
Hall, 1905	Nota que las sales de Amonio tienen un comportamiento como un ácido removiendo al Carbonato de Calcio del suelo, originando una reacción ácida dañando a pastos e hiervas.
Crowther and Ruston, 1911	Observan que la lluvia ácida destruye los materiales de Carbonato e inhibe varios aspectos del ciclo de Nitrógeno en el suelo.
Hissink, 1924 - 25	Descubre que las arcillas aniónicas de aluminosilicias tienen un comportamiento como ácidos débiles y que los ácidos húmicos orgánicos se encuentran presentes como fuerzas medias.
Bottini, 1939	Describe que la lluvia ácida es debida a HCl provenientes de las emisiones del volcán, Vesubio.
Barrett and Brodin, 1955	Proponen que la lluvia ácida es debida a las emisiones del $SO_2$ , provenientes de la quema de combustibles fósiles, en áreas rurales y en mayor parte de las fuentes de industrias urbanas.
Mackereth.1957	Observa la acidificación de las montañas, estanques y lagos in Inglaterra, debida a la lluvia ácida.
Óden, 1968	Nota que los ecosistemas son potencialmente degradados debida a la Depositación ácida, cuyos contaminantes son transportadas a largas distancias a través de los vientos.
Schindler <i>et al.</i> , 1980	Realiza estudios para los efectos de la geoquímica y ecología de la Depositación ácida.
Cowling, 1982	Realiza registros históricos del estudio de la Depositación ácida y los efectos que tienen los ecosistemas.
Whigth, 1985	Es iniciado en Noruega es proyecto RAIN, con el estudio de la acidificación y los efectos sobre las características geoquímicas y ecológicas de los ecosistemas.
Hallbachen and Tamm, 1986	En estudios realizados describe el incremento de la acidez de los suelos de en el sur de Suecia entre 1927 y 1082-84, debida a la Depositación ácida de fuentes distantes.
Johnstonn et el, 1986	Describe la acidificación actual del suelo durante menos de una centuria en praderas y bosques en Rothhamsted, Inglaterra.

(Tomado de Gobran, 1989)

En la Tabla 3 se mencionan algunos de los estudios en suelo. Los efectos de las sustancias acidificantes y sus efectos comenzaron a ser estudiadas a principios del siglo XVII. Este problema a afectado a diversas áreas del mundo, especialmente en aquellas zonas, cuyo material edáfico es derivado de eventos volcánicos, ya que estos suelos son muy sensibles al efecto a la Depositación Ácida. (Cinderby, 1998; Chadwick, 1991; Frink, 1977; Bredemeier, 1988; Norton, 1977).

La Depositación ácida del suelo, provoca la solubilidad de los elementos traza, e incrementando la toxicidad de algunos como el Aluminio, Manganeseo, Hierro. Esta movilidad en los suelos forestales, causa daños potenciales a las raíces de los árboles y provocando efectos antagónicos en la absorción de los nutrientes. También origina un empobrecimiento del suelo, particularmente de la cantidad de cationes intercambiables, manifestándose como un decremento en la productividad del bosque. Un efecto visible de esto, es que los árboles pueden sé más susceptibles a enfermedades y ataques de insectos (plagas), ( Oden, 1976; Matzner, 1992; Anderson, 1986; Flakengren,1989; Rodhe,1987).

## V. I. OBJETIVO GENERAL.

Determinar si los suelos forestales de los Parques Nacionales, Desierto de los Leones, Iztaccihualt-Popocatepetl y Zoquiapan y Anexas, sufren el efecto ácido, así como la acumulación de elementos traza. Durante un periodo de 6 años (1993-1999).

### 6.1. OBJETIVOS PARTICULARES.

**6.1.1 Determinar los parámetros físicos:** Textura, Estructura, Color, Densidad Aparente y Real

**6.1.2 Determinar los parámetros químicos:** %bases de saturación, % CIC, % Materia Orgánica, pH Real y pH Potencial.

**6.1.3. Cuantificar las concentraciones** de Amonio, Nitratos, y Cloruros por la Técnica de Ionometría.

**6.1.4 Y sulfatos por la técnica Nefelometría.**

**6.1.5 Cuantificar por la técnica de PIXE la presencia de los elementos traza:** K, Ca, Co, Zn, Cu, V, Cl, Mn, Fe, Ga, Ni, Pb, Cr, Rb, Ba, Zr, Sr, Ti Y, P y S.

Y por la técnica de **RBS** los minerales nutrimentales contenidos en los suelos de las tre4s zonas del estudio. C, O, Ca, Si, Fe, y Na.



## VII. Marco Teórico

### 7.1. El ecosistema forestal

#### 7. 1. 1. El Suelo Forestal

Una de las definiciones que se le a dado al suelo forestal es la siguiente “ Una parte de la superficie terrestre que sirve como un medio para el sostenimiento de la vegetación de un lugar en particular “. Manifiestan características peculiares adquiridas bajo 3 factores, que son propios de él: Hojarasca o humus forestal, raíces de árboles y organismos específicos. El suelo forestal es un sistema altamente complejo, es el componente clave de las áreas boscosas. En él se llevan a cabo los procesos de descomposición de la materia orgánica, y sirve como un medio de nutrición y soporte de la vegetación, es ahí donde se realizan procesos de descomposición de la Materia Orgánica y en el reciclado de los nutrientes (Skeeffington, 1982).

Aproximadamente el 98% de la corteza terrestre está constituida por 8 elementos, de los cuales el oxígeno y el silicio constituyen cerca del 75%. Otros elementos importantes para el desarrollo de plantas y animales están presentes en cantidades muy pequeñas.

Tabla 4: Cantidades porcentuales del contenido de elementos en el suelo.

Elementos	Contenido en porcentaje
Oxígeno	46.6%
Silicio	27.7%
Aluminio	8.1%
Hierro	5.0%
Calcio	3.6%
Sodio	2.8%
Potasio	2.6%
Magnesio	2.1%

Estos son derivados del desgaste del lecho rocoso o material parental fundamentalmente, o de la acumulación de diferentes materiales derivados de locaciones distantes. Otros constituyentes resultan de la descomposición de la materia de plantas y animales.

Generalmente los suelos contienen entre 50-60 % de material mineral derivado de la madre roca, poseen entre 25 - 30 % de agua, un porcentaje de gases que esta entre 15 - 25 % y un porcentaje de Materia Orgánica cuyo intervalo esta de 5 - 10 %. Donde el suelo guarda una estrecha relación, con los diferentes organismos vivos que se encuentre inmersos en el suelo ( Skeeffinton 1987; Kabata, 2000).

La contaminación de los suelos forestales causado por la Depositación Ácida y la Acumulación de Elementos Trazas, es considerada como uno de los más graves consecuencia derivados del desarrollo industrial, cuyo impacto en la actualidad es a escala mundial.

## 7. 1. 2. Efectos de la Deposición Ácida y Elementos traza en los ecosistemas Terrestres

El problema y los efectos de la Deposición ácida, se observó primeramente en diversas partes de Europa (Suecia) en 1972, postulándose como una hipótesis para tratar de explicar el decremento en el crecimiento y productividad del bosque así como un decremento en la base de saturación de suelos como resultado del incremento de compuestos ácidos. Este problema también alcanzó países como China, Australia, Nigeria, Venezuela y Brasil. Estudios en Europa y Canadá concluyeron que el responsable del deterioro ecológico, es la Deposición ácida. Esto fue, sin embargo, verificado marcadamente durante los años recientes, hoy en día un buen número de estudios a escala mundial son enfocados hacia los problemas de la Deposición Ácida (Andersson, 1986; Chadwick, 1990; Foster, 1989; Rodhe, 1989 ).

Los principales agentes de la acidificación del suelo, son la Deposición de los Oxido de Azufre y Nitrógeno, Amonio y Cloruros. Los cuales son el resultado de la combustión de las diversas fuentes de energías fósiles. Bredemeier (1988) y Cinderyby (1998), confirmaron que estos contaminantes son transportados vía aérea de fuentes de producción a zonas cercanas y a zonas que se encuentran a grandes distancias, es por ello que este fenómeno, que preocupa por el alto número de diferentes sustancias químicas que son vertidas a la atmósfera.

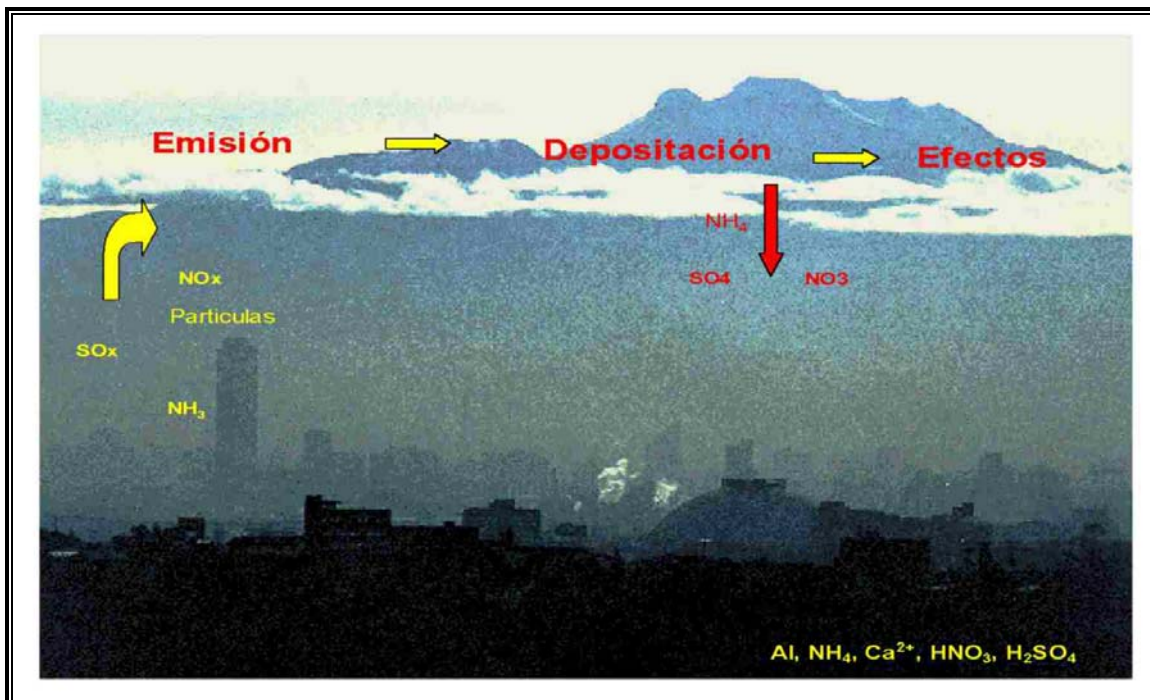


Figura 1. Fuentes, dispersión y precipitación de los desechos de combustibles fósiles, en diferentes ecosistemas.

Debido a la gran cantidad de dichas sustancias que se emiten al ambiente, en la mayoría de los casos ya se han rebasado la capacidad de los sistemas para transformarlas, asimilarlas o eliminarlas, esto ha traído como consecuencia el deterioro Ambiental (Figura 1).

Al final de la década de los 70's Rodison, en investigaciones realizadas, concluyo, que los suelos forestales son muy susceptibles a sufrir los efecto de acidificación, originando un desequilibrio de elementos (N, K, Ca, Mg, P Y S) y micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn Cu y Mo). Los resultados de estudio similares sirvieron para enlistar los posibles cambios, que pueden presentar los suelos que sufren los efectos de la acidificación. La acumulación de ácidos orgánicos en el suelo u otros componentes que son favorables para las condiciones oxido-reducción (Freedman,1989; Rodison,1978; Aber,1982; Gobran 1988; Levy,1995).

Los posibles cambios en disponibilidad de elementos el suelo, indispensables para los organismos vegetales, se pueden observar, en la tabla 2 ubicada en la pagina 5, en donde la disponibilidad de algunos elementos, estarán disponibles dependiendo del valor de pH de la solución del suelo

Otro de los efectos de un incremento en el valor del pH Real es que una mayor solubilidad de los elementos traza, incrementando la toxicidad de algunos como Al, Fe, Mn y provocando deficiencias de los elementos esenciales (  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ ). Por lo cual, la acidificación del suelo, guarda una estrecha relación con la acumulación de elementos traza, siendo estos dos fenómenos, derivados de las actividades industriales.

La Depositación ácida, afecta especialmente a los suelos y áreas que tienen un alto porcentaje de Depositación y una baja capacidad potencial de amortiguamiento en el suelo. Este incremento es motivo de alerta, por los impactos y daños ecológicos a zonas forestales, Algunos de estos efectos potenciales se encuentran en la tabla 5. En la figura 3 se observan las diferentes sensibilidades de manera mundial.

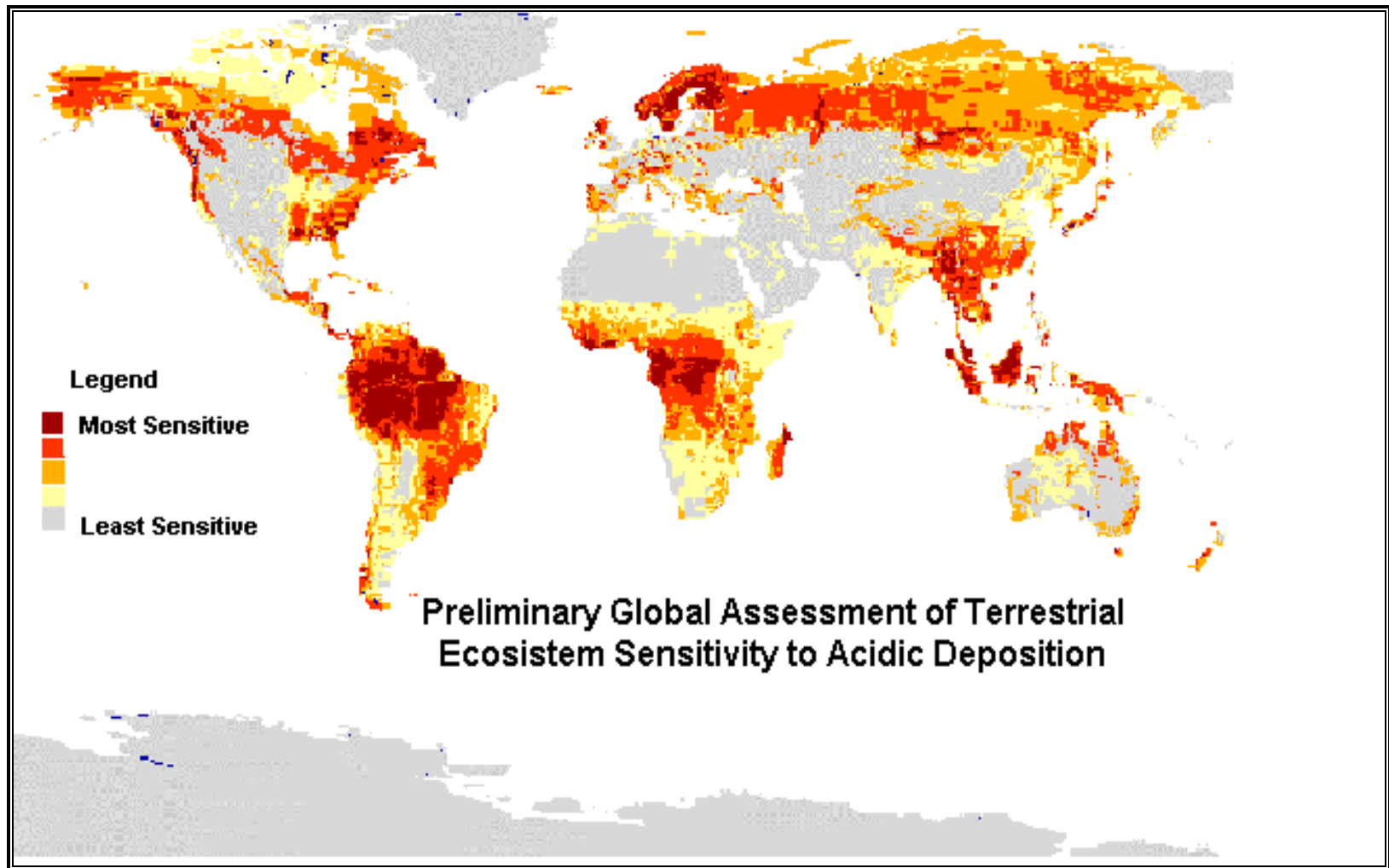
Los efectos estarán determinados por el sistema natural de amortiguamiento (condición Buffer), y la naturaleza de origen del suelo, determinara el grado de impacto. La dispersión de los contaminantes, entre los cuales también se encuentra los elementos traza y su seguida *depositación* va estar gobernada por la dirección de los vientos y el tamaño de las partículas, se puede presentar en áreas circundantes a la fuente de emisión y aún en zonas alejadas a las misma, con distancias hasta de varios cientos de kilómetros (Cinderby, 1998; Mcfee, 1987; Radame, 1977).

Tabla 5: Impactos potenciales en el suelo por la Depositación atmosférica.

Los impactos Potenciales de la depositación Atmosférica en el suelo. Para cada una de las Propiedades y procesos. Describiéndose las posibles consecuencias de la Depositación Ácida.		
Procesos o Propiedades	Impactos potenciales de la Depositación ácida	Evidencia (+) Confirmación. (-) Rechazo
1.-Descompo- Mineralización 1a. Producción de Materia Orgánica	Decrece la ruta de Mineralización del Carbono como resultado de la acidificación del suelo y/o una asociación con elementos traza tóxico	+ Francis et al., 1980 + Lohm, 1980
1b. Comunidades microbiales dinámicas	Cambio de Bacterias por hongos más tolerantes a ambientes ácidos. Incrementa el ataque por parásitos del suelo	+ Lohm, 1980 + Rodison
1c. Mineralización de Nitrógeno	Decrece la Amonificación Decrece la Nitrificación  Aumenta la Disponibilidad de Nitrógeno Impide el ciclo del Nitrógeno y su fijación.	+Francis et al., 1980. +Francis et al., 1980. +Alexander, 1980. + Abrahamsen,1980 + Rodison, 1978
1d. Captación de la Raíz	<b>Toxicidad de Elementos Traza Asociados con la acidificación del Suelo.</b> <b>Fisiológicamente impide la absorción de Ca, Mg, P.</b>	+ Mayer and Ulrich, 1977.
2.- Complejo de Intercambio del Suelo. 2a . Morfología de las Arcillas Minerales	Incrementa la formación de Hidroxi- Al entre las capas bajo el desgaste ácido	+ Jackson, 1963
2b. Capacidad de Intercambio	Decrece la Capacidad de Intercambio Cationico como un resultado de la aluminización de las arcillas. Aumento en la Capacidad de Intercambio de Ultisoles como un resultado de la absorción de sulfato	+ Sawhney, 1963  + Johnson, 1980
2c. Saturación de Bases y la acidez intercambiable	Disminución en las bases de Saturación y un incremento en la acidez del suelo.  Deficiencias de Ca, Mg, K y posiblemente Na. Aumento de H+, decremento del valor de pH.	+ Abrahamsen, 1980. + Farrell et al., 1980. + Stuanes, 1980. + Bjor and Teigen 1980 Linzon and Temple, 1980 + Rodison, 1978.
3.- Lixiviación de Elementos. 3a. Aluminio	Incremento de la movilización y lixiviación	+ Ulrich et al., 1980 + Cronan, 1980 + Abrahamsen et al., 1976 + Mayer and Ulrich, 1974 + Baker et al., 1977
3b. Manganeso	Se incrementa la lixiviación	+ Mayer and Ulrich, 1974
3c. Metales Pesados	Se incrementa la lixiviación.  Origina un incremento en la solubilidad y toxicidad de AL, Mn, Fe. Reduce la Movilidad de Mo.	- Tyler, 1978  + Rodison, 1978
3d. Cationes Nutrientes	Se incrementa la perdida por lixiviación	+ Abrahamsen, 1980 + Overrein, 1972 + Mayer and Ulrich, 1977 + Stuanes, 1980. + Cronan, 1980. - Johnson and Cole, 1977.
3e. Azufre	El contenido de azufre y de cationes retenido es reducido por perdida.	+ Farrell et al., 1976 + Johnson, 1979.
4.- Desgaste del Material Parental	Se incrementa la perdida por desgaste	+ Gjessing et al., 1976 + Johnson, 1979.

(Tomado de Mcfee, 1988)

Figura 2 Sensibilidad de los suelos a la Depositación Ácida a escala mundial.



(Tomado de Global Assessment of Ecosystem Sensitivity to Acidic Deposition 1998)

### 7. 1. 3. Elementos pesados en el suelo

En el suelo se encuentran diversas cantidades de elementos los cuales han sido clasificados dependiendo su rol o función que desempeñan en él mismo. En un primer grupo se encuentran los nutrientes minerales en los cuales se encuentran (C, N, H, O P y S) elementos químicos formadores de casi toda la materia viva. En un segundo grupo se encuentran los cationes (K, Ca, Mg y en ocasiones Na), los cuales se denominan Macroelementos o Polielementos minerales Nutritivos ya se precisan en altas cantidades.

El tercer grupo de Elementos se denominado como Microelementos o oligonutrientes los cuales son requeridos en pequeñas cantidades expresados en mg/kg. Dentro de este grupo se encuentran los siguientes elementos: B, Zn Cu, Co, Mo, V y el anión Cl. Y por último el cuarto grupo se denominan los Mesoelementos conformado por el Fe y Mn. Los cuales ocupan una posición intermedia. ( Duvigneaud,1978).

Derivados del desgaste debido principalmente al lavamiento del material parietal, de esta forma natural se incorporan elementos como O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti y P, en los procesos de formación, los cuales componen y constituyendo el 99% de la superficie de los suelos. Sin embargo una alta proporción de los elementos trazas en el suelo, es atribuida a las actividades industriales, estos desechos son arrojados a la atmósfera donde el viento es un medio importante para el transporte.

De esta manera los suelos son contaminados, aun desde distancias de varios cientos de kilómetros de la fuente de origen o emisión. La Depositación de algunas cantidades de elementos trazas, en las 3 ultimas décadas del siglo XX, fueron propuestas Freedman, en la Tabla 6 pagina 15 se exponen cifras de las cantidades de elementos que fueron requeridos por la industria a escala mundial.

En cuyo procesamiento y manufacturación arrojará grandes cantidades de elementos traza contaminantes, que fueron depositados en el suelo. Impactando en un alto grado los ecosistemas terrestres. En la Tabla 7 de la pagina 17, se muestra las determinaciones cuantitativas de elementos traza de diferentes suelos forestales del Mundo, realizada por diferentes investigadores. Ya estos 2 problemas contaminación la Depositación ácida y la Acumulación de elementos traza metales pesados en el suelo, es una de las más graves preocupaciones en todo el Mundo (Freedman,1989; Kabata,1992; Speir, 1999).

La Concentración de los metales pesados esta gobernada por muchos factores tales como la formación de complejos de materiales orgánicos, pH y la química de compuestos de carbonatados. Originado un desequilibrio de los procesos ecológicos, entre los cuales se incluye la solubilidad y reacciones de cambio de los nutrientes inorgánicos, incrementando la solubilidad de elementos traza, así como su toxicidad (Bache, 1987; Carlson, 1988; Klein ,1987 ) .

Uno de los factores Químicos del suelo más importante en el suelo es el pH, ya que éste influye en las propiedades Físicas y Químicas, así como la fertilidad del suelo, la formación de complejos orgánicos y la química de los compuestos Carbonatados.

Tabla 6. Cantidades de elementos metálicos requeridos para actividades Industriales a nivel Mundial.

ELEMENTO	EMISIONES NATURALES 1989 $10^8$ g/Año	AÑO	ACTIVIDAD ANTROPOGENICA AÑO 1989	TONELADAS REQUERIDAS DECADA DE LOS 90'S	TONELADAS REQUERIDAS EN EL AÑO 2000
Hierro				507,00 $10^3$	1,000,000 $10^3$
Aluminio				13,900 $10^3$	60,000 $10^3$
Manganeso	6100		3200	9,500 $10^3$	18,000 $10^3$
Cubre	190		2600	7,470 $10^3$	12,000 $10^3$
Zinc	360		8400	6,190 $10^3$	11,000 $10^3$
Plomo	59		20,000	3,590 $10^3$	5,000 $10^3$
Cromo	580		940	2,259 $10^3$	3,750 $10^3$
Titanio				1,250 $10^3$	1,800 $10^3$
Níquel	280		980	740 $10^3$	1,500 $10^3$
Zirconio				250 $10^3$	500 $10^3$
Molibdeno	11		510	250 $10^3$	130,000
Estroncio				88,940	120,000
Antimonio	9.8		380	73,400	100,000
Cobalto	70		44	21,100	30,000
Vanadio	650		2100	20,180	35,000
Cadmio	2.9		55	15,550	20,000
Plata	0.6		50	9,430	12,000
Mercurio	0.40		110	9,240	14,000
Berilio				3,610	15,000
Oro				1,467	2,000
Germanio				75	200

Por esto, los efectos de la *Deposición ácida* y la *Acumulación de Elementos Trazas* en el suelo, guardan una relación muy estrecha, ya que al existir un decremento o incremento en el valor de pH, esto determinara la solubilidad y posible toxicidad de elementos como Zn, Fe, Al, Mn, por mencionar algunos. La acidificación va acompañada de procesos que originan la degradación de medio terrestre, teniendo efectos dañinos entre los animales y microorganismos del suelo, y tienen efectos adversos sobre las raíces de los árboles, plantas y las micorrizas ( Toxicidad de elementos traza), incluyendo la pérdida de cationes por filtración. De ahí él porque es importante realizar la cuantificación de los elementos trazas en suelos de las zonas boscosas de la cuenca de México. ( Derome, 2001; Józefaciuk, 2002)

Tabla 7. Diversas cuantificaciones de elementos traza en suelo forestales

Elemento	AUBERT ( PPM)	PAIS ( mg / Kg)	ALLEN mg/kg EN SUELOS MINERALES)	KABATA (ppm)	Reimann (suelos de Noruega)		
					mínimo	Normal	Tóxico
Ba	150 a 3000	100-3000	100-1000	150-2000*	5.3 <sup>a</sup> 5.5 <sup>b</sup> 5.9 <sup>c</sup>	46 <sup>a</sup> 33.2 <sup>b</sup> 53.8 <sup>c</sup>	483.3 <sup>a</sup> 267 <sup>b</sup> 475.3 <sup>c</sup>
Ca			0.5-2		120 <sup>a</sup> 170 <sup>b</sup> 340 <sup>c</sup>	2200 <sup>a</sup> 1600 <sup>b</sup> 4700 <sup>c</sup>	18000 <sup>a</sup> 24900 <sup>b</sup> 67300 <sup>c</sup>
Cd		0.01-3	0.03-0.3	0.5-1.5*			
Co	.05 a 200	1-40			<0.5 <sup>a</sup> 2 <sup>b</sup> 1.1 <sup>c</sup>	1.9 <sup>a</sup> 9.7 <sup>b</sup> 12.6 <sup>c</sup>	29.8 <sup>a</sup> 80.3 <sup>b</sup> 469 <sup>c</sup>
Cu	8 a 200	2-200	5-100	5-150*	1.6 <sup>a</sup> 1.1 <sup>b</sup> 2.6 <sup>c</sup>	7 <sup>a</sup> 13 <sup>b</sup> 26.3 <sup>c</sup>	1300 <sup>a</sup> 298 <sup>b</sup> 324 <sup>c</sup>
Cr	Mínimo. 7 a 20, Máximo. 3 500	5-1000	10-200		<1 <sup>a</sup> 2.1 <sup>b</sup> <2 <sup>c</sup>	3 <sup>a</sup> 29.8 <sup>b</sup> 26.2 <sup>c</sup>	188.6 <sup>a</sup> 840 <sup>b</sup> 388 <sup>c</sup>
Fe		38	0.5-10		320 <sup>a</sup> 800 <sup>b</sup> 600 <sup>c</sup>	2100 <sup>a</sup> 38400 <sup>b</sup> 24050 <sup>c</sup>	49200 <sup>a</sup> 98500 <sup>b</sup> 94800 <sup>c</sup>
Ga	10 a 70	2-100		<5-50*			
Hg		0.01-1		0.02-0.58			
K			0.1-2		140 <sup>a</sup> 70 <sup>b</sup> 50 <sup>c</sup>	810 <sup>a</sup> 900 <sup>b</sup> 2000 <sup>c</sup>	3900 <sup>a</sup> 17500 <sup>b</sup> 21400 <sup>c</sup>
Mn	6 a 8800.	200-3000	200-3000		<10 <sup>a</sup> 20 <sup>b</sup> 40 <sup>c</sup>	60 <sup>a</sup> 160 <sup>b</sup> 300 <sup>c</sup>	10000 <sup>a</sup> 1900 <sup>b</sup> 6100 <sup>c</sup>
Mo	0.07 a 24.		0.3-3				
Ni	20 a 500.	1-200			<1 <sup>a</sup> <2 <sup>b</sup> <2 <sup>c</sup>	3.2 <sup>a</sup> 8.5 <sup>b</sup> 19.1 <sup>c</sup>	487.2 <sup>a</sup> 148 <sup>b</sup> 435 <sup>c</sup>
P					80 <sup>a</sup> 50 <sup>b</sup> 10 <sup>c</sup>	750 <sup>a</sup> 570 <sup>b</sup> 985 <sup>c</sup>	2800 <sup>a</sup> 11700 <sup>b</sup> 4900 <sup>c</sup>
Pb	15 a 1200 .	3-189	2-20	10-56*	2.6 <sup>a</sup> <5 <sup>b</sup> <5 <sup>c</sup>	32.8 <sup>a</sup> 13.4 <sup>b</sup> 13 <sup>c</sup>	488.5 <sup>a</sup> 591 <sup>b</sup> 196.2 <sup>c</sup>
Rb	10 a 600.	<20-210		<20-120*			
Sr	40 a 800.	50-1000		20-500*	3.4 <sup>a</sup> 1.6 <sup>b</sup> 2.7 <sup>c</sup>	23.7 <sup>a</sup> 12.9 <sup>b</sup> 24.2 <sup>c</sup>	102.6 <sup>a</sup> 174 <sup>b</sup> 446.6 <sup>c</sup>
Ti	150 a 25000.	1800-3600	0.1-1	0.15-0.57*	10 <sup>a</sup> 20 <sup>b</sup> 40 <sup>c</sup>	110 <sup>a</sup> 1300 <sup>b</sup> 1300 <sup>c</sup>	1900 <sup>a</sup> 5700 <sup>b</sup> 5000 <sup>c</sup>
V	12 a 400.	3-230	2-100		0.5 <sup>a</sup> 6.2 <sup>b</sup> 4.3 <sup>c</sup>	6.1 <sup>a</sup> 43.3 <sup>b</sup> 383 <sup>c</sup>	99.3 <sup>a</sup> 312 <sup>b</sup> 1671 <sup>c</sup>
Y				<10-150*			
Zn	2 a 600.	10-300	20-300	25-155*	4.2 <sup>a</sup> 0.7 <sup>b</sup> 4.7 <sup>c</sup>	42 <sup>a</sup> 24.7 <sup>b</sup> 40 <sup>c</sup>	1600 <sup>a</sup> 237 <sup>b</sup> 644.5 <sup>c</sup>
Zr		250			<0.2 <sup>a</sup> 0.3 <sup>b</sup> 0.6 <sup>c</sup>	0.8 <sup>a</sup> 7.9 <sup>b</sup> 12.3 <sup>c</sup>	9.4 <sup>a</sup> 43.2 <sup>b</sup> 89.7 <sup>c</sup>

( Extraído de Allen,1974; Aubert 1978; Kabata, 1992; Reimann,1998).

\*Suelos de bosque de Bulgaria, China, Hungría, Japón y URSS y U. S.,

a, b y c se refiere a los diferentes horizontes que integran el perfil horizonte A, horizonte B y horizonte C



### 7. 1. 4. Mecanismos de Depositación.

En los procesos de Depositación, el tamaño la Partícula es característica Física más importantes, toda aquella materia con un tamaño que oscile de 0.0002  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ , son pequeños entes sólidos o líquidos suspendidos en el aire, de que forma individual son imperceptibles a simple vista, pero en forma colectiva si pueden ser observadas, un ejemplo de esto es la neblina, la cual impide la visibilidad estas son de un tamaño aproximado de 50  $\mu\text{m}$ . Pero en otras, como un tamaño inferior a 0.005  $\mu\text{m}$ ., se necesita el empleo de microscopios electrónicos.

No todas tienen la misma forma y composición química. Las partículas de menor Tamaño son de 0.002  $\mu\text{m}$ , para los gases son de 0.001 a 0.0001  $\mu\text{m}$ . En donde el límite superior para partículas es de 0.1 $\mu\text{m}$ . El tamaño promedio de las partículas en la Ciudad y Cuenca de México es de 0.47  $\mu\text{m}$ , de acuerdo a bravo *et. al* 1986. En la Tabla 6 se observan la clasificación de los tamaños de las partículas.

Tabla 8. Clasificación de partículas según propiedades físicas y su origen

Partículas	Tamaño	Fase	Origen
Polvos	1 a 1000 $\mu\text{m}$	Sólida	Rompimiento de partículas mayores, en procesos de molienda, cribado o explosiones. Desechos de Industrias Manufactureras de Carbón, Cemento o Granos.
Humos	0.5 a 1 $\mu\text{m}$	Sólida	Partículas muy finas, resultantes de la combustión incompleta de sólidos orgánicos como Carbón, Madera y Tabaco
Fumos	0.03 a 0.3 $\mu\text{m}$	Sólida	Partículas sólidas finas, por lo general Óxidos Metálicos de Zn y Pb, formados por condensación de vapores de sólidos. Es decir, por procesos de sublimación, destilación, calcinación y fundición.
Cenizas Volantes	0 a 1000 $\mu\text{m}$	Sólida	Partículas no combustibles muy finas, provenientes de efluentes gaseosos. , Tienen características similares a las tres anteriores. Se componen principalmente de óxidos de Silicio, Aluminio, Hierro y Calcio.
Nieblas	< a 10 $\mu\text{m}$	Líquida	Pequeñas gotas formadas por la condensación de un vapor, dispersión de un líquido o como un producto de una reacción química
Aerosoles	10 a 1000 $\mu\text{m}$	Líquida	Pequeñas gotas formadas por atomización de líquidos como en el caso de Herbicidas o Pesticidas.

(Tomado de Jimenez, 2001)

Por lo cual el tamaño, determinara el tiempo de permanencia en la atmósfera, la cual podrá ser de unos cuantos segundos a meses. Y esto estará en función de la velocidad de sedimentación, función del tamaño, densidad de las partículas, así como la velocidad de y fuerza del viento.

Una vez que los contaminantes se encuentran en la atmósfera, se originan interacciones con la humedad presente y mediante procesos fotoquímicos. Originándose la formación los ácidos, las cuales son deposita mediante 2 vías o maneras, por una depositación Seca o Húmeda, esto estará en función del estado o fase en la que se encuentre los compuestos. Las diferentes rutas de la

Deposición total en sus fases: seca y húmeda son expuestas en la Figura 4. (Baird,2001; Jimenez, 2001;Figueroa,2001)

Respecto a la **vía húmeda** los contaminantes los Óxidos de Azufre, Nitrógeno y Cloruros ( en general) se encuentran disueltos entre las nubes, nieblas, lluvia, nieve, cuando se depositan en sobre el suelo, dicha Deposición será húmeda, y el resultado de estas interacciones serán compuestos son más peligrosos que sus precursores, como  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$  teniendo estos un mayor grado de impacto en los ecosistemas acuáticos y terrestres.

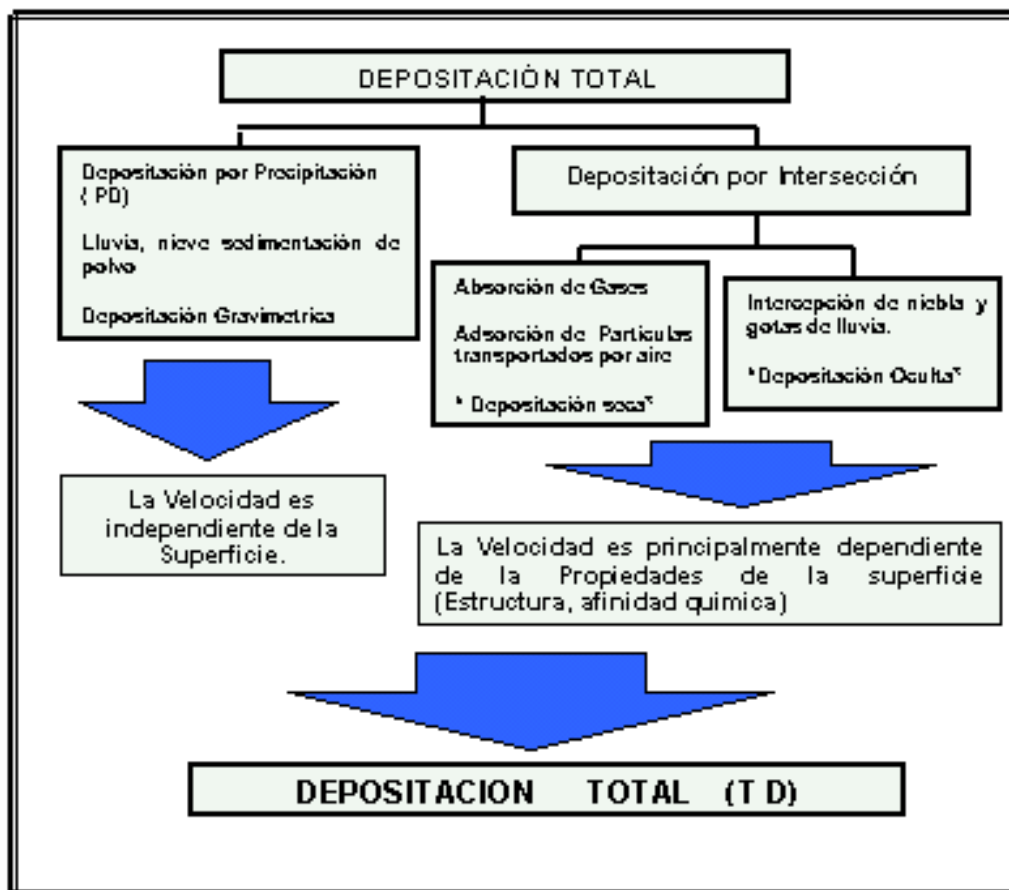
- a) **Lluvia ácida:** Este fenómeno fue descubierto por Smith en el año de 1852 obsérvese la tabla 2 pagina 6, en Gran Bretaña, proponiéndose como una hipótesis para explicar el decremento en las zonas boscosas. Este termino refiere a una gran variedad de interacciones y sucesos que ocurren en la atmósfera con los contaminantes primarios con la humedad existente y por procesos fotoquímicos, derivados de la ignición de combustibles fósiles y los cuales son convertidos a compuestos ácidos. Los ácidos predominantes, que están involucrados en este problema son el ácido Sulfúrico y Nítrico, en donde también se incluye al rocío, aguanieve, nieve y a la niebla. Dado que la lluvia neutra, tiene un pH de 5.6, la precipitación que tenga un pH inferior a 5, se considera como lluvia ácida. La producción de estos ácidos se realiza durante su transporte por acción del viento de los contaminantes primarios. La lluvia ácida es un problema que afecta a zonas alejadas de las fuentes de contaminación.(Manahan, 1993)

Por lo que cabe a la **Deposición seca**. Es la remoción de los contaminantes en ausencia de precipitación pluvial y estado gaseoso, son pequeñas partículas, llegan al suelo por acción de la gravedad, al ser absorbidos o adsorbidos, por diversos material sobre los que inciden y pueden ser clasificados en tres categorías de acuerdo con Figueroa (2001) .

- a) **Sedimentación.** Este es el principal mecanismo de remoción de contaminantes presentes en la atmósfera (para partículas con un tamaño superior de  $10\ \mu m$ . La Velocidad de la caída gravitacional, será en función de tamaño. Para partículas inferiores de  $1\ mm$ , dependerá de sus propiedades superficiales (adsorción, absorción y adhesión), esto porque tienen un comportamiento similar a los gases y tienen un mayor tiempo de suspensión en la atmósfera. Por lo que cabe a las partículas con tamaños inferiores a  $0.1\ mm$ , son afectadas por las fuerzas o movimientos Browniano, chocando entre sí, ocasionando adhesión entre ellas, facilitando su precipitación. Estas pueden ser químicamente activas o inertes.
- b) **Aerosoles:** Dado que un aerosol corresponde a un conjunto de partículas. Ya sean sólidas o líquidas dispersas en el aire, formadas por la atomización de líquidos. Estos son depositados por la acción de la gravedad.

c) **Gases:** Los gases presentes en la atmósfera son resultados de procesos Naturales como ( erupciones, Incendios forestales accidentales, producción de gases en pantanos, respiración de seres vivos etc.) y antropogenicas entre las cuales se encuentran ( combustión de fuentes fijas, procesos industriales, etc.). Y entre los gases resultantes se encuentran los óxidos y dióxidos de Carbono y Nitrógeno, óxidos de Azufre, amoniaco NH<sub>3</sub>, Ozono O<sub>3</sub>. Los cuales son transportados por los vientos y son depositados posteriormente en zonas circundantes o lejanas por acción de la gravedad en ausencia de lluvia.

La **dispersión y deposición**, estará gobernada, por diversos factores tales como: la dirección de los vientos y el tamaño de las partículas. Y el grado de impacto de ambas vías y los efectos que provoquen en el suelo forestal dependerá, de la extensión de la superficie impactada, la concentración y el tipo de los contaminantes, del valor actual del pH, tipo de vegetación en esa zona y de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Alloway, 1990; Radame, 1977; Ross, 1994).



( Tomado de Bredemeier,1988)

Figura 3: Rutas de la Deposición Total

## 7. 2. Técnicas Utilizadas

### 7. 2. 1. PIXE Y RBS en la determinación de elementos trazas y Metales pesados en el suelo.

Durante las ultimas décadas se ha incrementado la utilización de técnicas nucleares, técnicas con un alto rango de exactitud, de entre las cuales se encuentran, espectrofotometría de absorción atómica ( AAS), análisis de electrón activado ( NAA), espectrometría de acoplamiento de plasma inducido ( ICP ), fluorescencia de rayos X, ( XRF) Retrodispersion de Rutherford ( RBS) y emisión de rayos X inducida por partículas ( PIXE ). De entre ellas, **PIXE** presenta las mayores ventajas en la cuantificación de elementos contenidos en suelo, en diversos materiales, biológicos o inertes. Obteniéndose resultados cuantitativos de manera rápida, siendo satisfactoria. Diversos investigadores han comprobado las ventajas de esta técnica Entre las ventajas en la utilización de esta técnica, se encuentran las siguientes:

- La técnica es seca, lo cual indica que no requiere un tratamiento químico previo.
- Es un método no destructivo.
- La técnica es muy rápida y confiable para el monitoreo de elementos trazas en suelo.
- Las lecturas se realizan de manera Multielemental, en el bombardeo de una muestra de suelo, se pueden cuantificar diversos elementos metálicos.
- La cuantificación se puede realizar en superficies muy pequeña de la muestra y además es una técnica muy sensible, puede cuantificar en concentraciones muy bajas ( mg / kg ) ( Cruvinel, 1999; Miranda, 1996; Miranda, 2000a; Moser, 1998; Rajander, 1999)

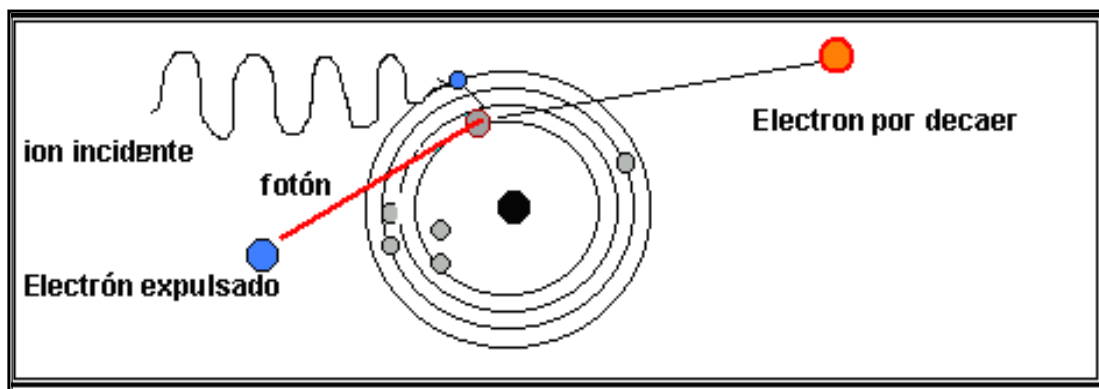


Figura 4: Diagrama del proceso físico en el cual se basa la técnica PIXE.

Por lo que respecta a la utilización de la Técnica de PIXE, esta se ha dado desde 1922, para la detección de varios minerales de piezas arqueológicas, no fue hasta la década de 60`s, cuando fue aplicada a material biológico. Incrementándose su

aplicación en otras áreas como, medicina, geología, agricultura y en el desarrollo de las ciencias ambientales ( Miranda, 2000b; Moser, 1998; Sigee, 1993 ).

En la técnica **PIXE**, la Muestra que va hacer analizada, es irradiada por partículas que son aceleradas, y los rayos-X emitidos por la excitación de los átomos en la muestra son detectados y analizados en un equipo de computo en donde se obtiene un espectro de los elementos contenidos en la muestra, en donde el espectro contendrá las unidades de numero de cuentas y la energía utilizada, en el análisis, los detectores utilizados en la técnica son en estado sólido y son de Li-Si y Ge-Li.

En la Técnica Nuclear de **Pixe**, se cuenta con elementos auxiliares para proporcionar una excelente cuantificación de elementos traza en Materiales inertes o Biológicos denominados como **Materiales Estándares de Referencia ( SRMs)**. Los cuales cuentan con una certificación internacional y juegan un rol importante en la comparación de las lecturas en la irradiación de las muestras en el laboratorio. Estos son una herramienta indispensable para realizar una adecuada cuantificación multielememntal de la muestra en cuestión. Otro auxiliar es el software **GUPIX**, para la interpretación de los espectros originados en las lecturas. ( Afarideh *et. al.*,199. Jaksic *et al* 1996, Yuanxun, 1996 ).

La técnica de **RBS**, se basa en las colisiones entre los átomos nucleares y consiste en cuantificar él numero y la energía de partículas retrodispersados al incidir un haz de protones de alta energía, para chocar con los núcleos de los átomos, resultando de esta colisión partículas gama y alfa. Con esta información es posible determinar la masa atómica y las concentraciones elementales de la muestra en cuestión.

También es equipo fue calibrado con Materiales Estándares de Referencia, con detectores de si-Li, el elemento de incidencia del haz de protones fue He, ya que siendo un elemento inerte no presentara reacciones con los elementos de la muestra. Este bombardeo de partículas se realizo en una cámara de vacío para evitar reacciones con los elementos contenidos en la atmósfera terrestre. (Watt *et. al.* in Sigee 1993).

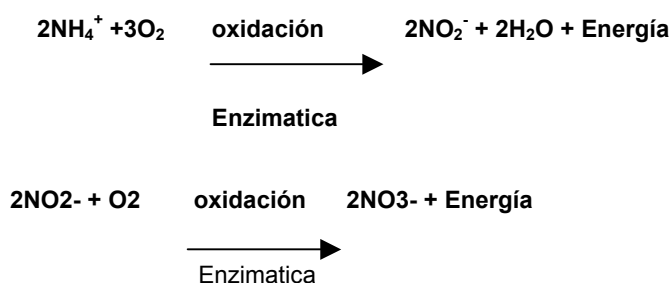
## 7. 2. 2. Iones en el Suelo.

De los compuestos precursores de la Depositación Ácida, básicamente la fuente de la producción de ellos, se debe a la combustión de los combustibles fósiles y sus derivados, los cuales arrojan a la atmósfera sus desechos, como los Óxidos de Azufre Y Nitrógeno ( $\text{SO}_4$ ;  $\text{No}_x$ ) y Cloro empleado en procesos industriales de lavado de papel, pieles, lanas entre algunos.

Estos compuestos han afectados diversas áreas boscosas y de cosecha. Estos pueden ingresar a la superficie terrestre por medios de las 2 formas la Depositación seca y la húmeda. Básicamente se puede hablar que existen 2 formas de producción de elementos contaminantes. De manera natural y por la actividad antropogénicas del ser humano. La primera compete a los eventos como las erupciones volcánicas, incendios de bosque entre algunos. La segunda forma de contaminación de los ecosistemas por la industrialización ( Baez, 1987, Cinderby *et al.* 1998)

Todos estos compuestos se encuentran en la atmósfera como partículas en aerosoles y tienen un tamaño de 0.1 a 1.0  $\mu\text{m}$

Una vez depositados en suelo los iones de Amonio, vía atmosférica o de la descomposición de la materia orgánica, son rápidamente reducidos por 2 grupos de organismo, las bacterias nitrosantes y los nitrificantes. Estos procesos entran en relación con ciertas condiciones como la temperatura la aireación y la concentración de Calcio asimilable. Este proceso denominado Nitrificación, es representados de la siguiente forma.



Las bacterias obtienen su energía por estas transformaciones y dejan como subproducto al Nitrógeno en forma de Nitrato, que es la forma de Nitrógeno requerido por las plantas, pero gran parte de este ión se pierde por la acción del lavado.

En la depositación también son precipitados compuestos que tienen azufre, al llegar al suelo son simplificados y son sujetos la una oxidación por bacterias autótrofas, teniendo Calcio para facilitar dicho proceso. La transformación final es completada por los organismos sulfurados y se representa en la siguiente reacción.



Así finalmente surge el  $\text{SO}_4^-$ , que es la forma de mayor asimilación por las plantas superiores. Al igual que los iones amonio, Nitratos, los iones Sulfatos también son lixiviados.

La oxidación de todos estos compuestos libera grandes cantidades de iones  $\text{H}^+$  que al estar presentes en la fase acuosa del suelo compiten con los cationes  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Los Cuales también son arrastrados a los estratos inferiores del suelo. Originando un empobrecimiento del suelo. Al darse un incremento de iones  $\text{H}^+$  tiene como consecuencia una acidificación del suelo (Pernestal,1993, Buckman, 1985; Frink, 1977).

### 7. 2. 3. Técnica de Electrodo de Ion Selectivo.

El principio de los denominados métodos potenciómetros, es la medición de un potencial eléctrico o diferencias de potenciales en celdas electroquímicas cuando se producen diferencias de corriente que no son apreciables.

Dentro de estos métodos se encuentra la técnica de Electrodo de Ion selectivo, desde el punto de vista analítico, este método es una herramienta ideal para monitorear selectivamente la actividad de ciertos iones en una solución en forma continua y no destructiva. Los componentes necesarios para la utilización de este método son.

- ◆ Un electrodo de referencia.
- ◆ Un electrodo de medición
- ◆ Un mecanismo de lectura.
- ◆ Una solución muestra

Cuando un electrón es sumergido en una solución que contiene iones, se origina un potencial eléctrico en la superficie del electrodo, a una reacción espontánea en la superficie del electrodo. La magnitud de este potencial varia con la concentración de los iones seleccionados. El electrodo de referencia ayuda a fijar esta variación ya que en su interior se encuentra una solución salina, hasta llegar a una composición constante.

Los poros existentes en la membrana del electrodo sumergido permiten que ocurra este flujo. El voltaje desarrollado entre el sensor y el electrodo de referencia es una medida de concentración de las especies reactivas. Los electrodos de referencia deben ser reversibles, presentar un potencial constante con el tiempo y presentar pocos cambios con las variaciones de temperatura.

## VIII. ZONAS DE ESTUDIO.

Dado que la ciudad de México se encuentra situada Geográficamente al suroeste de la meseta de Anahuac en la cuenca del valle de México, y por estar rodeada de las serranías: Al Norte por la sierra de Guadalupe; al sur por la sierra del Ajusco; al Oeste, por la sierra de las Cruces y por ultimo al Este por la sierra Nevada con los volcanes Popocatepetl e Iztaccihualt, determinan que en ella, se tenga una difícil dispersión de contaminantes atmosféricos y estos se precipiten por vía seca y húmeda, en las áreas boscosas circundantes (Calva, 1990).

### 8. 1. PARQUE NACIONAL DESIERTO DE LOS LEONES.

Este fue la primera zona declarada como Parque Nacional en el año de 1927 por el entonces Presidente Venustiano Carranza, localizado al sureste de la ciudad de México, ocupando una área de 1539 Ha, en un rango de altitud de 2700-3790 snm, forma parte de la sierra de las cruces al SW de la ciudad de México. Limita al valle de México entre la sierra del Ajusco al sureste y las sierras de las cruces al noreste. Y se halla ubicado entre las coordenadas 19°16'18" y 19°20'00" latitud Norte y por los meridianos 99°17'00" y 99°20'00' longitud Oeste. Este parque se sitúa (Figura 5 ) parcialmente en las delegaciones de Cuajimalpa y Álvaro Obregón del Distrito Federal.

**Clima:** Es templado, frío y húmedo conforme aumente el gradiente altitudinal, generalmente con una precipitación de 1200 a 1300 mm. por año. Donde se tienen 67 días con heladas en promedio por año. En donde la temperatura anual promedio oscila entre los 7 – 15 ° C.

**Edafología:** El suelo de este parque Nacional es clasificado como Andosoles (Cibrían, 1989) con asociaciones de Regosol Eurico y Litosol; Litosol y Regosol dístico (clasificación de la FAO-UNESCO). Se caracteriza por poseer material piroclástico y brechas con una consideración suelta. El suelo de este parque esta principalmente constituido principalmente de material parental cuyo origen es volcánico como andesitas y basaltos

**Vegetación :** En este parque Forestal se encuentran especies como el *Abies religiosa* (Oyamel) endémica de México, confieras como (*Pinus patula* y *P. hartwegii Lindl.*), encinos (*Quercus laurina*, *Q. Mexicana*, *Q. Microphylla*

### 8. 2. PARQUE NACIONAL IZTACCIHUALT-POPOCATÉPETL.

Es Parque Nacional desde el 29 de Octubre de 1935, durante la presidencia del General Lázaro Cárdenas, ocupa parte de varios municipios de Puebla, estado de México y Morelos. Se localiza geográficamente en las coordenadas 18° 59' 00" y 19° 16' 25" de la latitud Norte y de la longitud Oeste, 98° 34' 54" y 98° 42' 08" .



Se ubica en el Eje Neovolcánico, al SE de la Cd. De México (80 Km.) y posee una superficie de 25, 679 Ha (Vargas, 1998; Sedue,1983). Obsérvese la figura 6

**Edafología:** Dentro de este parque se encuentran Andosoles húmicos, Feozem, Litosol y Regosol. Basamento rocoso es de flujo de lava andesítica, en diferentes regiones sedimentarias y Vulcano sedimentarias, Basalto y taba intermedia y suelos de tipo andosol.

**Vegetación:** En el parque Iztapopocatepetl crecen varias especies de Pinos, presentándose 2 estratos: uno superior y arbóreo y otro inferior con pastos amacollados, escasos arbustos y hierbas. A los 2500m. a los 4000m. se localizan bosques perennifolios del género *Pinus*, Predominando en la franja más alta el *Pinus hartwegii*, seguido del *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrabus* y *Pinus rudis*, teniendo la compañía de *Pinus leophylla* y *Pinus teocote*, ocasionalmente también presentan *Quercus*, *Juniperus* o *Alnus* en suelos Andosol y Litosol

Entre los 2500m y 3500m se encuentra el bosque de *Abies religiosa* ( Oyamel) en zonas con *Pinus ayacahuite*, *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Prunus serotina*, *capulí* y *Cupressus lindleyi* ( Vargas 1998).

### 8. 3. PARQUE NACIONAL ZOQUIAPAN Y ANEXAS.

Parque Nacional desde 1937 ubicado ( Figura 5), en el municipio de Chalco, Edo. De México y parte de Puebla, sobre la cordillera Neovolcánica. Se localiza entre los 19° 13'10'' y 19° 18'45'' de la latitud Norte y entre los 98° 37' 39'' y 98° 51'58'' de la longitud Oeste, con una superficie de 20, 454 Ha, la mayor parte esta en Edo. de México y el 13% de ella, actualmente ésta ubicada la estación biológica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Blanco *et. al.* 1981). Obsérvese la figura 6.

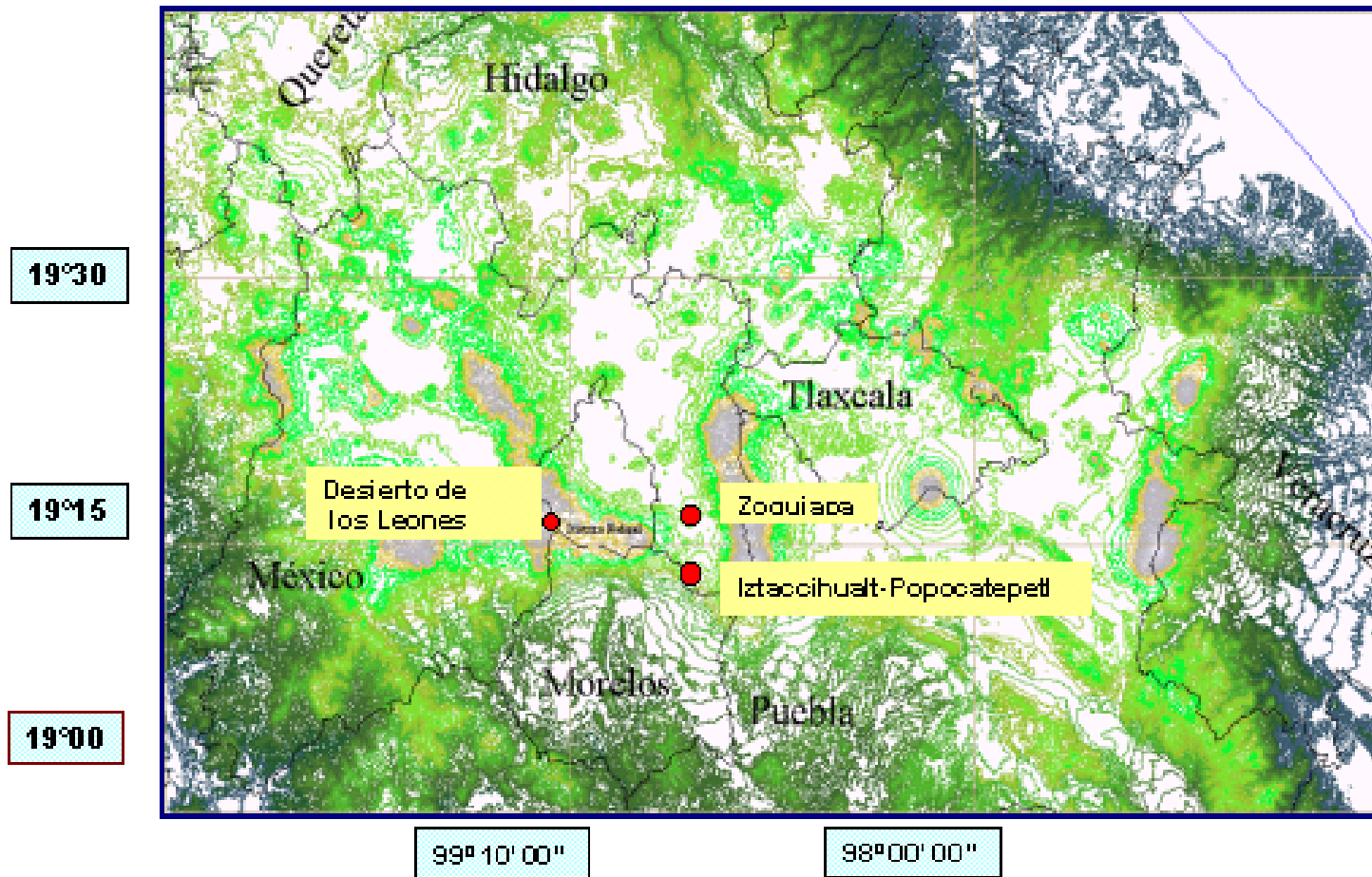
**Edafología:** Estos suelos en general profundos, presentan un buen drenaje, y por lo general son húmedos la mayor parte del año. Presentan un perfil con horizontes A, B, C, el color que se observa en el suelo es generalmente café oscuro, presentando una textura de migajón -arenoso y una estructura en bloques.

Se reportan (Orantes, 1980) andosoles, regosoles, litosoles y fluvisoles, ricos en materia orgánica con alto contenido de N, Ca y Mg y bajo contenido de fósforo. Su pH oscila entre 5.5 a 7.1 y suelen ser, poco profundos (90 cm) sin impedimentos físicos para el desarrollo radicular, la textura dominante es migajón-Arenoso con buenas aeración. En el andosol predomina la vegetación en litosoles la vegetación se escasea y en los fluvisoles se practica la agricultura o se presenta gramíneas.

En conjunción estos 2 últimos parques conforman una unidad geográfica y biótica incuestionable.

Figura 5:

## UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO



## IX. Material y Métodos.

Se seleccionaron los parques de Forestales, Desierto de los Leones, por presentar problemas de alta contaminación atmosférica reportado por la literatura (Alvarado, 1993; Castro, 1997; Ciesla, 1987; Skelly, 1997) y por encontrarse dentro del Distrito Federal. Y los Parque Nacionales Iztaccihualt-Popocatepetl y Zoquiapan y Anexas ya que estos se encuentran localizados, a distancias cercanas al del DF. Se presume que por su origen ígneo, serán afectados por la Depositación Ácida.

### I. La metodología se dividió en 4 fases

#### 9. 1. Fase de Campo

Se contaba con muestras procedentes del Archivo Edáfico, obtenidas del año de 1993. Para realizar la recolecta del año de 1999, se tomaron en cuenta diversos factores, como la profundidad y se considero una distancia de 3 metros entre la toma del periodo anterior. La toma de las muestras se realizo a un gradiente de altitud cuyo intervalo fue de 2800 msnm y 3200 msnm. Ya que en esa altitud se encuentra la especie arbórea de ***Abies religiosa* ( Oyamel)** endémica de México

La toma de se efectuó con un intervalo de profundidad de 15 cm, entre cada muestra. La cantidad colectada fue de aproximadamente 1 Kilogramo, siendo almacenadas bolsas de polietileno, etiquetándose para su registro y su manejo.



Figura 6: Perfiles en campo.



Figura 7: Perfil de una de las zonas de estudio

En las figura 6 y 7 se observan dos de los perfiles de los suelos del estudio.

Una vez las muestras en el laboratorio se realizaron un secado a temperatura ambiente, posteriormente se realizo tamizado de cada muestra con una malla de 2mm. o numero 10. y se almacenaron en contenedores de polietileno y su posterior análisis.

## **9. 2. Fase de Laboratorio.**

### **9.2.1 Propiedades físicas y químicas**

Una vez las muestras en el Laboratorio, a cada se les determinaron los siguientes parámetros:

- ◆ Se determinaron las propiedades físicas: Textura ( Bouyoucos), Color ( tablas de Munsell), Densidad aparente ( Por el método de la probeta), Densidad Real ( Por el método del picnómetro ).
- ◆ También se procedió a realizar la determinación de las propiedades químicas: % CIC( por acetato de amonio, pH 7 1N ), % Materia Orgánica ( método Walkley-Black ), pH Real ( potenciómetro ), pH Potencial ( en solución de KCl 1N Y agua destilada ). (Rios, 1985; Ruíz, 1979; Chapman, 1991).
- ◆ Se determino la concentración de iones Amonio, Cloruros y Nitratos por el método de ionometrico.
- ◆ Así también por el método nefelometrico en contenido del ion sulfato.

Todos estos análisis se realizaron en FES ZARAGOZA.

### **9. 2. 2. Radiación con PIXE para la determinación Multielemental**

La segunda parte de los estudios se realizó en el departamento de Física Experimental del IFUNAM, a donde se llevó aproximadamente 100 gramos, de cada una de las muestras de los diferentes perfiles, se realizaron pastillas de cada muestra, con ayuda de una prensa hidráulica con una presión de 4 toneladas.

Cada una de las muestras se sometieron a una irradiación de protones, en un acelerador de partículas Marca NEC 9SHD-2 con una energía de 3MV. Ubicado en el Instituto de Física de la UNAM, el cual posee un haz externo con una ventanilla de Aluminio de 8 mm. de espesor, para irradiar las muestras se utiliza una energía de 2.63 MeV.

Y se utiliza un colimador para dirigir el haz en forma rectangular, haciéndose incidir sobre las muestras de suelo (Figuras 9 y 10). Las concentraciones de los diferentes elementos en las muestras a analizar son realizadas por 2 detectores, uno de Si (Li) y otro de Germanio (Li) de alta pureza. Estos detectores están conectados a un analizador multicanal, el cual cuenta con una pantalla de video en donde aparece el



**Figura 8: Irradiación de haz de protones en muestras de suelo**



**Figura 8: Haz de protones irradiando muestras de suelo en el acelerador de partículas Pelletron**

espectro Multielemental de la muestra analizada. Este espectro será analizado con un programa denominado GUPIX, que interpretará cada uno de los espectros la concentración de cada elemento en ppm. (Miranda , 2000a)

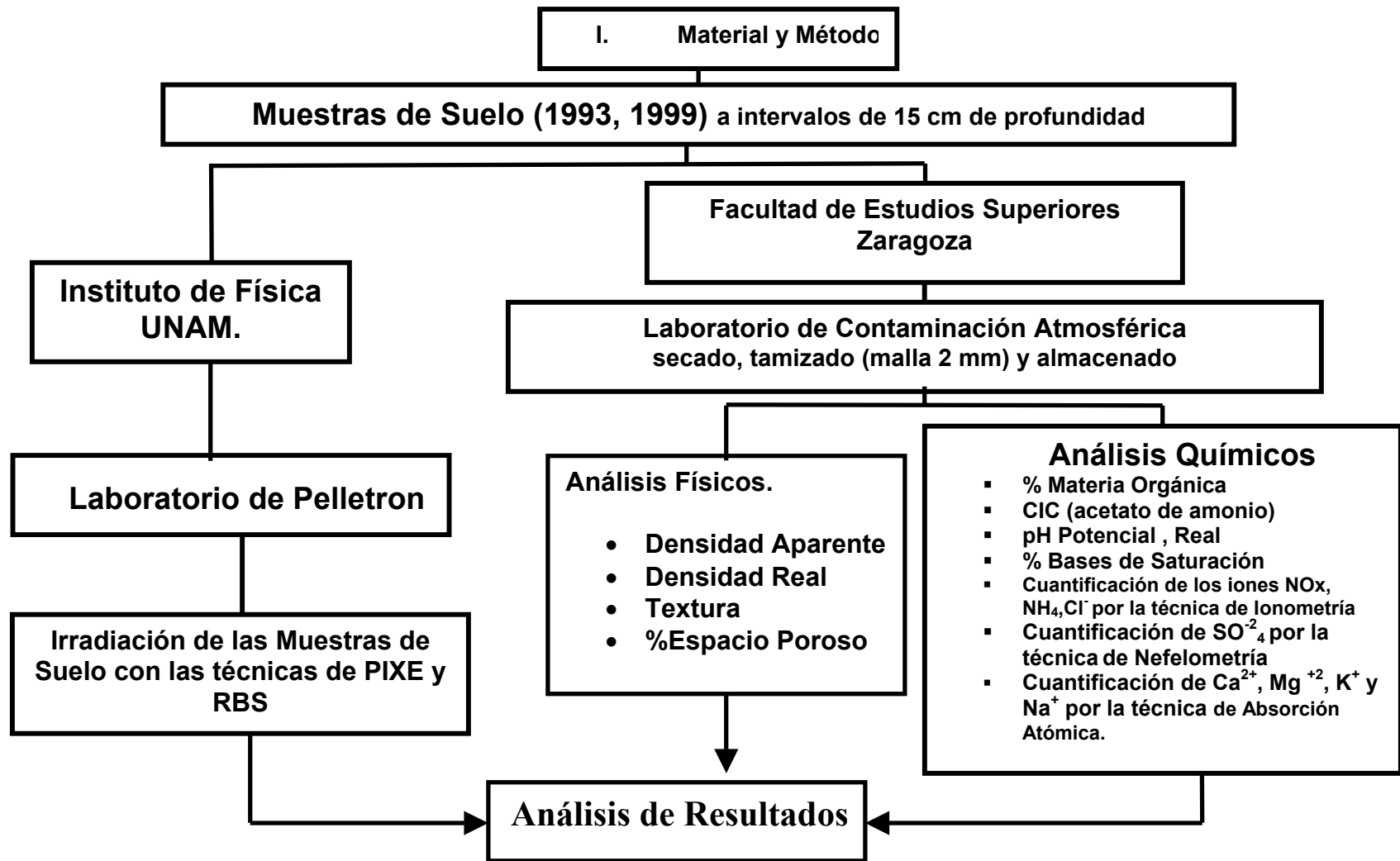


Figura 10: Diagrama de bloques de la fase experimental.

### **9.3. Cuantificación de $\text{NH}_4$ , $\text{NO}_x$ y $\text{Cl}^-$ por la técnica de Ión Selectivo y Ión $\text{SO}_4^-$ por la técnica de Nefelometría.**

#### **9. 3. 1. Extractos para la Para determinación del contenido de iones Amonio.**

A 20 gramos de suelo, se adicionaron 60 ml de HCl 2M, y con la ayuda de un agitador mecánico, se agito la mezcla por espacio de 1 hora. Posteriormente se filtro con la ayuda de una bomba al vacío y con un papel filtro # 42, para obtener los extractos. Las soluciones obtenidas y los estándares fueron ajustados o llevados a un pH 11 adicionándole una solución de NaOH 10N. A cada muestra se le adiciono 0.4ml, de Ajustador de fuerza iónica (**ISA**), clave NH4ISO1. Siendo analizada cada muestra para determinar el contenido del ión Amonio con la ayuda de electrodo de doble unión, no. 5731429 y de referencia no. R001011. Y un ionometro marca OAKTON pH series 2500. (Electrode Overview, Manual instruction Phoenix Electrode Company, 1999)

#### **9. 3. 2. Extractos para la Para determinación del contenido de iones Nitratos.**

A 20 gramos del suelo se le adicionaron 60 ml de agua desionizada, con la ayuda de un agitados mecánico, fue agitada por espacio de 30 minutos. Siendo obtenidos los extracto de cada una de las muestras por filtración, utilizando para ello una bomba al vacío y con papel filtro waltman # 42, para la remoción de las partículas coloidales. Posteriormente se adiciono a cada muestra, 5 ml de la solución buffer (obtenida de la mezcla de las soluciones, 0.01M de Sulfato de aluminio, 0.10M de Sulfato de Plata, 0.020 M de ácido Bórico y 0.020 M de ácido Sulfamico y esta mezcla de soluciones fue llevada a una pH 3 con una solución 0.1 M de ácido Sulfúrico. Y se tomaron alícuotas de 20 ml, se le adicionaron 0.2 la solución ISA. Y se procedió a realizar la lectura de cada muestra con la ayuda de un ionometro marca OAKTON pH series 2500.( Milham, 1970; Instruction Manual Phoenix Electrode Company, 1999)

#### **9. 3. 3. Extractos para la Para determinación del contenido de iones Cloruros.**

Se pesan 20 gramos de suelo, se le agregaron 60 ml de agua desionizada, con el empleo de un agitador mecánico, se agitaron las diferentes mezclas por espacio de 30 minutos, posteriormente con la ayuda de una bomba al vacío y papel waltman # 42, se filtran las muestras y se procede a leer el contenido de este ión. Con el empleo de un ionometro marca OAKTON pH series 2500. (Electrode Overview, Manual instruction Phoenix Electrode Company, 1999)



#### **9. 3. 4. Extractos para la Para determinación del contenido de iones Sulfatos.**

Se pesan 20 gramos de suelo, se le adicionan 60 ml de agua desionizada, con el empleo de un agitador mecánico se agita la mezclas por espacio de 30 minutos, posteriormente con la ayuda de una bomba al vacío y papel waltman numero 42, se filtran las muestras a leer el contenido del ión Sulfato.

## X. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 10.1. PARAMETROS FISICOS.

#### 10.1. 1. Densidad Aparente

De acuerdo a Fassbender; 1985, Fitzpatrick, 1978 y Ortiz *et. al.* 1980, En la mayoría de los suelos ácidos de origen volcánico el valor de la Densidad Aparente (*D. A.*), varía de entre 0.85 y 1.9 g/cm<sup>3</sup>. Esta propiedad esta estrechamente relacionada con las clases Texturales, el % espacio poroso y la estructura, por ello cuanto más fina sean las clases Texturales del suelo menor será la DA. Así mismo los valores del % E.P. y la estructura.

En el Parque Nacional Desierto de los Leones y la zona de Iztaccihuatl-Popocatepetl mostraron significantes cambios pero no así la zona de Zoquiapan y Anexas.

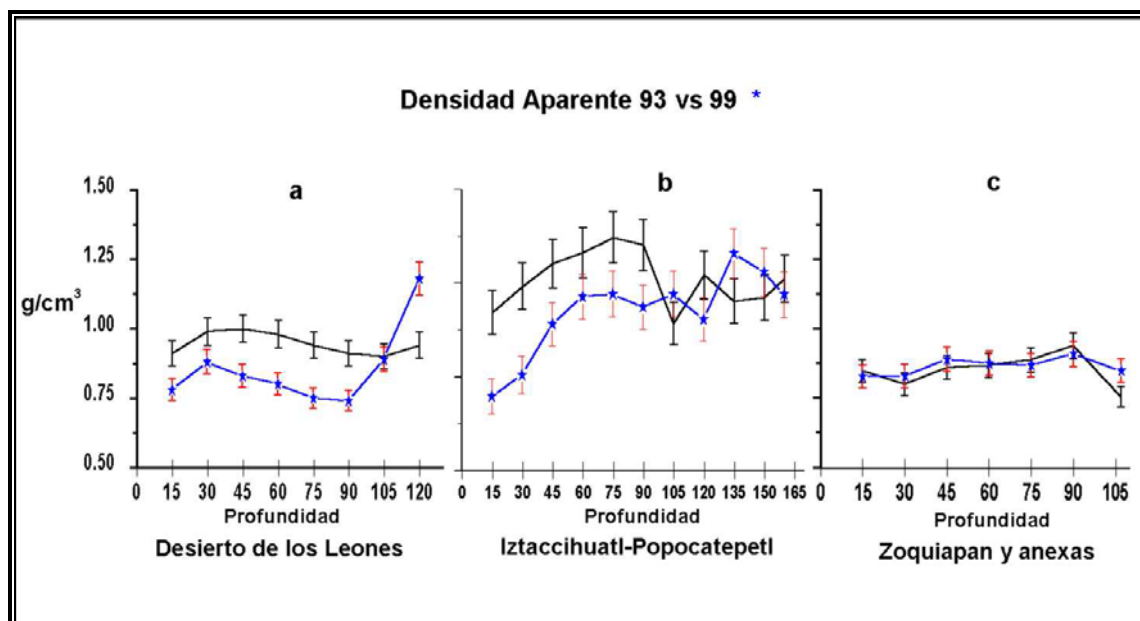


Figura 11: Densidad Aparente de las 3 zonas de estudio.

En las muestras del suelo, en la zona del **Desierto de los Leones** se observó un comportamiento oscilatorio en el cual, existe una disminución del valor de la *D. A.*, de 0.95 g/cm<sup>3</sup> registrados en el año de 1993 a 0.75 para el año de 1999. En las profundidades de 15 a 90 cm con respecto al año de 1993, también se verifica un aumento en las lecturas de 195 y 120 cm, en el año de 1999. Estos cambios son expuestos en la figura 11a

Se presenta una conducta similar en los resultados obtenidos en el año de 1999, para la zona del Parque **Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl**. Donde en el intervalo de 0–90 cm, la cuantificación de este parámetro arrojó valores inferiores

con respecto al año de 1993. con un aumento de  $1.25 \text{ cm}^3$  en las profundidades de 135 a 150 cm.

Uno de los efectos de la acidez del suelo es la meteorización de las partículas del suelo, las primeras en ser afectadas son las arcillas, las cuales dejan un espacio libre entre las diversas laminas que las constituyen, en las diferentes profundidades, que implican un aumento en el espacio poroso. Provocando una disminución en la densidad aparente.

Otro de los factores que influye, es el contenido de M. O. Dado que pesa menos que las partículas del suelo influirá en las densidades. Ya que al existir un aumento en el contenido provocara una disminución en el valor de la densidad. Esta situación podría explicar los resultados observados en los suelos del Desierto de los Leones e Iztaccihualt-Popocatepetl, para el año de 1999.

Aplicando una prueba de Pearson, a los valores obtenidos en las diferentes profundidades que componen los perfiles de la zona del Desierto de los Leones, año de 1993 y 1999. no se obtuvo correlación alguna, en ambos años del estudio.

Para la zona de **Iztaccihualt-Popocatepetl**, se observa una disminución de  $1.9 \text{ cm} / \text{gr}^3$  de los valores de este parámetro en el año de 1999 con respecto al año de 1993 véase la figura 11b, estos valores pueden ser ocasionados por el aumento del contenido de M. O. Dado que este incremento en la M. O. puede disminuir el valor de D. A., y de la degradación de las partículas por la acción de las sustancias acidificantes, ya que se obtuvieron valores de pH inferiores en el año de 1999, con respecto al año de 1993.

Aplicando pruebas de Pearson a ambos años de estudio arrojaron los siguientes resultados. En el año de 1993 se obtuvo una  $r^2 = -0.731$  negativa con el C. I. C. Con un valor de significancia de 0.05. Para el año de 1999 los resultados obtenidos en este parámetro guardan una relación inversamente proporcional con la M.O. con un valor de  $r^2 = -0.840$  y una relación directamente proporcional con la profundidad, cuyo valor de  $r^2 = 0.783$  ambos valores con un valor de significancia de 0.01, los valores de estas correlaciones pueden observarse en la tabla 19 Pág. 81.

Para la zona del **Parque Nacional Zoquiapan y Anexas**, no se observa grandes variaciones en el comportamiento de los valores obtenidos en los 2 años del estudio, Aunque en el año de 1993 se tenía un alto contenido de M. O. esta parece no influir en la determinación de los valores de la densidad aparente ya que los cambios en esta zona son mínimos y son expuestos en la figura 11 c. Después de la aplicación de una prueba de Pearson el parámetro de esta zona, no presenta correlación alguna. En los 2 años del estudio, los valores de las correlaciones se observan en la tabla 19 de la Pág. 81.

La determinación de este Parámetro físico en las tres zonas del estudio se encuentran dentro de los Parametros antes mencionados.

## 10. 1. 2. Clasificación de los suelos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana nom-021-RECNAT-2000, en función de los valores de D. A.

Tabla 9: Determinación de suelo de acuerdo con la Densidad Aparente.

Tipos de Suelo		g/ cm <sup>3</sup>
Orgánicos y Volcánicos		Menor de 1.00
Minerales	Arcillosos	1.0 – 1.19
	Francosos	1.20- 1.32
	Arenosos	Mayor de 1.32

Los valores obtenidos en las lecturas de este parámetro en el Parque Nacional Desierto de los Leones. Este va de un intervalo de 0.9-1 cm<sup>3</sup>, en el perfil del año de 1993 y para el año de 1999, el intervalo va desde 0.74 – 1.18. de acuerdo a la tabla 9 estos suelos puede clasificarse como, Suelo volcánico, Orgánico y Arcilloso. Para los años del estudio.

Para la zona del Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl, se tiene un intervalo de 1.17-1.37, en el año de 1993 y para el año de 1999 el intervalo es de 0.948 – 1.32, con dichos intervalos su clasificación será. Para ambos años del estudio como, Arcillo-Franco-Arenoso.

Y para la zona del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas, los intervalos del año de 1993 son de 0.75 – 0.94, para el año de 1999 tiene un intervalo cuyos valores son 0.83 – 0.91. Y de acuerdo con estos valores la clasificación será de Orgánicos y Volcánicos para ambos años del estudio.

### 10.1. 3. Determinación de la Densidad Real.

SE define con la masa ( peso) de una unidad de volumen de partículas sólidas del suelo.

Los valores de la Densidad Real (*D.R.*) oscilan entre 2.60 a 2.75 en partículas minerales ya que el cuarzo, feldspatos y silicatos coloidales constituyen la mayor proporción del suelo, pero si se encuentran minerales pesados como la magnetita, zirconio, turmalina y hornblenda la densidad del suelo puede superar el valor de 2.75 g/ml. Pero un efecto contrario a los minerales pesados tienen la M. O. ya que puede disminuir el valor hasta 0.2 g/cc en la mayoría de los suelos. (Fitzpatrick 1978; Ortiz *et. al.* 1980)

Los cambios en la Densidad Real en el suelo, originan un comportamiento similar a la D.A., el aumento de la Materia Orgánica y el % E.P., influyen el decremento de la D.R. Dado que esta propiedad esta relacionada con el drenaje, aireación, retención de humedad, compactación. Cuando el valor de la *D.R* decrece empieza a existir un

obstaculación para un buen desarrollo radicular. (Fassbender *et. al.* 1987; Ortiz *et. al.* 1980)

Los suelos de los parques Nacionales del Desierto de los Leones e Iztaccihuatl-Popocatepetl presentan una disminución de este parámetro y no así el suelo de Zoquiapan y Anexas.

En el Parque Nacional Desierto de los Leones, este parámetro presenta un comportamiento similar que el de la D. A., observándose una disminución de 0.04 a 1 en las profundidades de 15- 75 cm. Pero en las profundidades subsiguientes se observa un aumento de 0.5g/cm<sup>3</sup>, lo que podría originar una compactación de las estas profundidades en el año de 1999, con respecto al año de 1993, obsérvese la figura 12a.

Los cambios y la disminución de la Densidad Aparente y Real, también son provocados por la degradación de las partículas y por el aumento de la producción de la M. O., lo cual puede originar un aumento en el % de espacio poroso en el suelo

Este parámetro en esta zona presenta no presenta correlaciones en el año de 1993, pero en el año de 1999, presenta correlaciones con el pH P, pH R, M. O. y la profundidad, cuyos valores son de  $r^2= 0.780$ ,  $0.752$ ,  $-0.833$  y  $0.771$  respectivamente con nivel de 0.05 de significancia.

Para el Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl, en la determinación de los valores en este parámetro de DR. se observan en el año de 1999, una disminución en casi todos los horizontes a excepción del horizonte 75 cm, Estos cambios en los valores de la Densidad Real pueden ser el resultado de un incremento en la producción de la M. O.

Un suelo con un alto contenido de M. O. tiene un D. R. Baja. Y por la incorporación de sustancias químicas que provocan la degradación de las partículas del suelo, véase la figura 12b.

Después de la aplicación de la prueba estadística de Pearson, en el año 1993 la D.R. tiene un alto valor de correlación de ( $r^2= 0.765$ ) con el pH R, con un nivel de significancia de 0.01 y una  $r^2= -0.665$  con la M.O. presentando una relación inversamente proporcional con un valor de significancia de 0.05.

Y para el año de 1999, tiene valores de correlación ( $r^2= -0.840$ ) con la M.O. y una  $r^2= 0.787$  con la profundidad ambos valores el nivel de significancia es de 0.01. En ambos periodos los intervalos de lectura se encuentran en los mangos mínimo y máximo del valor para los suelo, el cual esta de 1.2- 2.75 g / cc.

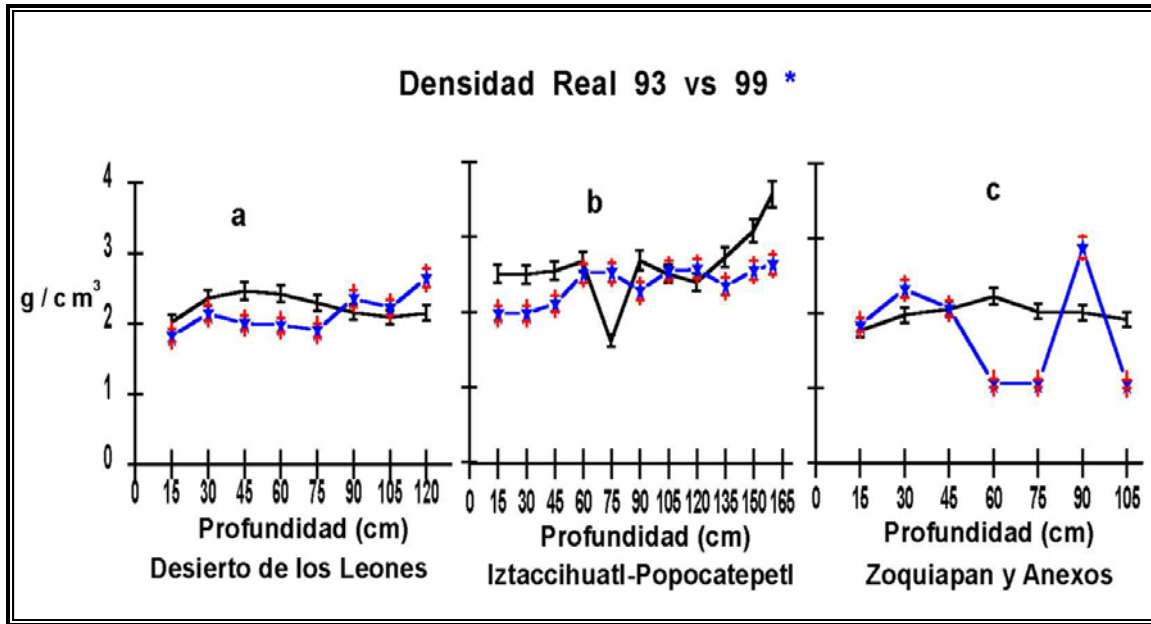


Figura 12: Densidad Real en las tres zonas de estudio.

En el suelo del Parque Nacional de Zoquiapan y Anexos, para el año de 1993, al graficar los valores obtenidos se presentó un comportamiento con tendencia a la homogeneidad con un intervalo de 1.7 a 2.23. Lo cual fue muy distinto en el año de 1999, presentando un intervalo de 1 a 2.87 el cual puede ser relacionado con el % de M. O.

Al graficar los valores de este año se observan una disminución de los valores en las profundidades de 60, 75 y 105 cm, con respecto al año de 1993, figura 12c.

#### 10. 1. 4. Determinación del porcentaje de Espacio Poroso.

El espacio poroso se define como la porción del suelo no ocupada por partículas sólidas y este es ocupada por aire y agua. Las variaciones en los cambios que puedan existir en la Densidad Aparente y la Real. Son dos tipos de espacio poroso los que son observados en el suelo.

Los macroporos los cuales funcionan en el movimiento de aire y agua, en suelo arenosos superficiales el porcentaje varió de 35 al 50%, mientras que en suelo de textura más fina, predominan los microporos los cuales intervienen en la retención y conservación del agua, presentan porcentajes del 40 al 60%. La tabla 10 son expuestos algunos valores de % del espacio poroso de algunos suelo. ( Ortiz *et. al.* 1985 )

Tabla 10: % de espacio poroso de diferentes suelo.

Suelo	% de Espacio Poroso
Arena gruesas	De 25 a 30
Arenas muy finas	30-a 35
Arenas Arcillosas	35 a 40
Limos	40 a 45
Limos arcillosos	45 a 50
Arcillas humicas	50 a 65

Esta propiedad es un factor importante para la penetración de las raíces y para la capacidad de almacenar agua en la zona radicular. En la tabla 11 se exponen la relación entre la densidad aparente y el espacio poroso, guardando entre ambos una relación inversamente proporcional.

Tabla 11: Relación entre la D. A. y el Espacio Poroso

Densidad Aparente	% Espacio Poroso
0.80	69.81
1	62.26
1.25	52.83
1.50	43.39
1.80	32.07
2	24.53

Al graficar los valores obtenidos en el año de 1993, en los suelos del **Parque Nacional del Desierto de los Leones**, se presentó un comportamiento con tendencia a la homogeneidad, figura 13a.

Pero en el año de 1999, con excepción de la profundidad de 15, 90 y 105 cm, cuyos valores fueron mayores en 1993, esto como consecuencia de la disminución de los Parametros de densidad y posiblemente un aumento del contenido de la M. O. de acuerdo con la tabla 10 el suelo de este parque en ambos años de estudio corresponden a suelos con un alto contenido de arcillas húmicas. Los valores obtenidos en los 2 años del estudio concuerdan con los de la Tabla 11 presentada por Ortiz *et. al.* 1985.

Para el Suelo del Parque Nacional del **Iztaccihuatl-Popocatepetl**, al comparar los valores obtenidos en ambos años del estudio, con excepción del valor inferior de la profundidad de 75 cm y 135, 150 y 165 cm que aumentan, se observan un comportamiento muy similar. Esto aumente esta muy relacionados con los valores de la densidad real obtenida. Y posiblemente para el año de 1999, exista una alta relación con la materia Orgánica. Ya que si existe un aumento de esta aumenta el espacio poroso, figura 13 b.

Aplicando una prueba de Pearson, este parámetro no presenta correlación alguna, en ambos años de estudio.

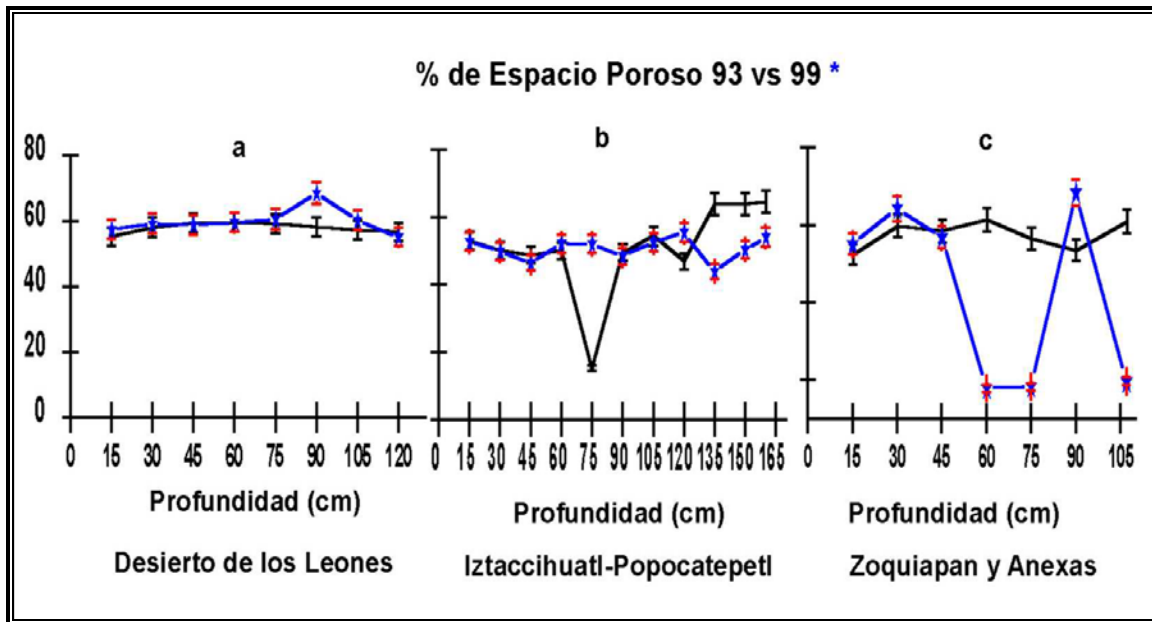


Figura 13: Porcentaje Espacio poroso.

La zona de Zoquiapan y Anexas, es la que presenta las mayores diferencias en el parámetro de % de espacio poroso, obsérvese la figura 12c, presentando una similitud con el comportamiento que se presentó en esta zona de la Densidad Real, esta reducción en el espacio poroso es debido a la acción de los horizontes superiores y también si existe una disminución del contenido de la M. O., de acuerdo con Ortiz *et al* 1980.

Ya que según la tabla 12 al existir un aumento en la D. A. Originara un decremento para el % del Espacio Poroso.

Al aplicar una prueba de Pearson a los valores de este parámetro en esta zona, no presenta correlación alguna en ambos años de estudio. Las diferencias presentadas entre estos tres parámetros infieren para que el suelo presente problemas para la penetración de raíces, reducción en la precolación del agua y el intercambio gaseoso del suelo.



### **10. 1. 5. Características Texturales.**

Los procesos de transformación química de los minerales en los horizontes A y B constituyen los minerales 2<sup>rios</sup> del suelo, denominada como meteorización edafoquímica. Las arcillas constituyen la parte fundamentalmente del suelo ya que en estas partículas se realiza en intercambio cationico. Las arcillas con Hidrógeno presentan una baja estabilidad y se descomponen liberando H<sup>+</sup> y desplazan al Al de la red cristalina, y él Al forma hidróxidos los cuales se pueden depositar entre los minerales 2:1, principalmente formando las llamadas Islas, características de los suelo ácidos.

#### **10.1. 5.1. Porciento del contenido de Arcilla.**

En la determinación del contenido de Arcilla en dos de las zonas de estudio se observa una disminución, en la zona del Desierto de los Leones y en la Zona de Zoquiapan y Anexas. Y en la zona de Iztacihualt-Popocatepetl, existen cambios pero son mínimos. En la figura 14, se observan el comportamiento en las 3 zonas de estudio

Para el suelo del Desierto de los Leones, se presentan un intervalo de 20- 23.63% para el año de 1993, en los valores de arcilla, esta conducta persiste en todo el perfil. Pero en el año de 1999, se observa una disminución en el % de arcilla en donde se presenta un intervalo de 20-23% a partir de la profundidad de 30 cm, la cual es constante en todo el resto del perfil. Ver figura 14a.

Dado que las arcillas participan en la liberación de cationes divalentes y trivalentes, son la parte fundamental del Intercambio Cationico, la disminución de estas provocada por las sustancias químicas acidificantes de la atmósfera o por las reacciones internas del suelo, origina también la disminución del % de Materia Orgánica, un aumento en el espacio poroso y dicho aumento provoca un rápido lavado de las bases de saturación contendidas en el suelo.

El decremento en el contenido en el año de 1999, puede ser originado por una degradación de estas partículas por acción de la depositación ácida, implicando un bajo intercambio cationico.

Realizando pruebas de Pearson a los valores obtenidos en este parámetro físico en 1993, se presentan correlaciones cuyos valores son de  $r^2 = -0.844, -0.911, -0.916$ , pH R, M. O. y C. I. C. respectivamente, con un nivel de significancia de 0.01. Para el año de 1999, no se presenta correlación alguna.

Para los suelos de la zona de Iztacihuatl-Popocatepetl, en el año 1999 se observan valores de incremento de 0.36 a 1.07, en las profundidades, 15, 30, 90, 105, 135 y 150, a diferencia del comportamiento homogéneo que se presenta en el año de 1993. Los incrementos en el año de 1999 en el contenido de arcillas implicaría un

fácil intercambio cationico. Resultando una alta disponibilidad de macroelemento en el suelo para los organismos vegetales y producción de Materia Orgánica, véase la figura 14b.

Aplicando una prueba de Pearson a los valores obtenidos en el año de 1993, arrojan correlaciones negativas cuyos valores son  $r^2 = -0.878$ ,  $-0.759$  y positivas  $r^2=0.841$ ,  $0.896$  pH P, M. O., pH R y la profundidad respectivamente. Para el año de 1999 no se presentan correlación alguna.

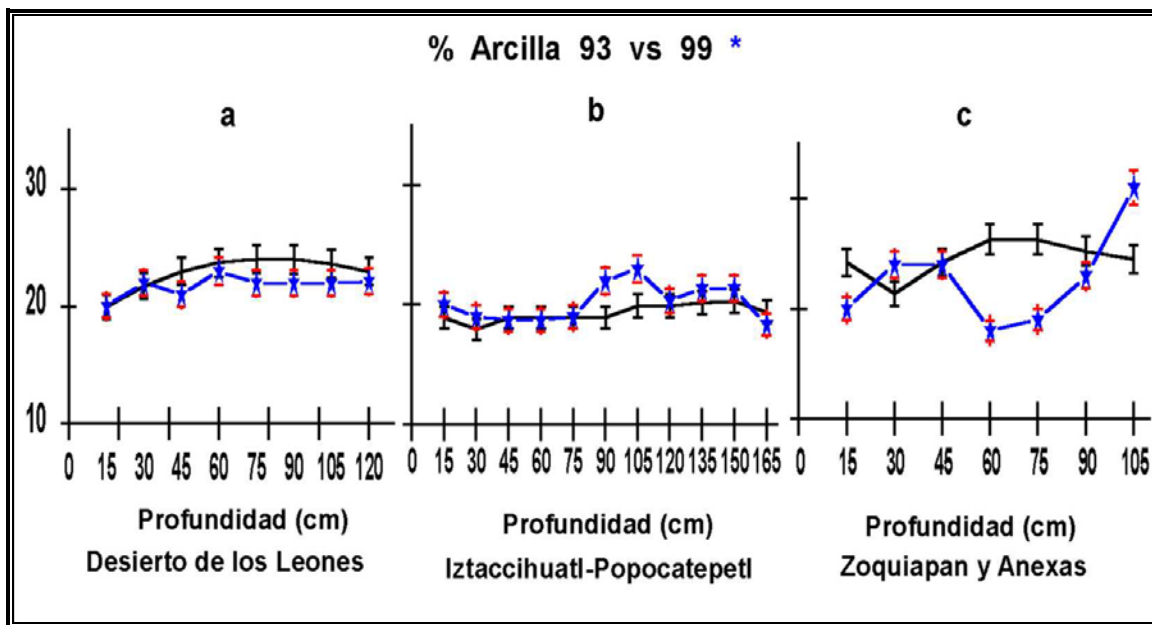


Figura 14. Porcentaje de arcilla.

La zona de Zoquiapan y Anexas es donde se presenta cambios drásticos. Se observan una tendencia a su % en el año de 1999 con respecto a 1993, en las profundidades de 30 y 105 donde puede existir una migración al interior del perfil, estas variaciones en el contenido son expuestas en la figura 14c.

También se observan importantes disminuciones en las profundidades 15, 60, 75 y 90 cm, lo cual esta relacionado con el valor del pH Real cuyo intervalo en el año de 1993 estaba de 6.8 –7.96 y disminuyo a un intervalo de 5-5.97, esto e un indicativo de una alta depositación de sustancias acidificantes en ese año y los valores del pH Potencial y Real son expuestos en las figuras 17c pagina 50 y 18c ubicada en la pagina 52.

Con la aplicación de una prueba de Pearson, resulto que este Parametros tienen una  $r^2= 0.835$ , en el año de 1999, con el pH Potencial con un valor de significancia de 0.05

Los valores de todas las correlaciones de este parámetro en las tres zonas del estudio son presentadas en la tabla se observa en la tabla (el valor puede ser observado en la tabla 19 de la Pág. 81).

### 10. 1. 5. 2. Por ciento del contenido de limo

En este parámetro se observan comportamientos similares de aumento en las zonas del Desierto de los Leones y Zoquiapan y Anexas, pero no así en la zona De Iztaccihualt-Popocatepetl.

Para la clase textural de Limo en el Desierto de los Leones, se observa un alto incremento, en el año de 1993 los valores de este parámetro oscilaban en un intervalo de 3.8 a 11, sin embargo en el año de 1999 los valores oscilaban en un intervalo totalmente diferente cuyos valores son de 9 a 14 a 1999. El comportamiento en este parámetro es inverso al de las arcillas en el año de 1999. Los diferentes contenidos porcentuales de esta partícula pueden ser apreciados en la figura 15a.

Este aumento en el contenido de limos es el resultado de la degradación del material arenoso, ya que este tipo de partícula es la que domina en esto suelo, el desgaste o meteorización es propiciado por las sustancias acidificantes depositadas en el suelo. Las cuales como ya se menciono también provoca un decremento en él % del contenido de arcillas afectando negativamente la capacidad de intercambio cationico.

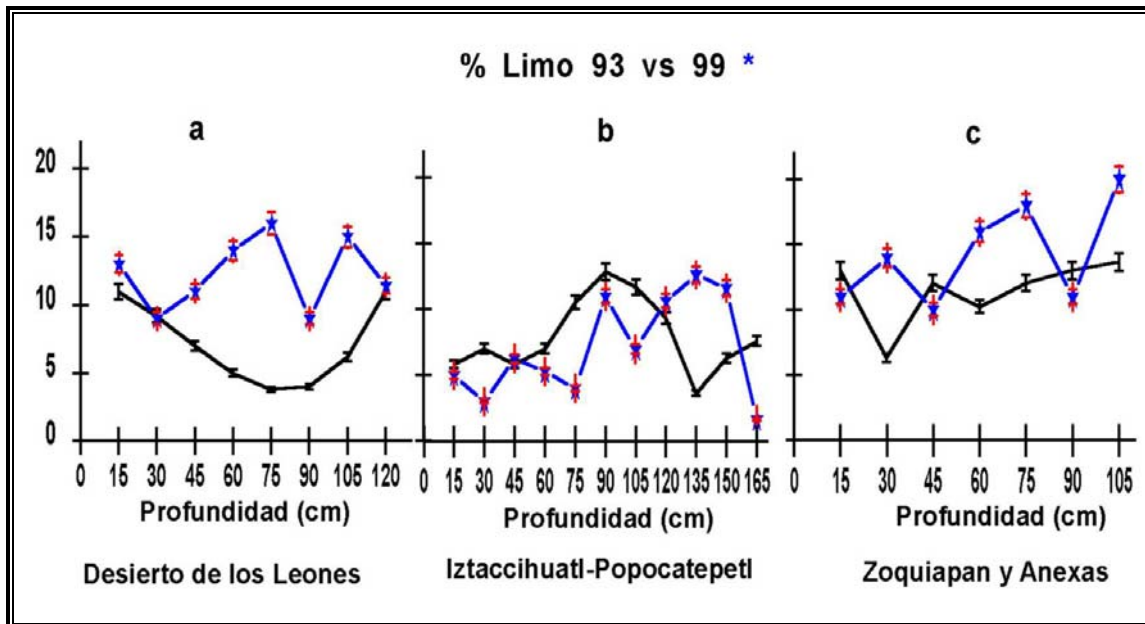


Figura 15: % de Limo en las tres zonas de estudio.

Para el Parque Nacional Iztaccihualt-Popocatepetl, en el año de 1993, se puede apreciar la migración de este material al interior del perfil, presentando una alta acumulación en las profundidades de 60-120 cm. Para el año de 1999, este comportamiento persiste, solo que se ven los efectos de la depositación ácida en la degradación de esta partícula, sin embargo se presenta un acumulamiento en las profundidades de 120 a 150 cm y posteriormente se observa una notable disminución en la última profundidad, la cual corresponde al lecho del material parental Véase la figura 15b.

Estos cambios en el contenido de limos se ven manifestada aplicando una prueba de Pearson, donde este parámetro guarda una alta correlación inversa de  $r^2 = -0.976$ , con la capacidad de intercambio catiónico en el año de 1999, cuyo nivel de significancia es de 0.01.

Respecto al Parque Natural de Zoquiapan y Anexas, se presentan notables discrepancias en el comportamiento del contenido de limo, para el año de 1993 los valores obtenidos se encontraban en un intervalo de 7-15 %, sin embargo para 1999 el intervalo de contenido fue de 10 a 20 %. Lo que sugiere que dicha partícula se incremento por acción de la degradación de las arenas, en el año de 1999. Al ser graficado los valores, se percibe que existe una migración hacia el interior del perfil. Los diversos contenidos de este parámetro se exponen en la figura 15c.

Esta zona después de la aplicación de una prueba de Pearson no presenta correlación alguna, en ambos años de estudio.

### **10. 1. 5. 3. Por ciento del contenido de Arena**

Para el % del contenido de arena en la zona del Desierto de los Leones, se observa una disminución en el año de 1999 con respecto al año de 1993, esta disminución es debida a la degradación por los incrementos en la acidez del suelo, al ser meteorizado este tipo de partícula constituyente del suelo, incrementa contenido de % de limos. Los porcentajes de arena son expuestos en la figura 16a.

Lo cual propicia que estos suelo, presenten una compactación y por ende la presencia menor de poros, impide una rápida infiltración del agua. Como se presenta en la figura 12 a.

En la aplicación de la prueba estadística de Pearson no se presento alguna correlación en los 2 años del estudio.

Un comportamiento semejante se presenta en la zona de **Iztaccihuatl-Popocatepetl**, se observa un comportamiento homogéneo en el intervalo de 15- 105 cm, pero en las profundidades posteriores de 120, 135 y 150 cm se observa una disminución en el contenido de arena, la cual es degradada por la depositación de sustancias ácidas en estos suelo.

Ya este es uno de sus efectos lo que originara que los macro poros disminuyan y se impida un adecuado drenaje en este intervalo de profundidad, esta aunque en la ultima profundidad se incrementa el contenido rebasando al año de 1993, esto porque dicho horizonte es el más cercano al lecho rocoso. Como se observa en la figura 16b.

Después de la aplicación de la prueba de Pearson no arrojó correlación alguna para ambos años de estudio.

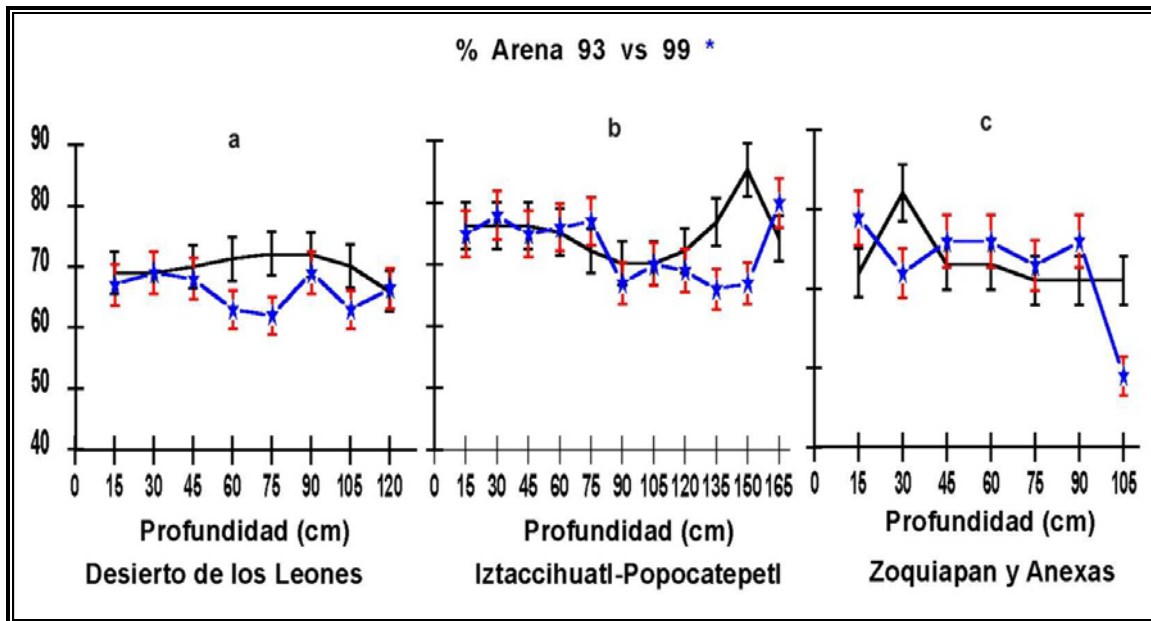


Figura 16: % de Arena en las tres zonas de estudio.

En lo que respecta a la zona de Zoquiapan y Anexas, en el año de 1999 se presenta pequeños incrementos en el contenido de arena en las profundidades de 45, 60, 75 y 90 cm, lo que origina un mayor contenido de los macroporos permitiendo un buen drenaje en este año en esta zona. Lo que podría resultar en un mayor efecto de lavado.

También se presentan disminuciones de este porcentaje en los 30 y especialmente en los 105 cm esto principalmente para esta profundidad ya que es la capa más cercana al lecho rocoso, obsérvese la figura 16c.

Realizando la aplicación de la prueba estadística de Pearson para ambos años de estudio solo en el año de 1999, se presento una alta  $r^2 = -0.940$  con el parámetro de pH Real, con un nivel de significancia de 0.01. Los valores de las correlaciones para las 3 zonas de estudio son expuestos en la tabla 18 de la pagina 78.

## 11. Clasificación del suelo por sus clases Texturales de las zonas de estudio.

La determinación de cada uno de los componentes del suelo permite la clasificación de los tipos de suelo en razón de sus clases Texturales, para el Desierto de los Leones se observa una clase franco –arcilloso-arenoso, en la tabla 12 y se aprecia una homogeneidad entre ambos perfiles de los diferentes años de estudio, así como una igualdad en los colores del suelo.

Destacando que no se percibió ningún cambio en las clase Texturales, en las diversas profundidades que componen ambos perfiles en los respectivos años de estudio, 1993 vs. 1999. Así como en el color

Tabla 12: Clasificación del suelo del Parque Nacional del Desierto de los Leones

Profundidad	COLOR 93	COLOR 99	Clase Textural 93	Clase Textural 99
15	10YR2/2	10YR2/2	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
30	10YR3/2	10YR3/2	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
45	10YR3/3	10YR3/2	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
60	10YR5/3	10YR3/3	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
75	10YR5/4	10YR3/4	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
90	10YR5/5	10YR3/5	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
105	7.5YR3/4	7.5YR3/4	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
120	7.5YR3/5	7.5YR3/3	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso

Para la zona de **Iztaccihuatl-Popocatepetl** (tabla 13), se observa la clasificación textural de acuerdo con el contenido de cada uno de las partículas componentes del suelo de esta zona.

Tabla 13: Clasificación del suelo del Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl

Profundidad	COLOR 93	COLOR 99	Clase Textural 93	Clase Textural 99
15	10YR2/1	5YR2.5/1	Franco-arenoso	Franco-arcillo-arenosa
30	5YR2.5/1	10YR3/1	Franco-arenoso	Franco-arenoso
45	5YR2.5/2	10YR3/2	Franco-arenoso	Franco-arcilloso
60	5YR2.5/3	5YR2.5/1	Franco-arenoso	Franco-arcilloso
75	5YR2.5/4	5YR3/1	Franco-arenoso	Franco-arcilloso- arenoso
90	10YR2/1	10YR2/1	Franco-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
105	2.5R3/2	2.5Y2/6	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
120	2.5R3/3	10YR3/2	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
135	10YR2/1	10YR3/3	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
150	10YR2/2	10YR2/2	Franco-arcilloso-arenoso	Franco-arcilloso-arenoso
165	5YR3/1	5YR3/1	Franco-arenoso	Franco-arenoso

Se presentaron cambios en el año de 1999, de franco-arcilloso –arenoso en 1993 a franco arenoso, en 1999, aun cuando este cambio, no se observo en todos las profundidades. Podemos atestiguar que en dichos cambios, son desplazadas las

arcillas de estas profundidades. De acuerdo con Ortiz, 1977, los cambios notables de la clase textural de esta zona indica que se trata de un suelo realmente joven.

Para la zona de **Zoquiapan y Anexas**, no se observan cambios en las clases Texturales durante los años de este estudio. Lo cual puede ser apreciado en la tabla 14.

Tabla 14: Clasificación del suelo de del Parque Nacional de Zoquiapan y anexas.

Profundidad	COLOR 93	COLOR 99	Clase Textural 93	Clase Textural 99
15	10YR2/2	10YR2/2	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa
30	10YR3/2	10YR3/2	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa
45	10YR3/3	10YR3/2	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa
60	10YR5/3	10YR3/3	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa
75	10YR5/4	10YR3/4	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa
90	10YR5/5	10YR3/5	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa
105	7.5YR3/4	7.5YR3/4	franco-arcillosa-arenosa	franco-arcillosa-arenosa

El análisis mecánico del suelo nos puede indicar de una manera discreta la meteorización de los suelos forestales provocada por las diversas actividades antropogenicas. Y como estas aceleran en sumo grado los procesos Naturales.

Los cambios en las propiedades físicas de un suelo forestal, de manara natural se llevan a cabo en periodos de tiempo muy largos. Pero cuando estos cambios se llevan acabo en periodos de tiempo realmente cortos, se reflejan los efectos de las actividades del ser humano.

En este estudio se pudo apreciar los cambios en las propiedades físicas como la D. A, D. R., % de arcillas y las clases Texturales, en un periodo de tiempo realmente corto (6 años). Estos cambios son los resultados de los efectos de la depositación ácido proveniente de la atmósfera, este deposito acelera los procesos de meteorización permitiendo de esta forma una mayor infiltración del agua, incrementando el lavado de nutrientes inmersos en el suelo, necesarios para los árboles.

Esta mayor infiltración del agua en conjunción con las sustancias contaminantes, como ácido inorgánicos y orgánicos, entre algunas sustancias, puede acelerar el intercambio de iones a una escala molecular y permitir de esta forma su permanencia por mas tiempo, en los espacios intermoleculares.

Este aceleramiento en el intercambio cationico propicia un desplazamiento de iones di y trivalentes de las laminas de las arcillas, liberando H<sup>+</sup> de las uniones de OH rompiendo con las fuerzas de Van der Walls.

La formación del suelo es unos procesos sumamente lento y este estará en función del tipo de factores formadores, de cada suelo. El Material parental, clima organismos, topografía y tiempo.

El Material parental heredara al suelo las característica químicas y físicas constituyentes, los cuales ocurren como ya se menciono de forma lenta. Pero las actividades antropogenicas han acelerado este proceso. La adición al suelo de sustancias acidificante, degrada y descomponen las partículas del suelo.

Las arcillas son las primeras en ser afectadas, las cuales tienen un rol importantísimo en las reacciones del Intercambio Cationico (CIC). Los iones Hidroneos  $H^+$ , saturan el complejo arcilloso y desplazan a los cationes básicos en orden de importancia  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ . La arena es la segunda partícula en ser descompuesta, la cual origina partículas más pequeñas los limos. Originando aumentos en el espacio poroso la que facilita el lavado de estos cationes básico.

Los desgastes en las diversas partículas que constituyen al suelo, originan una mayor densidad la cual tienen como resultado una compactación, la cual impedirá la penetración de las raíces de los árboles.



## 12. Parámetros Químicos.

El **SEI** (Stockholm Environment Institute) determino tres parámetros para la determinación de la acidificación de los ecosistemas terrestres, a saber el valor de pH, el por % de Saturación de Bases, la Capacidad de Intercambio Cationico. Estas son auxiliares y ayudan a determinar si las condiciones químicas de suelo han sido modificadas en un intervalo de tiempo.

### 12. 1. pH potencial de las 3 zonas de estudio.

El **Parque Nacional Desierto de los Leones**, a sido estudiado por diversos investigadores (Ciesla *et. al.* 1987; Skelly, 1997; Alvarado *et al* 1992, Castro *et al* 1997; Miller *et al* 1994), de todos ellos solo Castro *et al.*1997, presenta estudios que se refieren al material edáfico, aunque en este estudio solo se realizo para los horizontes superficiales 0-15 y 15-30 cm.

En los resultados de las determinaciones, se observo que los valores de **pH Potencial** en el año de 1993 presentan un comportamiento homogéneo, en todo el perfil, con un valor de intervalo que oscila de 5.08 a 5.19. Pero para el año de 1999, el comportamiento fue muy distinto ya que se presenta un comportamiento ascendente conforme se incrementa la profundidad del perfil. Originándose un aumento en el valor del intervalo es de 4.91 a 6.05. observase la figura 17a.

El incremento del valor de pH es originado por una alta depositación de los cationes básicos proveniente de la atmósfera y migración de estos a través del perfil en el suelo, obsérvese las figuras de los Cationes figura 19a pagina 56; figura 20a pagina 58; figura 21a pagina 61 y figura 22a pagina 63

Después de la aplicación de una prueba de Pearson en ambos años del estudio, en 1993, se obtuvieron altas correlaciones negativas con los parámetros de M.O., la profundidad y con C. I. C. Pero para el año de 1999, se presento un comportamiento con altas correlaciones positivas con pH R y la profundidad. También presenta una alta correlación negativa con la M. O.

Todas ellas con un nivel de significancia de 0.01. Todos los valores de estas correlaciones se representan en la tabla 19 pagina 81.

Para la zona de Iztaccihuatl-Popocatepetl, en la Figura 17b se observan cambios significativos en esta zona. En la determinación de los valores del pH Potencial, en el año de 1993, se observa un decremento del valor de este parámetro conforme aumenta la profundidad. Para el año de 1999, se observa un comportamiento oscilatorio en el comportamiento de la grafica, pero si existe una disminución en los valores de este parámetro en el año de 1999, con referencia al año de 1993, en todos los horizontes del perfil.

Esta disminución en el valor del pH es debida por la disminución de todos los cationes contenidos en el suelo, en el año de 1999, obsérvese las figuras 19a pagina 56; figura 20a pagina 58; figura 21a pagina 61 y figura 22a pagina 63. Donde esta perdida origina que dicho suelo tenga una capacidad pobre de amortiguamiento para las sustancias acidificante provenientes del deposito atmosférico y de los procesos internos del suelo. Ya que este año en esta zona se observa un incremento de la materia orgánica, y los procesos de descomposición originan la formación de ácidos húmicos y flúvicos.

Uno de los efectos de esta disminución del valor del pH R, es una mayor solubilidad y una potencial toxicidad de los elementos traza contenidos en el suelo. (Davies, 1994 in Farago 1994)

Después de la aplicación de una prueba de Pearson en el año de 1993, se obtuvo una correlación positiva con la M.O., lo que indica que existe una relación directamente proporcional. Y una negativa con la profundidad siendo esta una relación inversamente proporcional, ambas tienen un nivel de significancia de 0.01.

Para el año de 1999 no se presenta correlación alguna. Los valores de las correlaciones son expuestos en la tabla 19 pagina 81.

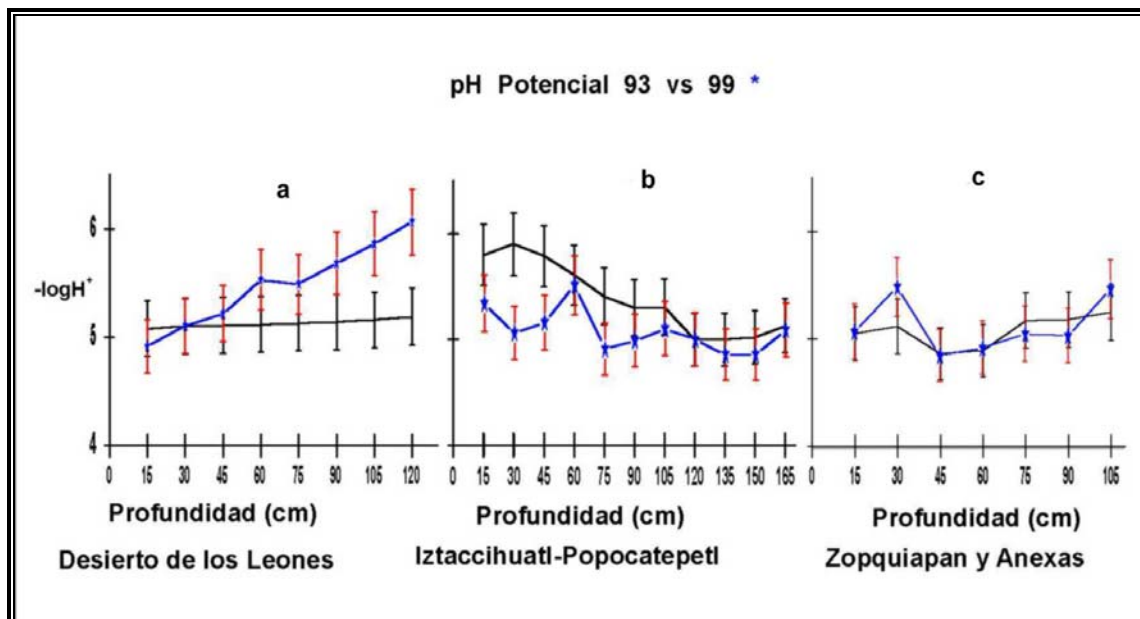


Figura 17: pH Potencial en las 3 zonas de estudio.

Por lo que respecta para la zona de **Zoquiapan y Anexas**, él en año de 1993, el parámetro de pH Potencial, muestran un comportamiento oscilatorio con pocas variaciones teniendo el intervalo de acción de 4.86 a 5.25 ya que los cambios son mínimos. Para el año de 1999, se presenta una disminución del pH P, con excepción de la profundidad de 30 y 105 cm 90, en las en las lecturas de los cationes en esas

profundidades se obtuvieron concentraciones superiores al año de 1993, como se ilustra en la figura 17c.

Aplicando una prueba de Pearson a ambos años no se presentaron arrojaron correlaciones.

## **12. 2. pH Real en las 3 zonas del estudio**

Los resultados de las determinaciones en esta zona del parámetro de pH Real, en el año de 1993 se observan un comportamiento inversamente proporcional ya que mientras aumenta la profundidad el valor del parámetro disminuye. Lo que indica que en ese año existía en el suelo en las capas superiores una adecuada capacidad de amortiguamiento.

Para el año de 1999, este comportamiento es totalmente inverso, siendo este directamente proporcional lo que indica que mientras aumenta la profundidad el valor del parámetro aumenta, lo que indica que existe un lavado de cationes los cuales son desplazados hacia horizontes de mayor profundidad, siendo este la causa del cambio respecto a los años. Véase la figura 18a.

Al aplicar una prueba de Pearson en los valores del año de 1993 arrojé dos tipos de correlaciones, positivas para M. O. y C. I. C. , negativas para profundidad y el pH Potencial, todas las correlaciones tienen un valor de significancia de 0.01. Para el año de 1999, se obtuvieron una correlación positiva con la profundidad y otra negativa con la M. O., ambas con un valor de significancia de 0.01. Los valores de estas correlaciones son observados en la tabla 19 página 81.

Para la zona de **Iztaccihualt-Popocatepetl**, en el año de 1993, este parámetro presenta un comportamiento ascendente con la profundidad, Teniendo un amplio intervalo de acción el cual va desde 6.8 hasta 7.96. Indicando que existe un adecuado suministro de cationes derivados del material parental.

Pero en el año de 1999, se observa un notable decremento en las lecturas de este parámetro, reduciendo el intervalo de acción el cual va desde 5 a 5.88. Lo cual puede ser dividido a que se presenta un lavamiento de los cationes de los horizontes superiores hacia estratos inferiores, Obsérvese las figuras 19b página 56; figura 20b página 58; figura 21b página 61 y figura 22b página 66. En la figura 18b se observa el comportamiento de estos parámetros, en el perfil de ambos años de estudio.

Después de una prueba de Pearson, este parámetro presento en el año de 1993, altas correlaciones dos tipos, positivas la para profundidad y negativas para la Materia Orgánica, con valores de significancia de 0.01 para ambas correlaciones. Para el año de 1999, solo se presento una correlación negativa, con un valor de significancia de 0.05 para la Materia Orgánica. Los valores de las correlaciones de esta zona son observadas en la tabla 19 página 81.

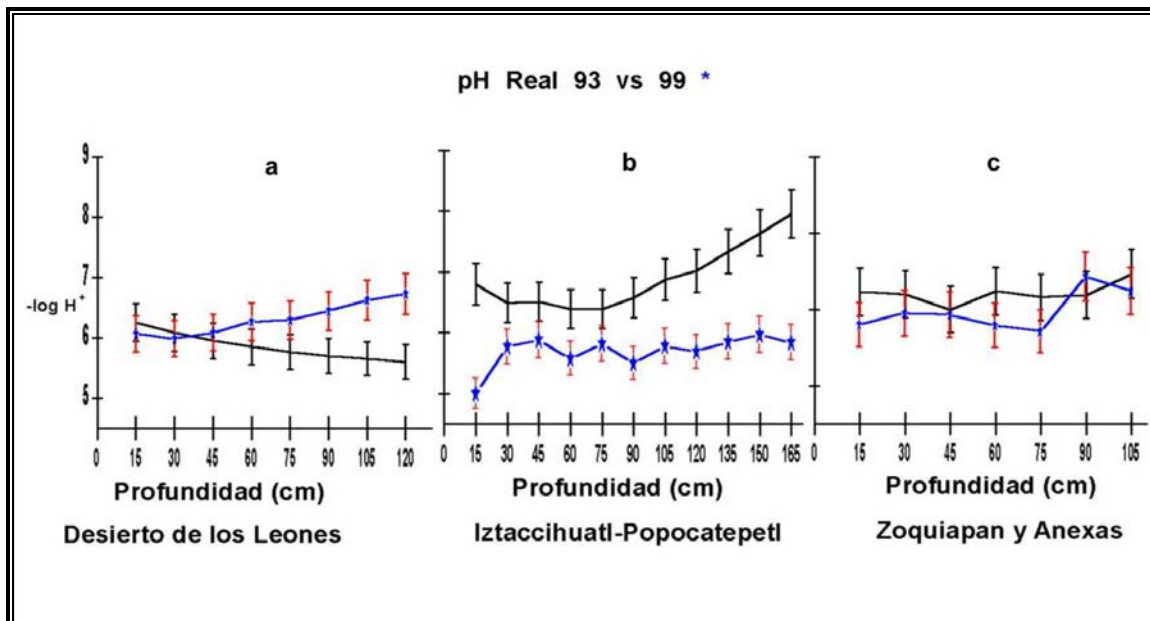


Figura 18: pH Real en las 3 zonas de estudio.

La zona de **Zoquiapan y Anexas**, es la que presenta una menor variación en la determinación del valor del pH Real. En el año de 1993 se observa un comportamiento un intervalo cuyos valores están de 6 a 6.47, siendo menor de 0.5 dicho intervalo.

Para el año de 1999, se presenta un decremento en este valor en casi todas las profundidades a excepción de la profundidad de 90 cm, cuyo valor sobrepasa por 0.24 a la lectura del año de 1993, esto por que se presenta una acumulación de los cationes Ca, K, Na, los cuales ocasionan dicho incremento, obsérvese las figuras 19c pagina 56; 20c pagina 58; 21c pagina 61 y 22c pagina 63.

Los diferentes comportamiento de este parámetro en los 2 años del estudio se observan en la figura 18c.

Realizando una prueba de Pearson a los valores de esta zona no se presentaron correlaciones en ninguno de los 2 años del estudio

De acuerdo con Elliott (1986), menciona que los valores bajos de pH son un factor determinantes en la solubilidad de los los elementos metálicos en el suelo. El decremento en el valor del pH en la zona del desierto en los diferentes años de estudio. Originan condiciones, favorables para que se presente un intercambio de iones de hidrogeno por aluminio, desplazando al magnesio por lo que este elemento tiende a decaer en los horizontes superficiales, pero esta en altas concentraciones en los últimos horizontes del perfil del año 1999.

### 12. 3. Clasificación de los suelos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana en función de los Valores del pH.

La Norma oficial Mexicana (NOM) Noe-021-RECNAT-2000, propone una tabla para la clasificación de los suelos.

Tabla 15 Clasificación de el suelo de acuerdo con el valor de pH.

Clasificación	Valor del pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

De acuerdo con los resultados de la lectura de este parámetro en las tres zonas de estudio.

El suelo del **Parque Nacional del Desierto de los Leones** se clasifica como:

Año de 1993	Año de 1999
Moderadamente ácido	Moderadamente ácido

Aunque se debe de mencionar que existe una lavado de cationes básico hacia el interior del perfil en el año de 1999, lo que ocasiona que la lectura de este parámetro en ese año sé mayor que él en año de 1993.

Para el suelo del **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, se clasifica:

Año de 1993	Año de 1999
Neutro	Fuertemente ácido para la profundidad de 15 cm y Moderadamente ácido para los horizonte posteriores.

Esta zona es la que presenta el cambio más notorio por efecto de la depositación ácida, ya que se obtuvieron lecturas inferiores en todo el perfil del año de 1999 con respecto al año de 1993.

Para la zona del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, se clasifica:

Año de 1993	Año de 1999
Moderadamente ácido.	Moderadamente ácido.

Aunque en esta zona si se observa una disminución, en los valores de este parámetro en todo el perfil del año de 1999 con respecto al año de 1993.

## 13. Contenido del porcentaje de Saturación de Bases

La capacidad natural de amortiguamiento o mejor conocida como efecto buffer que posee el suelo, estará determinando por el contenido de las bases de saturación(  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ).

### 13. 1. El catión Ca.

El Calcio es catión intercambiable predominante en los suelos ácidos así como en los calcáreos, cuando existe una acumulación interna o externa del Ion Hidronio en el suelo, se dice que ha sufrido una acidificación. Los iones  $\text{H}^+$  Compiten con los cationes de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}$ , y  $\text{Na}$ . Estos son desplazados del complejo de intercambio y son lixiviados a horizontes más profundos. Por lo cual se observa una disminución en la concentración de las bases de saturación y una paulatina disminución del valor de pH en el suelo. (Fassbender,1987; Fuentes, 1999; Ortiz *et. al.* 1980; Buckman *et. al.* 1985)

El calcio en el suelo puede estar presente en diversas formas formando compuestos orgánicos e inorgánicos, y en forma de catión  $\text{Ca}^{++}$  el cual se encuentra en la solución del suelo absorbido al complejo de cambio, en donde juega una excelente misión floculante. Como ya se menciona el calcio es el catión predominante en el complejo de cambio representando hasta el 90% de la capacidad de intercambio cationico.

Diversas son las funciones que tienen este catión en la vegetación de entre las cuales se encuentra según Ortiz *et. al.* 1980.

- Constituyentes de las paredes celulares.
- Promueve el desarrollo de las raíces.
- Neutraliza los ácidos orgánicos.
- Activa los puntos de desarrollo esencialmente las puntas de las raíces.
- Intervienen en la absorción de otros nutrientes en la vegetación especialmente del N.
- Fomente la producción de semillas

Por estas funciones es de gran importancia conocer las concentraciones de este catión en el suelo ya que los efectos no solo repercutirían en el suelo sino también en la vegetación y en la absorción de agua..

Al graficar los valores del contenido del Catión  $\text{Ca}^{++}$  en el suelo de las diferentes zonas del estudio se observo que existen una disminución en la concentración de registrada para el año de 1993 y 1999.

En el **Parque Nacional del Desierto de los Leones** se observa una marcada disminución del catión de  $\text{Ca}^{++}$  en el año de 1999 con respecto al año de 1993, pero

se observo un comportamiento inverso entre estos 2 año, figura 18 a. En el año de 1999, se presentan altas concentraciones en diversas profundidades de acuerdo con la grafica 19a, a los 60 cm cuyo origen es el lavado de los horizontes superficiales y otra de la profundidad en la de 105 cm, evidenciando una migración y acumulaciones de este ion a profundidades internas del perfil del año de 1999.

Lo cual según Egli (1999), Buchan (1985) y Ortiz (1980) es el resultado de un lavado de los horizonte superficiales, siendo un factor indicativo de una acidificación del suelo, lo cual también se refleja en la disminución del contenido de arcilla, ya que el catión calcio es predominante en el complejo arcilloso y uno de los efectos de la acidificación es la degradación de las arcillas. (Ortiz *et. al.*1980; Klein *et. al.* 1987)

Este catión es fundamental para la oxidación del ión Amonio, es necesario que los niveles sean óptimos. Los cuales en el año de 1999, se presenta una deficiencia lo que provoca que exista un incremento en el contenido de este ión, en el suelo de esta zona. Obsérvese la figura 25 de la pagina 72. (Buckman *et. al.* 1985)

Al aplicar una prueba de Pearson este catión en el año de 1993, presenta una alta  $r^2 = -0.757$  con pH potencial, con un nivel de significancia de 0.01, y una  $r^2 = 0.711$  con pH R y una presenta una  $r^2 = -0.814$  con la profundidad donde el nivel de significancia es de 0.05. Este comportamiento es totalmente diferente para el año de 1999, ya que no se presenta correlación alguna.

La cuantificación de este catión en el suelo del **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, arroja altas concentraciones en el contenido de este catión, en comparación con las concentraciones resultantes de los suelos del **Desierto de los Leones y Zoquiapan**. Para el año de 1993 se presentaron altas concentraciones en la profundidad de 15 cm, posiblemente derivada de la depositación atmosférica y en los 165 cm la cual puede ser producto de una migración y su consecuente acumulación, con respecto al año de 1999,

Para el año de 1999, se presenta un comportamiento casi homogéneo, para el año de 1999. Aunque se presentan disminuciones en la concentración de este catión en algunas profundidades (15, 135, 150 y 165 cm) de este parque en el perfil del año de 1999 y una pequeña acumulación en la profundidad de 90 cm, con respecto al año de 1993. Obsérvese la figura 19b.

Una de las disminuciones de Calcio puede ser atribuida a la acumulación de la Materia Orgánica, ya que es una fuente de este catión. Al no ser degradados los desechos de la vegetación, no se encuentran disponibles en el suelo. Véase la figura 24, pagina 70.

Dado que los cationes de calcio están en equilibrio constante con los cationes de calcio libres, y al existir un déficit de este catión y un reemplazo por los iones Hidronios, los cationes de calcio del complejo pasa a la solución del suelo y se pierden fácilmente por el lavado, la cual provoca la disminución de los valores de pH

Potencial y Real, (Fuentes, 1999). véase la figura 17b pagina 50 y figura 18 pagina 52.

Aplicando pruebas de Pearson, para los valores obtenidos en el año de 1993, arrojó una  $r^2=0.773$ , con un nivel de significancia de 0.01. Para el año de 1999, se obtuvo una  $r^2= -0.801$  negativa con significancia de 0.01, con el pH R y una  $r^2= 0.701$  positiva con el pH Real. Lo que indica que a medida que se incrementa el valor en el contenido de Calcio, repercute de manera inversa en el valor del pH Real.

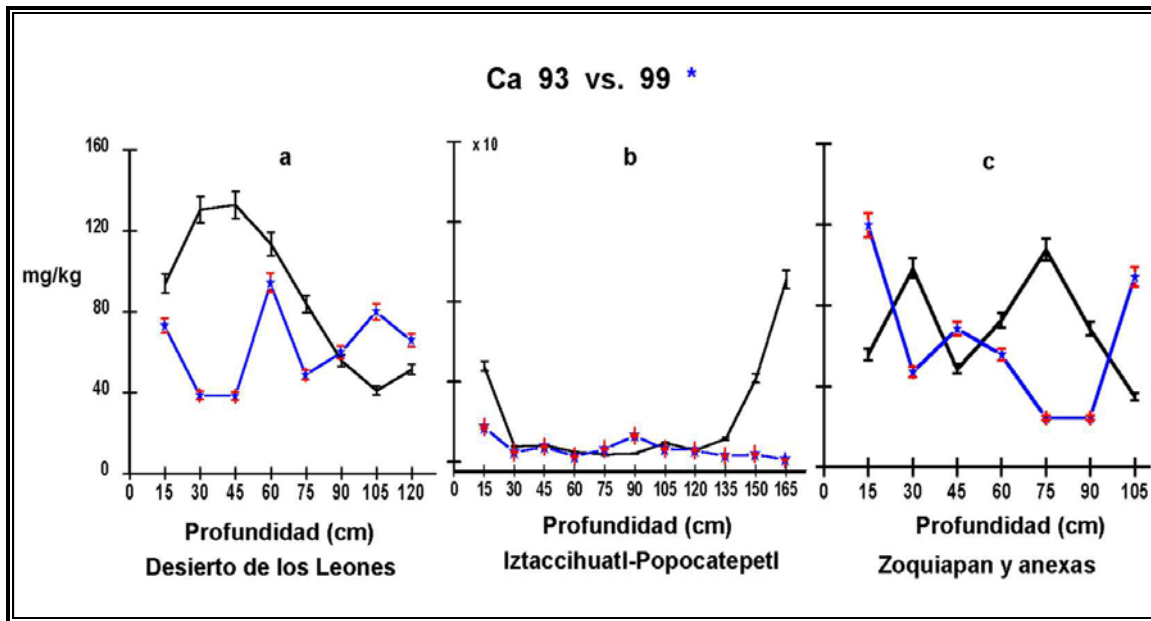


Figura 19: Contenido de Ca en las 3 zona de estudio

EL suelo de este **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas** parque presenta un comportamiento inverso en los 2 años de estudio. Esto es determinado por los valores de pH, para el año de 1993, se presentan altos valores de concentración en las profundidades de 30 y 75 cm, esto como la meteorización del material parental lo que indica una movilidad de este catión a profundidades superiores.

Para el año de 1999 el incremento de iones Hidronio, producen un desplazamiento de este catión a profundidades mayores, modificando el valor del pH Real en esas profundidades, lo cual puede ser observado en la figura, 18c pagina 52. En este año, se presenta una disminución de M. O., esto es debido a que se presenta en la primera capa o en el horizonte orgánico una adecuada concentraciones de este catión lo cual favorece dicho proceso degradativo.

Una optima concentración de este catión en el suelo favorecerá las condiciones para la transformación y oxidación de los iones Amonio En esta zona de manera semejante a las anteriores este catión es desplazado hacia estratos interiores del perfil. Al aplicar la prueba de Pearson, esta zona no presenta correlación alguna.



### 13. 2. El catión Mg.

El Mg es el segundo catión metálico en importancia dentro del complejo de intercambio de las arcillas, se encuentra en formas solubles e insolubles en el suelo. En las primeras en formas de silicatos son muy abundantes, la transformación a formas solubles dependerá de la acción degradadora de los los agentes atmosféricos la cual es muy lenta.

El magnesio se encuentra libre en la solución del suelo y es absorbido al complejo de cambio. La energía con la que es retenido es pequeña por lo que es fácilmente desplazado por la acción de lavado, es por ello que en los suelo ácidos o con un exceso de Ca o Na, la absorción por las plantas es difícil y más si existe una adición de iones  $H^+$  ( Fuentes, 1999). Algunas de las funciones del Mn, se mencionen a continuación, según Ortiz *et. al.* 1980.

- Constituyente de la clorofila, dando un color verde a la vegetación.
- Regula la absorción de otros nutrientes.
- Actúa como portador del P.

Una adecuada concentración de este catión en el contenido del suelo, sé vera manifestada en la salud del bosque.

En general el magnesio es esencial para todos los organismos. Este elemento proviene del lavamiento de la roca, del spray del mar y fertilizantes. La mayor producción de magnesio se hace por extracción del agua de mar. El átomo de magnesio es importante en la fotosíntesis.

La deficiencia de este elemento en el suelo( en suelos forestales con deposito ácido) provoca clorosis en las plantas. La deficiencia de magnesio generalmente ocurre cuando el Mg intercambiable cae por debajo del 5% del total de CIC.(Reimann 1998; País, 1997)

Al graficar las lecturas del contenido de este catión en el suelo del **Parque Nacional del Desierto de los Leones** en el año de 1993, se observan, altos contenidos de este catión en los horizontes minerales, lo cual favorecería la asimilación por la vegetación. Pero no así en el año de 1999, donde se observa una drástica disminución de este catión en el suelo, y una gran acumulación en los últimos estratos del perfil en ese año. Véase la figura 20a.

Dado que este catión es fácilmente lavado y también fácilmente desplazado del complejo de cambio por el Ion Hidronio. Esta acumulación en los estratos inferiores lo hace no disponibles para la vegetación, perdiendo el color verde e impidiendo una adecuada fotosíntesis. Lo cual fue observado en los bosques del sur de Alemania donde de observo una drástica disminución del follaje de los árboles. ( Howells, 1990; Klein,1980 )

Después de la aplicación de pruebas de Pearson a este Elemento en los dos años del estudio arrojaron los siguientes resultados. Para el año de 1993, no se presentó correlación alguna. Pero en el año de 1999, se presentaron  $r^2 = 0.926, 0.954, 0.747$  correlaciones positivas con pH potencial, con el pH Real y con la profundidad, respectivamente con una significancia de 0.01, lo que indica que a medida que una se incrementa el otro parámetro también. Pero también se observa un comportamiento inverso con  $r^2 = -0.913, -0.713$  para con M. O. y el CIC, con una significancia de 0.01 y 0.05, respectivamente.

Para el suelo del **Parque de Iztaccihualt-Popocatepetl** también se observó una disminución en el contenido de este catión en año de 1999. Aunque las concentraciones son homogéneas, con excepción del horizonte orgánico donde se observan altas concentraciones, posiblemente derivadas de la depositación atmosférica. Figura 20b.

Esta disminución también está influenciada por un decremento en el valor del pH Real y el consecuente desplazo de este catión por el Ion  $H^+$  (véase la figura 18b página 52) y por una alta acumulación de M. O. en el suelo de esta zona, la cual al no ser degradada, este elemento que inactivo para su reutilización, observase la figura 24b Pág. 70.

Aplicándole la prueba de Pearson esta zona en el año 1993, solo presentó una  $r^2 = 0.614$  con pH R con un nivel de significancia de 0.05. Pero para el año de 1999, no se presenta correlación alguna.

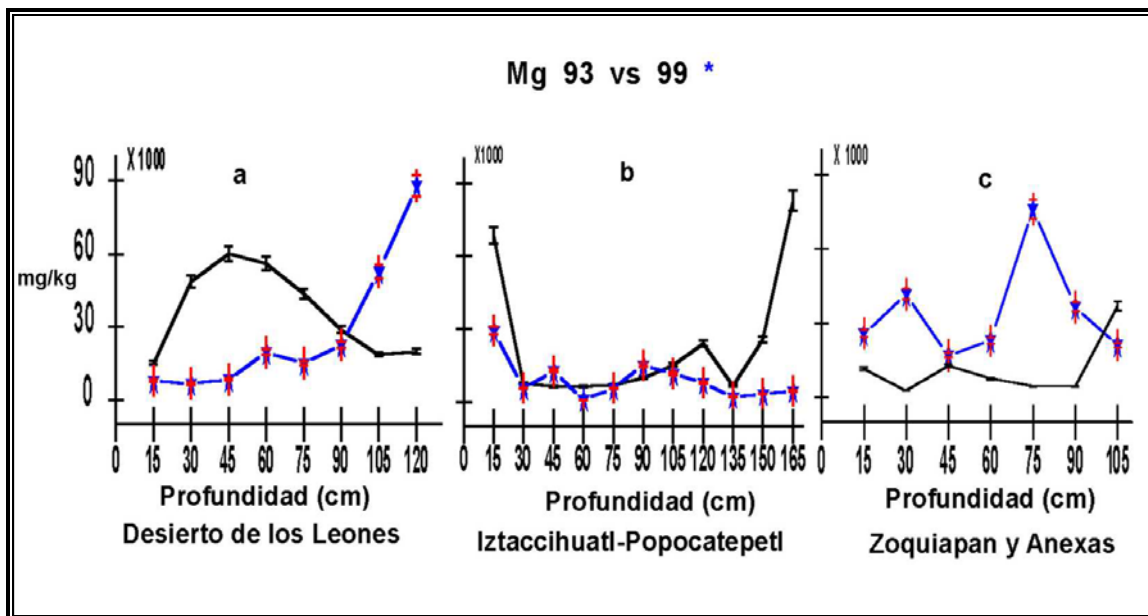


Figura 20: Contenido de Mg de las 3 zona de estudio

La mayoría de los suelos forestales contienen adecuadas concentraciones de este elemento para asegurar un adecuado desarrollo de los árboles. Sin embargo como se menciono anteriormente este actino es fácilmente removido del complejo de cambio por acción del lavado. Dado que este catión es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila y es un elemento esencial para la fotosíntesis.

Cuando se presenta una deficiencia en el contenido de este elemento en el suelo, los síntomas que se presentan son una perdida del color verde a un color amarillo, afectando las hojas más antiguas y provocan la perdida de follaje en el árbol.  
( Pritchett 1991)

En el suelo del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, es la zona que presenta las más altas concentraciones en el año de 1999, de este catión en el material edáfico con respecto al año de 1993, los valores de las diferentes concentraciones de este catión en cada una de las profundidades que componen el perfil son expuestas en la figura 19c, lo cual implicaría una excelente disponibilidad para los requerimientos de la vegetación.

Este alto contenido se debe a que los valores de pH Real no tienen drásticos cambios. Véase la figura 18c pagina 52.

Aplicando la prueba de Pearson, para el año de 1993 no se presentó correlación alguna. Y solo para el año de 1999 se presenta una  $r^2=0.947$  con una significancia de 0.01 con el pH Potencial en el año de 1999.

### 13. 3. El catión k.

De acuerdo con Buckman *et. al.* (1985), en los suelos minerales el Potasio puede encontrarse en tres formas de acuerdo con su aprovechamiento.

En primer término se encuentra el **Potasio no Aprovechable**. La mayor parte ( aproximadamente del 90 al 98%) se encuentra en esta forma. Compuestos como los feldespatos y las micas contienen una alta cantidad de este elemento, pero debido a que estos minerales presentan una alta resistencia a la intemperie, proporcionan gradualmente pequeñas cantidades de potasio aprovechable el cual se encuentra en la solución del suelo.

En segundo término se encuentran el Potasio rápidamente asimilable o aprovechable, esta forma de catión se encuentra en el suelo alrededor del 1-2%. Presentándose en el suelo de dos formas.

- El potasio en las soluciones del suelo.
- El que es absorbido por los coloides del suelo.

Este catión también como el Calcio y el Magnesio esta sujeto a la acción de lavado por lo cual es lixiviado a profundidades mayores. La importancia de la presencia de concentraciones adecuadas en el suelo determinara ciertas características en la vegetación, del sitio en cuestión. Ya que tiene las siguientes funciones, Imparte vigor y resistencia en la vegetación para enfermedades, Aumenta el tamaño de semillas, Ayuda a la formación de proteínas, regula las condiciones del agua en la pared celular y sirve como acelerador de la acción de las enzimas.(Ortiz *et. al.* 1980; Pritchett,1991).

Por otro lado las fuentes proveedoras de K son los fertilizantes, viento que trae partículas. Es importante para el sistema nervioso, enriquecimiento en plantas

En el suelo del **Parque Nacional Desierto de los Leones**, este catión presenta una disminución en su contenido en el año de 1999 con respecto al año de 1993, de igual manera como el Calcio y el Magnesio. En año de 1999 en los horizontes superficiales se presentan concentraciones bajas, con respecto al año de 1993. Pero se puede observar un notable incremento en los horizontes de mayor profundidad, véase augura 21a.

Esto también puede reflejarse en las lecturas de pH donde a mayores profundidades el valor de pH es mayor. Dado que este catión también es desplazado por la acción del H<sup>+</sup> y por acción del lavado, obsérvese las figuras 17a de pH Potencial pagina 50 y Real 18a pagina 52. Este catión es de tercer importancia en el complejo de intercambio, pero de acuerdo con las funciones que tiene una adecuado concentración en el suelo sé vera reflejada en la salud de la vegetación.

Al aplicar una prueba estadística de Pearson se obtuvieron los siguientes resultados, para el año de 1993 solo presento una correlación negativa  $r^2=-0.766$  con la profundidad, lo que indica que a medida que aumenta la profundidad se incrementa el contenido de Potasio en el suelo esto por el efecto de arrastre o lixiviación.

Aplicando la misma prueba estadística para el año de 1999, se obtuvieron correlaciones positivas con  $r^2=0.831, 0.821, 0.897$  los Parametros de pH potencial, pH Real y la profundidad Lo cual dice que a medida que una aumente el contenido de este lón aumenta. Y dos correlaciones negativas  $r^2= -0.804, -0.794$  con la M. O. y el CIC, lo que indica que a medida que aumenta en contenido de este catión monovalente estos dos parámetros actúan de manera inversa.

Al establecer la correlación entre las variables pH potencial vs. M. O., CIC, y Profundidad en el Desierto de los Leones para 1993. Se probó tener una correlación alta con sus similares del año de 1999, los valores de las correlaciones son expuestos en la tabla19 pagina 81, con respecto al suelo de las zonas de Iztaccihuatl y Zoquiapan las cuales no mostraron tener comportamiento.

Para la zona del **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, el comportamiento de este catión monovalente tiene un comportamiento semejante al del Calcio y

Magnesio, presentando concentraciones baja en el año de 1999, con respecto al año de 1993, este catión tienen un comportamiento con tendencia a la homogeneidad en todo el perfil en el año de 1999, de acuerdo con la figura 21b.

Este comportamiento es propiciado por los valores de pH ya que esta zona presenta el cambio más drástico en la disminución en el valor del suelo, obsérvense las figuras 17b y 18b, paginas 50 y 52 respectivamente.

Aplicando una prueba estadística de Pearson, se obtuvieron los siguientes resultados. Para el año de 1993 este catión tiene una correlación  $r^2 = 0.830$  con pH real, con un valor de significancia de 0.01 indicando que cuando se incrementa la concentración de Potasio se incrementa el valor de pH y una correlación negativa con la materia Orgánica cuyo valor  $r^2 = -0.845$  con un nivel de significancia de 0.01, lo que indica que a medida que decrece el contenido de M. O. se incrementa la concentración de Potasio.

Para el año de 1999, se presentan dos correlaciones una positiva con la M. O. cuyo valor es de  $r^2 = 0.680$  y una significancia es de 0.05 y una negativa con  $r^2 = -0.814$  el pH Real indicando que a medida que el valor de pH el valor de este catión disminuye.

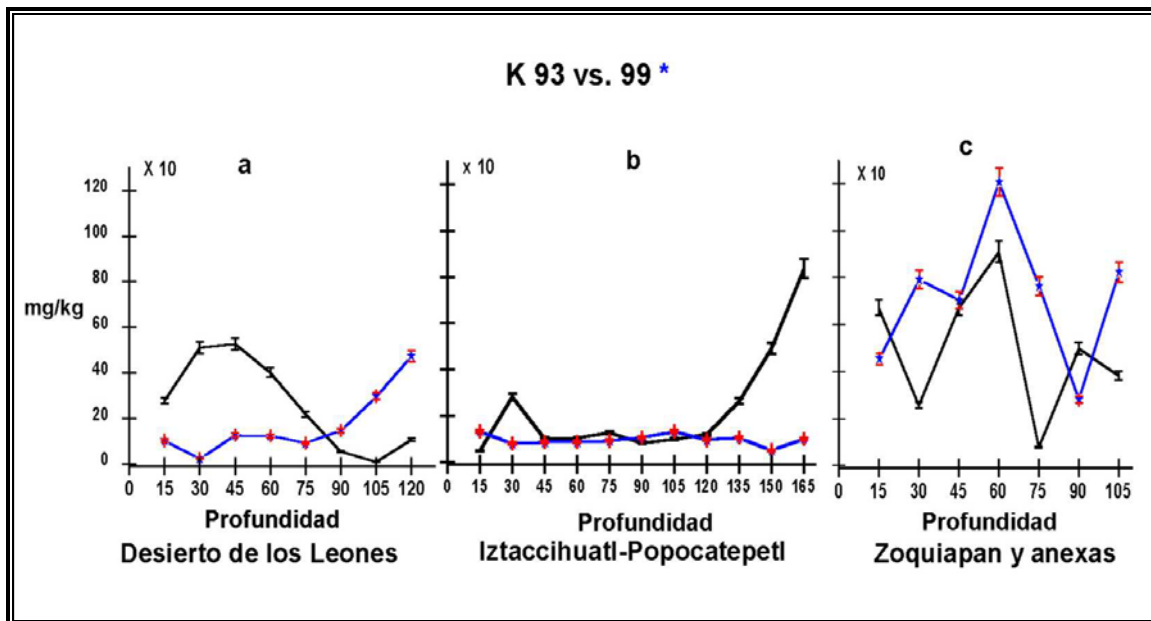


Figura 21: Contenido de K de las 3 zona de estudio.

En el suelo del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, el comportamiento de este catión monovalente en esta zona, presenta un comportamiento semejante que el calcio y el Magnesio. Donde las concentraciones obtenidas en el año de 1999 son mayores que en el año de 1993, la grafica de estos valores se pueden observar en la figura 21c. Se observan concentraciones altas en el horizonte mineral, esto favorece la absorción de los vegetales, estas concentraciones son los resultados de una baja

fluctuación en el valor de pH, obsérvese las figuras 17c y 18c, paginas 50 y 52 respectivamente.

#### **13. 4. El catión Na.**

La estructura del suelo es afectada por los cationes intercambiables. Y cuando se encuentra en altas cantidades puede ejercer efectos secundarios importante en el desarrollo de los vegetales ya que origina modificaciones estructurales adversos en el suelo.

Si el complejo de cambio contiene grandes cantidades de iones de sodio altamente hidratados no pueden neutralizar la carga eléctrica de las arcillas por lo que se acumula dentro de la capa eléctrica de la arcilla, actuando entre sí de tal manera que se rechazan y se origina la dispersión del suelo volviéndolo lodoso, causando una aeración deficiente y una baja disponibilidad de agua. (Reyes 1994; Ortiz, *et al*, 1980)

Generalmente no es admitido como elemento esencial. Tiene influencia sobre las relaciones con agua e incrementa resistencia a la sequía. Presenta un papel específico en funciones fisiológicas o metabólicas desconocidas. Por otro lado estimula el crecimiento de algunos cultivos, en caso de deficiencia se presentan hojas delgadas y de un color pardo oscuro, marchitamiento rápido y necrosis intervenla. ( Reimann, 1998; País, 1997)

El suelo de **Parque Nacional Desierto de los Leones**, en el año de 1993 se observa un incremento de acuerdo con la profundidad. Pero en el año de 1999, se observan altas concentraciones de este Ion en el suelo. Donde existen marcados incrementos en las profundidades de 15 cm. Estas concentraciones son resultados de la depositación atmosférica, ya que los contaminantes son arrastrados por acción del viento y precipitan en esta zona.

Ya que los vientos que prevalecen son de N-NE a S-SO, descargan numerosos contaminantes en el suelo de esta zona. ( Jáuregui, 1958).

Otra de los acumulamientos se observa en las profundidades de 45 - 60 cm, las altas concentraciones de este elemento en estas profundidades puede tener efectos adversos para un adecuado desarrollo de los árboles ya que en esas profundidades se efectúa la absorción de nutriente por los árboles, reduciendo fuertemente el crecimiento. Pero también para el suelo ya que pueden causar la dispersión de los agregados dañando de esta manera su estructura. (Fassbender, 1987)

Se observa otra acumulación en las profundidades de 90 – 120 cm, lo cual refleja que este Ion a sufrido una lixiviación por acción de lavado. , Figura 22a.

Al aplicarse un estadístico de Pearson al año de 1993, se obtuvo una correlación de  $r^2= 0.843$  con una significancia de 0.01 con el pH Potencial y una  $r^2= 0.721$  con una significancia de 0.051 con la profundidad teniendo una relación proporcional.

Aplicando la misma prueba para el año de 1999, se observa dos series de correlaciones una alta con el pH potencial con una significancia de 0.01 y 2 correlaciones negativas con C.I.C. y la profundidad, cuyos valores pueden ser observados en la tabla 19 pagina 81.

En el suelo del **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, es la zona que presenta altas concentraciones en el año de 1993, con un comportamiento senoidal, observándose un desplazamiento de este Ion a estratos de mayor profundidad, donde se incrementan la concentración.

Para el año de 1999, se cuantificaron menores concentraciones en el suelo de esta zona, donde solo en la profundidad de 105 cm, se observan altas concentraciones esto tiene una relación con el contenido de Arcillas, ya que este Ion si se encuentra hidratado en el complejo es muy difícil sé desplazado, ya que también se observa un aumento en dicha profundidad.

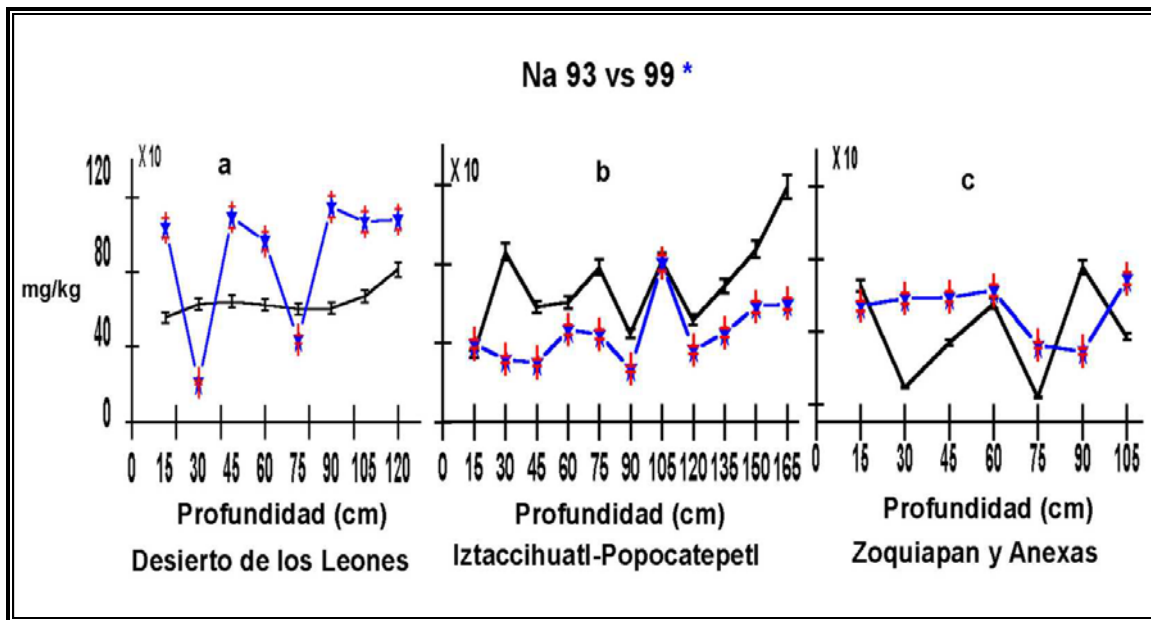


Figura 22: Contenido de Na de las 3 zonas de estudio

Dado que el catión de calcio es mas rápidamente desplazado por el lavado, el Sodio se hidrata y es absorbido por el coloide. Presentando efectos perjudiciales para el suelo, desintegrando los agregados y dispersándolos. (Ortiz *et al.* 1980) observase la figura 22b.

Aplicando una prueba estadística de Pearson al año de 1993, arrojo una alta correlación con el contenido de Materia Orgánica cuyos valores son expuestos en la tabla 19 pagina 81. Para el año de 1999, no se presentaron correlaciones.

En los suelos de la zona del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, los resultados obtenidos por la cuantificación de este Ion en esta zona reflejan un comportamiento sinoidal para el año de 1993, donde se presentan 3 picos de acumulación en las profundidades de 15, 60 y 90 cm, estos resultados no guardan una relación con el contenido de arcilla por lo que se presume que estas acumulaciones son resultado del depósito atmosférico.

Para el año de 1999, se presenta un comportamiento de homogeneidad en los 4 primeros horizontes donde aquí se observa claramente la acumulación de este Ion precedente del deposito atmosférico. Estas concentraciones están dentro de las profundidades de intercambio cationico, lo cual podría tener efectos adversos a las propiedades de estructura, aeración y retención de agua, en el suelo de esta zona, en la figura 22c se exponen las diferentes concentraciones de este Ion en las diversas profundidades que componen los perfiles de ambos años de estudio..

Según Buckman (1985) y Tamm (1977), en los suelos de suelos forestales la absorción tiene el siguiente orden:  $H^+$  y  $Ca^{++}$  primero en segundo lugar  $Mg^{++}$  y en tercer lugar  $Na^+$  y  $K^+$ . Por lo cual el Ion  $H^+$  es mas rápidamente absorbido por la arcilla, por la gran cantidad de estos en el enjambre de cationes sueltos. en desplazando a los cationes Macroelementos  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ .

Dado que las arcillas están compuestas por dos partes (1) una micela, relativamente grande e insoluble y (2) un enjambre adosado de cationes sueltos. Estos cationes sueltos son absorbidos son fácilmente desplazables. Los suelo forestales producen ácidos de la descomposición de la materia orgánica, siendo una fuente natural de producción de iones  $H^+$ . A esto sumarle las concentraciones de este Ion proveniente de la atmósfera. Se origina una acidificación.( Egli, 1999),

## **14. Determinación de C. I. C.**

Los suelos tienen diferentes capacidades de absorben cationes por unidad de peso. Esta capacidad se expresa por la unidad de meq/100g de suelo. Esta capacidad estará en función del contenido de arcilla y M. O. coloidal ya que esta tiene una función similar que las arcillas.

La fuerza de intercambio de los cationes no es igual para todos, esta dependerá de su radio iónico, de su carga y de su grado de hidratación cationes, el orden del



intercambio en suelo minerales será de  $H^+$  y  $Ca^{++}$  primero, Mg segundo y  $K^+$  y  $Na^+$  tercero.

En el **Parque Nacional Desierto de los Leones**, la determinación del **C. I. C.** en esta zona se observan incrementos en el año de 1999 con respecto al año de 1993. Estos aumentos pueden ser derivados, por la alta acumulación de M. O. véase la figura 24 de la pagina 70, ya que este provee el 50% de la capacidad de Intercambio (Harold, 1984).

Las arcillas es otro de los factores para que influyen este aumento ya que es esta zona se observan cantidades constantes de esta, obsérvese la figura 14a de la pagina 42, en las profundidades en los cuales se observan los incrementos del C. I. C. en el año de 1999.

Al aplicar pruebas de Pearson, en el año de 1993 se observan altas correlaciones de este parámetro con pH potencial, pH Real, Materia Orgánica y la profundidad, todas ellas con un valor de significancia de 0.01. Para el año de 1999, Se observan correlaciones negativas con pH potencial, pH Real, Materia Orgánica y la profundidad todas estas correlaciones con un valor de significancia de 0.05. Aquí se observa un comportamiento inverso entre cada año de estudio. Obsérvese la tabla 19 pagina 81.

Para la zona de este **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, se observa un comportamiento inverso con ambos años del estudio. En el año de 1993 se observan en los primeros horizontes un bajo intercambio cationico pero después de la profundidad de 90 cm, el intercambio se incrementa notablemente un aumento del parámetro de C. I. C., en los 5 primeros horizontes los cuales corresponden a las profundidades de 15 –90 cm, esto por que en la grafica del % del contenido de arcilla tiende a aumentar conforme se incrementa la profundidad, obsérvese la figura 14b.

Para el año de 1999, se observa un alto incremento en el C.I.C. véase la figura 23b, en las profundidades superiores esto es derivado de los altos contenidos de Materia Orgánica, ya que la materia coloidal tiene función similar que las arcillas (Ortiz *et al* 1980). Esto favorecerá a la absorción de nutrimentos de los árboles.

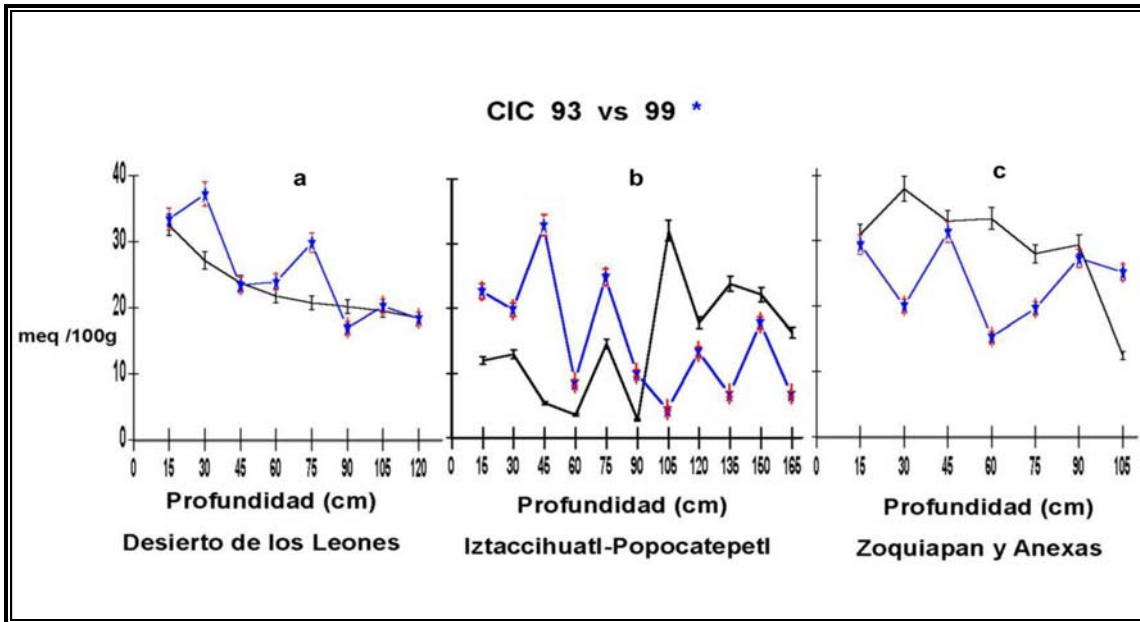


Figura 23: C. I. C. en las 3 zonas de estudio.

Para el **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993, se presentó una alta capacidad de intercambio Cationico, derivado del contenido de arcilla obsérvese la figura 14c pagina 42 y del alto contenido de Materia Orgánica, figura 24c pagina 70, ya que ambos parámetros tienen un comportamiento similar que favorecerá al C.I.C. Para el año de 1999, se presentan decrementos en todo el perfil. Ya que se verifican disminuciones en ambos parámetros del % del contenido de Arcilla y del contenido de Materia organica. Obsérvese la figura 14b y 2b, paginas 40 y 67.

Las diferentes cuantificaciones de estos parámetros en la zona de Zoquiapan y Anexas se exponen en la figura 23c.

## 15. Sensibilidad de los suelos acuerdo con la escala del SEI. Parque Nacional Desierto de los Leones.

En la tabla 12 se observa un decremento notable en los valores del contenido del % de Bases de saturación del año de 1993 al año de 1999, aunque el valor del CIC, se ve disminuido esto es probablemente derivado por los aumentos de la M. O. la cual tiene funciones como las Arcillas. Es notoria la tasa de cambio del % de B. S. del año de 1993 a 1999 con una media de 0.711, resultados de que los cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ).

Tabla 16: Clasificación de C. I. C. y el % de SB del Desierto de los Leones años de 1993 y 1999, acuerdo con la escala propuesta por el SEI (Cinderby, 1998).

Profundidad en cm.	% SB 1993	Valor de C.I.C. 93	Valor de sensibilidad del suelo	% SB 1999	Valor de C. I. C 99	Valor de sensibilidad del suelo	Tasa De cambio de % S. B.
15	1.62	32.5	2	0.93	33.6	2	1.74
30	4.99	27.13	2	0.73	37.4	2	0.14
45	6.13	23.7	1	1.00	23.6	1	0.18
60	5.72	21.71	1	2.12	24	1	0.40
75	4.44	20.67	1	1.59	30	2	0.35
90	2.95	20.1	1	2.43	17.2	1	0.82
105	7.95	19.51	1	5.45	20.4	1	0.78
120	2.09	18.4	1	5.45	18.57	1	2.60

Ya que el complejo de cambio se encuentra saturado de iones  $\text{H}^+$  y los cationes básicos son desplazados a profundidades internas del perfil. Con estos resultados se puede afirmar que los valores de CIC, oscilan entre el intervalo de la sensibilidad de acuerdo con la escala propuesta por SEI.

### Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl.

En el perfil de esta zona se observa un incremento notable en la capacidad de Intercambio Cationico en el año de 1999 con respecto al año de 1993, en las primeras profundidades. Donde dicha tasa de cambio presenta una Media es de 0.8063. Este aumento en el CIC, esta dado por los aumentos que se presentan en el año 1999, ya que una característica de la Materia Orgánica Coloidal asemeja las funciones de las arcillas, esto también es derivada por la depositación atmosférica, ya que en el año de 1999, los contenidos de esta fueron inferiores al año de 1993.

Este incremento es derivado de los altos contenidos de arcillas y de la Materia Orgánica en la zona ya que ambas tienden a actuar en forma semejante y facilitan el intercambio. Otra función que tiene la Materia Orgánica es al descomponerse origina  $\text{CO}_2$ , el cual origina ácidos carbónicos como  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en el suelo los cuales aumenta la solubilidad de muchos compuesto favoreciendo el aprovechamiento de los nutrientes por los organismos vegetales.(Ortiz *et, el* 1980)

También es esta zona se puede afirmar que ambos perfiles 1993 y 1999 se apegan a los valores propuestos por el SEI.

**Tablas 17: Clasificación de C. I. C. y el % de SB en la Zona de Iztacihuatl-Popocatepetl años de 1993 y 1999, acuerdo con la escala propuesta por el SEI (Cinderby, 1998).**

Profundidad (cm)	% SB 1993	Valor de C. I. C. 93	Valor de sensibilidad del suelo	% SB 1999	Valor de C. I. C. 99	Valor de sensibilidad del suelo	Tasa de cambio de % S. B.
15	6.92	12	1	2.95	22.8	1	0.42
30	0.88	13	1	0.57	20	1	0.64
45	0.72	5.4	1	1.28	33	1	1.77
60	0.72	3.6	1	0.11	8.8	1	0.15
75	0.79	14.6	1	0.59	25	1	0.74
90	1.05	2.8	1	1.52	10.2	1	1.44
105	1.63	32	2	1.22	4.6	1	0.74
120	2.48	17.8	1	0.81	13.6	1	0.32
135	0.79	23.76	1	0.23	7	1	0.29
150	2.75	22.09	1	0.36	18	1	0.13
165	8.57	16.3	1	0.49	7	1	0.05

### **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas.**

En esta zona se observe de una manera real los cambios de sensibilidad en el suelo, por acción de la depositación ácida sin los efectos del contenido de la Materia Orgánica y de la Arcillas.

**Tabla 18: Clasificación de C. I. C. y el % de SB en la Zona de en la Zona de Zoquiapan y Anexas años de 1993 y 1999, acuerdo con la escala propuesta por el SEI (Cinderby, 1998).**

Profundidad (cm)	% SB 1993	Valor de C. I. C. 93	Valor de sensibilidad del suelo	% SB 1999	Valor de C. I. C. 99	Valor de sensibilidad del suelo	Tasa de cambio de % S. B.
15	2.73	31	2	1.22	28.88	2	0.44
30	4.23	38	2	0.73	19.76	1	0.17
45	1.81	33	2	1.37	30.78	2	0.75
60	2.45	33.4	2	0.89	15.2	1	0.36
75	7.62	28	2	0.52	19.38	1	0.068
90	3.78	29.4	2	0.47	26.79	2	0.12
105	2.20	12.5	1	3.81	24.7	1	1.73

Se observa un decremento en el % de saturación de bases con una tasa de cambio con una media de 0.5197, lo cual propicia una disminución del C.I.C., el efecto de este cambio se ve manifestado en las profundidades de 30, 60 y 75 cm donde el valor de sensibilidad cambia de 2 a 1, estos cambios son importantes ya que en esas profundidades se llega al cabo de la absorción de los nutrientes por los árboles.

Los valores obtenidos también corresponden a los propuestos por SEI.

## **16. Determinación del contenido de M. O.**

La fracción de la Materia Orgánica del suelo está constituida por residuos vegetales y animales en diversos estados de descomposición, y organismos que viven en el suelo, y las sustancias producidas por ellos.

Los resultados de la cuantificación del % de la M. O. en Parque Nacional Desierto de los Leones en el año de 1999, se observa un pequeño aumento en el contenido de % de M. O., en las profundidades de 15, 45 y 60 cm, esto ayuda a compensar los cambios en el valor del pH de estas profundidades y tiene repercusión en la capacidad de intercambio catiónico ya que la M.O. coloidal actúa de manera similar que las arcillas. Obsérvese la figura 24a.

Para que la Materia Orgánica sea degradada, en el suelo se debe tener condiciones en las cuales debe existir un rico contenido de Calcio y otros Nutrientes. Pero la actividad Biótica del suelo es inhibida por condiciones frías y ácidas.

Al aplicar una prueba de Pearson a este parámetro en los 2 años de estudio, arrojo los siguientes resultados. Para el año de 1993, se presentan  $r^2 = 0.997$ ,  $0.966$  con pH Real y C.I.C. y  $r^2 = -0.899$ ,  $-0.870$  con profundidad y pH Potencial. Y para el año de 1999, tienen  $r^2 = -0.968$ ,  $-0.908$  con pH Potencial y el pH Real ambas negativas. Los valores son expuestos en la tabla 19 página 81.

Para la zona del Parque Nacional Iztaccihualt-Popocatepetl, se presentan gran cambio en el contenido de la Materia Orgánica en los 2 años de estudio. En el año de 1993 las concentraciones fueron bajas respecto al año de 1999, estos son resultados de que en ese año de la baja disponibilidad de nutrientes contenidos en el suelo, de acuerdo con el C. I. C. obsérvese la figura 23b.

También ya que en ese año se hallaban contenido en el suelo una adecuada concentración del Ion Calcio, es cual es necesario por los organismos para una excelente degradación de la misma. El comportamiento de la gráfica es descendente conforme aumenta la profundidad.

Para el año 1999, fue alta la determinación del contenido de la M. O., esto tiene un efecto benéfico para el suelo de esta zona ya que entre las diferentes funciones que

tiene se encuentra a que amortigua los rápidos cambios por la depositación ácida, mejora la estructura del suelo, ayuda a la retención del agua y favorece el intercambio cationico ya que tiene similitud con las arcillas esto hablando de la M.O. coloidal.

Al aplicar pruebas de Pearson al año de 1993, arrojaron las  $r^2 = 0.747, -0.820, -0.916$  con potencial, pH real y La profundidad respectivamente. Para el año de 1999, solo se presentan  $r^2 = -0.933, -0.710$  con el pH Real y la profundidad.. Los valores de las correlaciones son expuestos en la tabla 19 de la pagina 81.

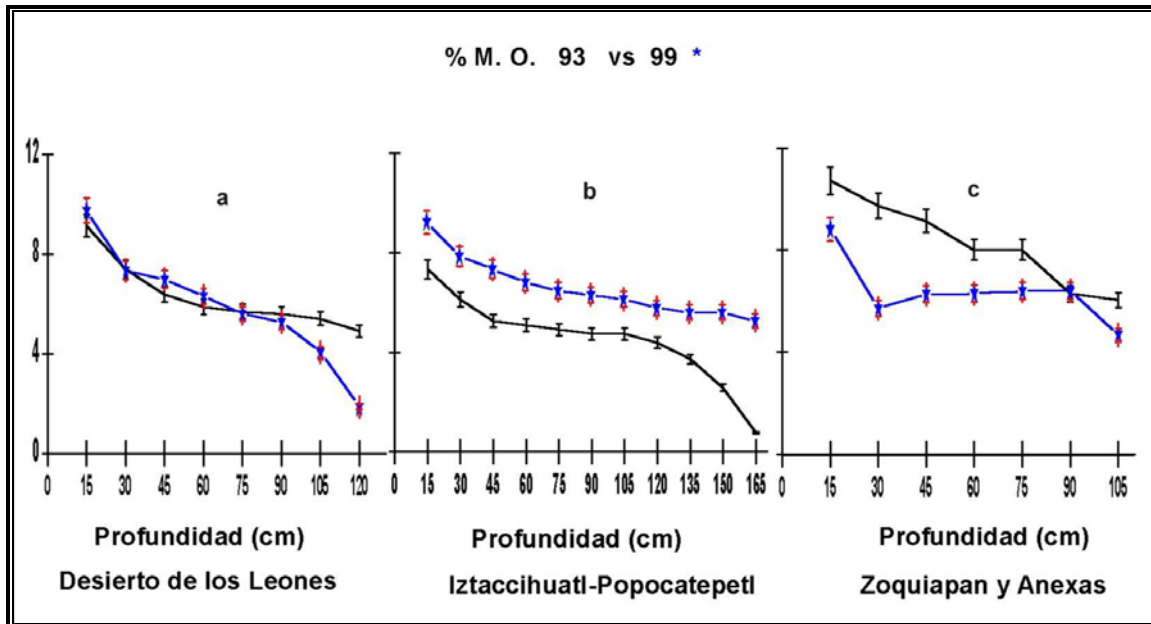


Figura 24: % de M. O. en las 3 zonas de estudio.

En la zona del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas, se observan un comportamiento decreciente a en el año de 1999, respecto al año de 1993, esto debido a que en ese año los contenidos de los cationes de calcio, Magnesio, Potasio y Sodio son adecuados para el buen degradamiento de las M.O. Los cuales se encontraban en deficiencias en el año de 1993. Los diferentes comportamientos de este parámetro se observan en la figura 24c.

Al aplicar pruebas de Pearson al año de 1993, presenta una  $r^2 = -0.985$  con la profundidad. Pero en el año de 1999, no se presentan correlaciones

## 17. Contenido de iones.

La determinación del contenido de los iones es un indicador del comportamiento del pH del suelo y sus variaciones, ya que este determinara la adición proveniente del deposito atmosférico, en cualquiera de sus formas, seco o húmedo. Y de los procesos de la degradación de la Materia Orgánica.

Estos compuestos al sufrir procesos de oxidación, para ser reducido a nitrito, nitrato y nitrógeno elemental, esto es realizados por las bacterias nitrosantes y nitrificantes, estos procesos están determinados por la humedad, temperatura aireación y sobretodo por la concentración de calcio asimilable.

En esta transformación liberan iones  $H^+$  en la fase acuosa del suelo, compiten con los cationes  $Ca^{+2}$ ,  $N^+$ ,  $K^+$  y  $Mg^{2+}$ . Siendo arrastrados a Horizontes inferiores. Al darse un incremento de iones  $H^+$  tiene como consecuencia una acidificación del suelo. (Pernestal,1993, Buckman, 1985; Frink, 1977)

### 17. 1. Contenido del Ion Amonio.

En las determinaciones del contenido del **Ion Amonio** en la zona del **Parque Nacional del Desierto de los Leones** en el año de 1993, se observa un comportamiento en un intervalo de 49.4 – 57.67, donde el contenido no se acumula dado que se cuenta con adecuadas concentraciones del Calcio para la oxidación de este ion ese año.

Pero en el año de 1999 el intervalo se incrementando de 43.5 – 71.4 siendo la profundidad de 60 cm la que poseía la concentración mas alta, donde también la presencia de Calcio fue fundamental para el valor no se incrementara en esa profundidad Figura 19a pagina 56. Aunque en esta profundidad se observa una acumulación originada por una lixiviación.

Este proceso también afecta a los cationes ya que en la gráfica de las concentraciones de cationes. Observe la figura 19a, 20a, 21a y 22a, Paginas 56, 58, 61 y 63 respectivamente. Se presentan altas concentraciones en los 2 últimos horizontes. Por ello es que en los últimos horizontes existe un equilibrio entre el Calcio y la concentración del Ion Amonio lo que favorece su reducción. Se presenta una homogeneidad de los 2 ultimo horizontes. Las diferentes concentraciones se observan en la figura 25a.

Al aplicar una prueba de Pearson se presenta una relación entre Ion Amonio y el Ion Cloruro la cual es inversamente proporcional, presentando una  $r^2 = -0.902$  negativa con un valor de significancia de 0.01. Los valores de estas correlaciones se observan en las tablas 63 y 64 de la sección de anexos.

Para el **Parque Nacional Iztaccihualt-Popocatepetl**, la cuantificación del Ion Amonio arrojó los siguientes resultados. Para el **Ion Amonio**, en el año de 1993 se presenta un comportamiento muy heterogéneo, se observan acumulaciones en las profundidades de 75 y 165 cm, lo que es debido a una disminución en el contenido de calcio en esos horizontes.

En el año de 1999 se observa un comportamiento inverso al año de 1993 ya que en las profundidades mencionadas se presentan disminuciones en el contenido de este ion, ya que se presenta una adecuada concentración del catión de Calcio en esa profundidad. Presentando acumulaciones en las profundidades de 30 y 120 cm. Obsérvese la figura 25b.

La presencia o ausencia del Calcio favorecerá para el aumento o disminución del Ion amonio en esta zona. Ya que una buena concentración del calcio favorecerá su transformación y oxidación o facilitará su acumulación.

Al aplicar una prueba de Pearson en el año de 1993 y en 1999, no presenta correlación con otro Ion.

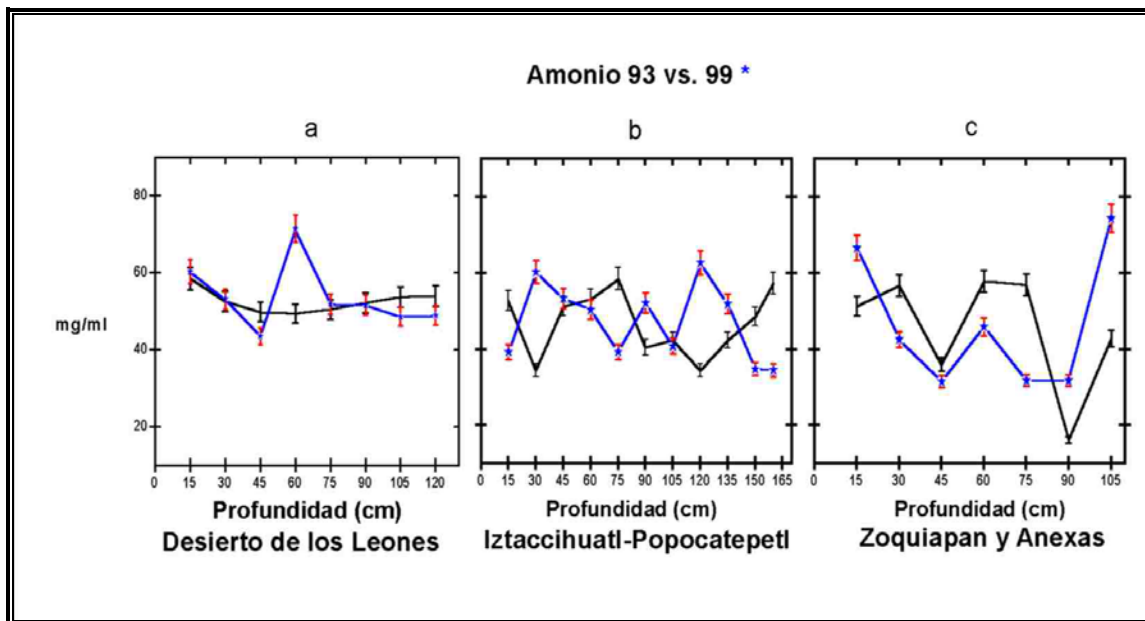


Figura 25: Contenido del Ion Amonio en las 3 zonas de estudio .

En la zona del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas** el contenido del **Ion Amonio** es muy heterogéneo, ya las concentraciones son muy variantes en cada uno de las profundidades que conforman el perfil del año de 1993, se observa que en las profundidades de 45 y 90 cm un decremento de Ion, esto sucede por que los valores del contenido de calcio en esos horizontes los horizontes 45 y 90 cm, son bajos los cuales son expuestos en la figura 14 pagina 56.



Para el año de 1999, se presentan acumulaciones en las profundidades de 15, 60 y 105. Para la primer profundidad puede ser atribuida a una depositación atmosférica, en la segunda se pueden decir que sé esta presentando un efecto de migración de este ión y en los 105 cm, se presenta una acumulación de este ión a profundidades internas de perfil, esto porque el catón de calcio disminuye su concentración.

Dado que actino Calcio es importante para la reducción del Ion Amonio a nitrito, nitratos y nitrógeno elemental. La relación que guarda el Ion Amonio y el actino calcio es proporcional.

En ambos años 1993 este Ion no presenta ninguna correlación con otro Ion, pero en el año de 1999 se presenta  $r^2=0.838$  con en calcio con un nivel de significancia de 0.05 véase las tablas 67 y 68 de la sección de anexos

## 17. 2. Contenido del Ion Nitrato.

En el año de 1993, en la zona del Parque Nacional del Desierto de los Leones en la cuantificación del Ion Nitrato, se observo un comportamiento de homogeneidad, es cual tenia un intervalo de 224 –260 mg/ml. Esto por que en la concentración del Calcio es determinante para la reducción den Ion Amonio.

Para el año de 1999, se observa un aumento en el contenido de Nitrato, cuyo intervalo cuantificado tenia los valores de 256 –284.1 mg/ml a partir de la profundidad de 45 cm. Observándose una migración de este Ion hacia mayores profundidades. Estos cambios son observados en la figura 26a.

Después de la aplicación de la prueba de Pearson, no se presenta correlación con los otros tres iones, en el año de 1993. Pero en el año de 1999 tiene una  $r^2= 0.745$  con el Ion sulfato, cuyo valor del nivel de significancia es de 0.05. Véase la tabla 63 y 64 de la sección de anexos.

Para el Ion Nitrato, en la zona de **Parque Nacional del Iztaccihualt-Popocatepetl** en el año de 1993, se observa concentraciones bajas en los primeros 5 horizontes en un intervalo de 233.4 –274.2 mg/kg. Pero en el año de 1999, se observan incrementos en dicho intervalo el cual sube de 261 –277 mg/kg, especialmente en los horizontes minerales, posiblemente resultados de la Depositación atmosférica. Y este cambio en el contenido de este ión estará en función del contenido de calcio. Ya que en las concentraciones de calcio no se presentan grandes cambios. Figura 14c pagina 56.

Al aplicar pruebas de Pearson en los 2 años de estudio, se presentaron  $r^2= -0.828$ , - **0.852** con el pH R y con el contenido de Calcio con un valor de significancia de 0.01 en ese año. En año de 1999, este Ion presenta una  $r^2= -0.808$  con el Ion cloruro,

cuyo valor de significancia es de 0.01 (los valores se exponen en la tabla 66 de la sección de anexos).

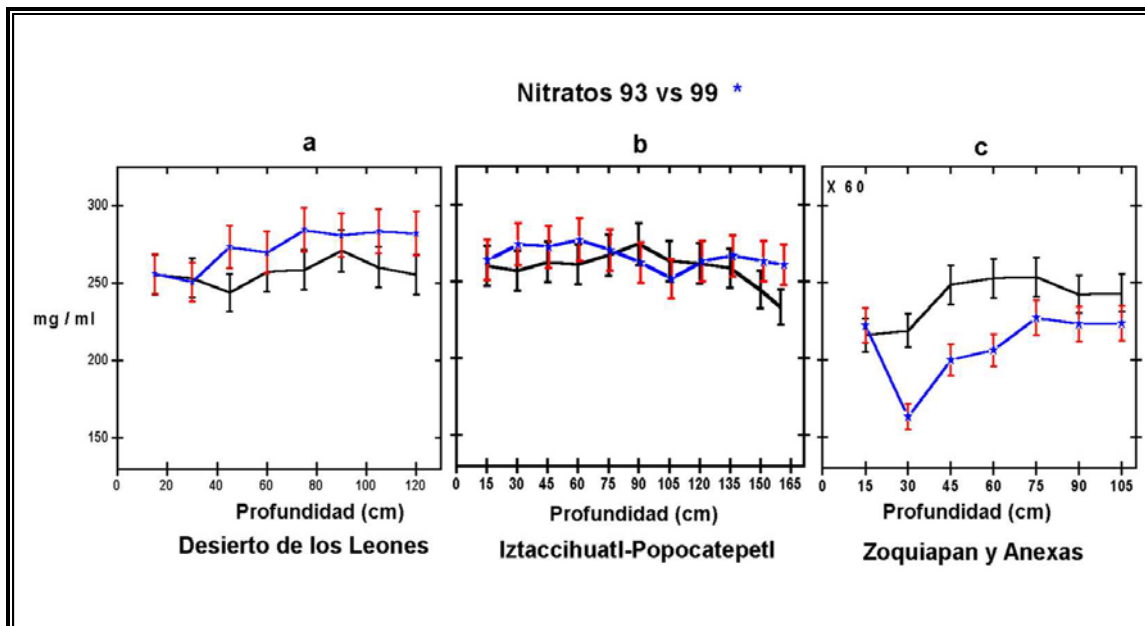


Figura 26: Contenido del Ion Nitrato en las 3 zonas de estudio .

Para el **Ion Nitrato**, en la zona de **Zoquiapan y Anexas**, se presentan altísimas concentraciones, en ambos años de estudio, ya que las concentraciones fueron divididas entre 60. Cuyo valor de intervalo era de 12954 –15222 mg/ml, en el año de 1993, lo que indica que el depósito atmosférico fue alto, presentando una acumulación en profundidades intermedias. Estos valores estarán en relación con el contenido del Cation de Calcio, lo que origina disminuciones en las profundidades posteriores del contenido de este Ion.

Para el año de 1999, se presenta una disminución significativa cuyo intervalo es de 9798 – 13422 mg/ml, en el contenido del Ion en las diferentes profundidades que constituyen este perfil. En la profundidad de 30 cm. Se observa el mayor decremento en el contenido, esto por la acción que tiene el contenido de Calcio, sin embargo en profundidades posteriores se incrementa el contenido de este Ion, y se observa también un decremento de Calcio. obsevece la figura 14c pagina 56.

Después de la aplicación de una prueba de Pearson, este Ion no guarda correlación alguna con otro en ambos año de estudio.

### 17. 3. Contenido del Ion Sulfato

Los resultados que arrojó la cuantificación del Ion Sulfato, en esta zona del Parque Nacional del Desierto de los Leones. En el año de **1993, se observa un** comportamiento homogéneo en casi todas las profundidades, con un intervalo de 78-

114 mg/ml, sin embargo se notan incremento a partir de la profundidad de 75 cm, esto principalmente por que este Ion es lixiviado.

En el año de 1999 se observa un incremento, con respecto al año de 1993, el intervalo es de 84 –118.2 mg/ml, observándose las más altas concentraciones de este Ion en las profundidades mas internas de perfil, principalmente en la profundidad de 90 cm, donde estas acumulaciones sean derivadas de actividades antropogenicas. Dado que al ser afectadas las propiedades del % del E. P. son desplazados por acción del lavado. Entonces son acumuladas en la parte interna del perfil.

En el año de 1993 este Ion no presenta correlación con los otros iones. Pero en el año de 1999 presenta una  $r^2= 0.745$  correlación con el Ion Nitrato, cuyo valor de significancia es de 0.05. Los valores de esta correlación se expone en la tabla 63 y 64 de la sección de anexos.

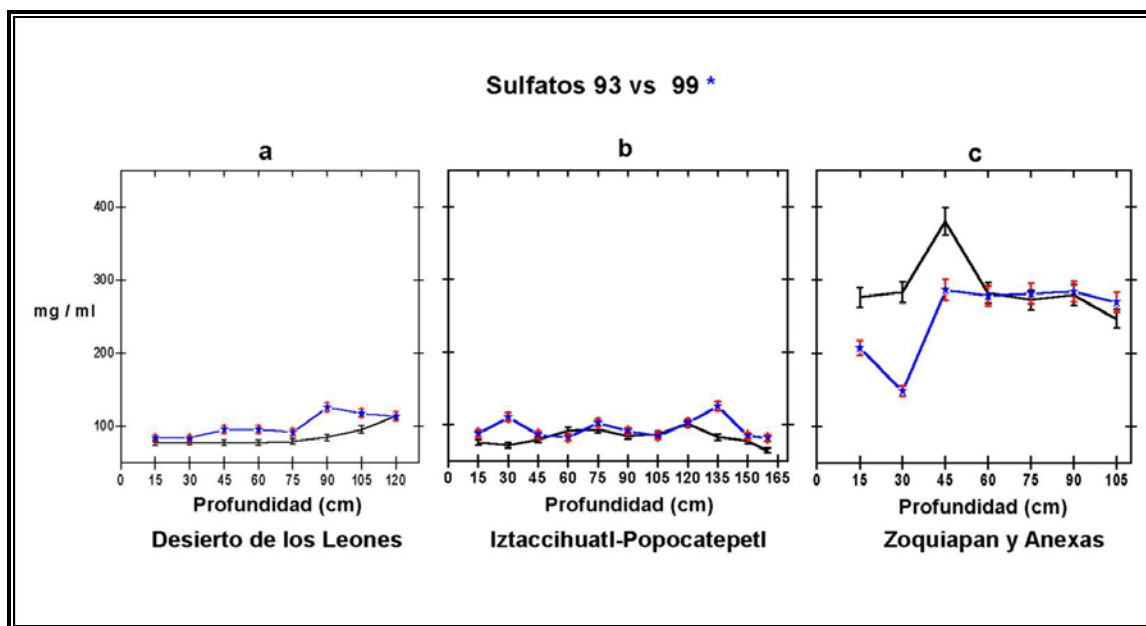


Figura 27: Contenido del Ion Sulfato en las 3 zonas de estudio.

Para el **Ion Sulfato**, en la zona de **Iztaccihuatl-Popocatepetl** en el año de 1993 se presentan bajas concentraciones con un intervalo de 71.65 – 100.9 mg/ml respecto al año de 1999. Pero en el año de 1999 se presentan altas concentraciones con un intervalo de valores el cual es de 81.62 – 125.23 mg/ml, esto se debe al depósito atmosférico, presentando dos horizontes con altas acumulaciones, a los 30 y 135 cm., Verificándose un escurrimiento de este Ion hacia lo mas profundo del perfil. Donde el contenido de Calcio esta deficiente y este ión presenta acumulaciones.

Al aplicar una prueba de Pearson en los 2 años del estudio, en el año de 1993, este Ion presenta  $r^2= -0.714, -0.641$  con Ca y Nitrato, con un nivel de significancia de

0.05. En lo que respecta al año de 1999, no se presenta correlación alguna. Los valores son expuestos en la tabla 65 y 66 de la sección de anexos.

Los resultados con las concentraciones **del Ion sulfato** en el **Parque Nacional Zoquiapan y Anexas**, fueron la mas altas de las tres zonas del estudio. En el año de 1993 se presentan mayores concentraciones en las tres primeras profundidades, siendo estas concentraciones resultado del deposito atmosférico, presentando la mayor concentración en el tercer horizonte, cuyo intervalo de los valores fue de 272.8 – 380.8, con una diferencia entre el valor mas bajo al máximo de casi 10 unidades..

Sin embargo se presenta un descenso en la concentración en las profundidades posteriores. Lo cual se refleja en el aumento del contenido de Materia Orgánica, en ese año. Ya que este Ion sulfato en el suelo es resultado de la descomposición de la materia orgánica por las bacterias.

Para el año de 1999, se presentan una disminución cuyo intervalo es de 207.2 – 286.6 mg/ml un comportamiento inverso al presentado en el año de 1993, en dos de los primeros horizontes, pero a partir de la tercera profundidad se observa una comportamiento homogéneo hasta los horizontes de 90 cm donde se presenta un decremento.

Este comportamiento también se ve manifestado en el contenido de la Materia Orgánica ya que este año se observo un decremento en la materia Orgánica y por ende una disminución del contenido de sulfatos en el suelo.

Este Ion en esta zona no presenta correlaciones significantes en ninguno de los dos años de estudio 1993 y 1999.

#### **17. 4. Contenido del Ion Cloruro.**

En el Parque Nacional Desierto de los Leones, se observan las más altas cuantificaciones del Ion Cloruro, en ambos años del estudio, para el año de 1993, el intervalo era de 1219.8 – 1599.9 mg/ml y para el año de 1999 será de 1302.6 – 1467 mg/ ml, las cuales pueden ser tóxicas para los organismos vegetales ya que este Ion es requerido en baja concentraciones. En el año de 1993 se presenta un incremento proporcional entre la concentración y la profundidad, esto hasta la profundidad de 45 cm, donde se presenta un comportamiento asintótico.

Al aplicar pruebas de Pearson a los 2 años del estudio arrojaron los siguientes resultados. En el año de 1993, el Ion Cloruro tienen  $r^2=-0.902$ ,  $-0.876$ ,  $-0.858$  y  $-0.740$  con Amonio, M. O., CIC, pH real. Obsérvese las tablas 63 y 64 de la sección de anexos.

En las zonas de Iztaccihualt-Popocatepetl y el Parque Nacional Desierto de los Leones presentan las más altas concentraciones en las cuantificaciones del Ion

Cloruro. En el año de 1993 se presentan altas concentraciones cuyo intervalo de valores es de 1027 – 1343 mg/ml, ya que esta concentración es tóxica para los organismos vegetales ya que es requeridos por ellos en pequeñas cantidades. Y en las últimas profundidades disminuyen las concentraciones.

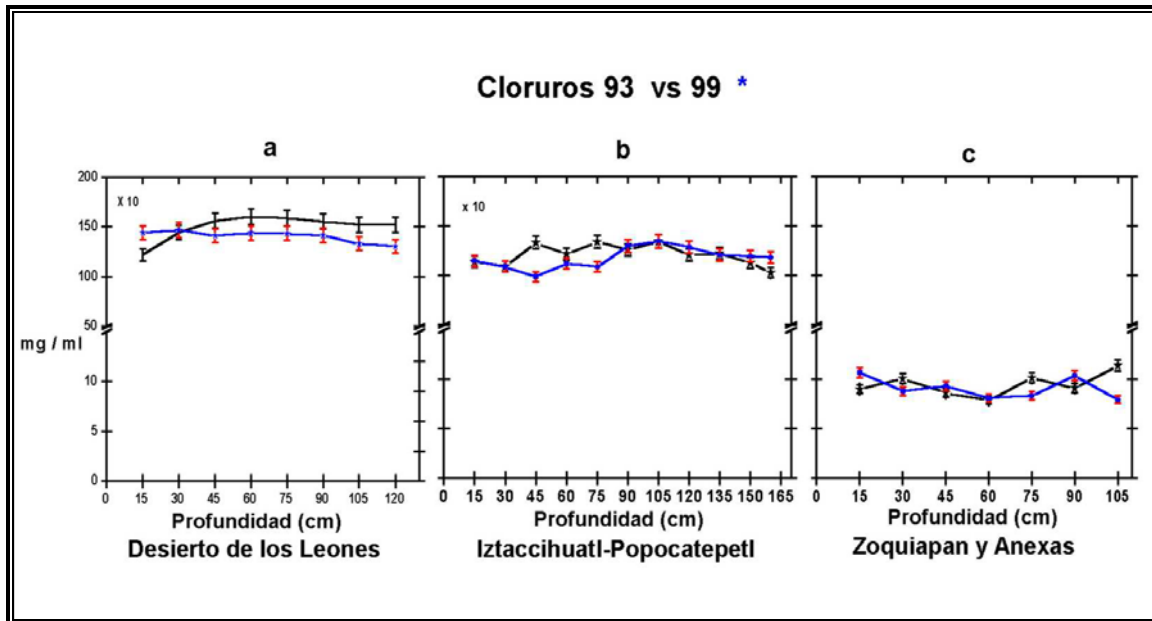


Figura 28: Contenido del Ion Cloruro en las 3 zonas de estudio.

Aunque para el año de 1999, se observan decrementos estos son bajo ya que los valores son de 1302.6 – 1467 mg/ml.

En este año este Ion tienen importantes  $r^2 = -0.755$ ,  $-0.719$  y  $-0.646$  con el ion amonio, sulfato y con el calcio respectivamente

Para el año de 1999, tiene altas correlaciones con C.I.C. y con el Ion Nitratos, con un valor de significancia de 0.01. siendo estos comportamientos proporcionales. Los valores son expuestos en la tabla 65 y 66 de la sección de anexos.

Para el **Ion Cloruro** en la zona de **Zoquiapan y Anexas** se presenta un comportamiento similar en los 2 años del estudio contenido en cada una de las diferentes profundidades que componen el perfil. El intervalo de 1993, fue de 78.6 – 114 mg/ml y en el año de 1999 fue de 79.2 – 106.8mg/ml. Aunque en el año de 1999, se observa un pequeño decremento de este Ion, hacia mayores profundidades como se observa en la figura 28c en el año de 1993. Pero en el año de 1999, se presentan baja concentraciones.

Solo en el año de 1993, se presenta una  $r^2 = 0.842$  con el pH potencial. De acuerdo con las tablas 67 y 68 de la sección de anexos.

## 18. Agrupación de los de iones (1993-1999)

En el análisis del contenido de iones en las tres zonas de estudio en el año de 1993, se obtuvieron 2 grupos de cúmulos de datos. En el primer grupo se encuentran agrupadas las profundidades que tienen altos contenidos de iones. La concentración de estos iones en este cúmulo es determinante para que se presenten efectos adversos para las especies arbóreas, ya que por lo general todas las concentraciones son altas y la mayoría son englobadas en el horizonte mineral, donde se realiza el intercambio catiónico..

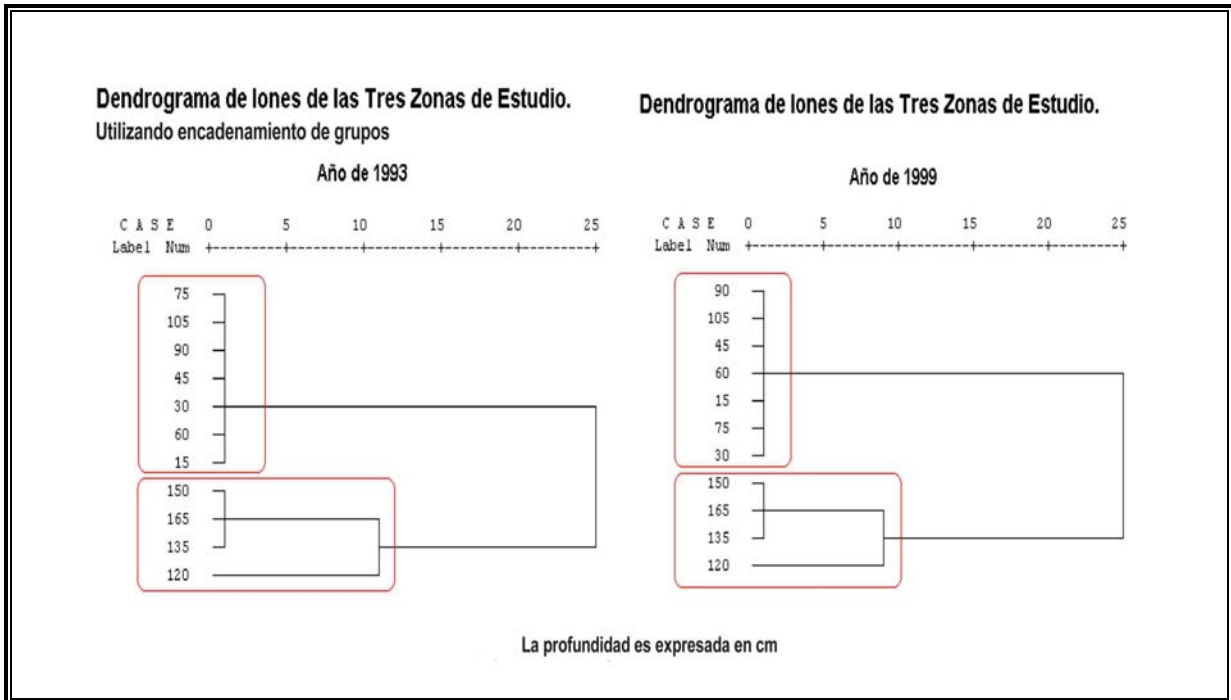


Figura 29. Dendrograma de iones en las tres Zonas de Estudio (1993 ,1999)

En el segundo cúmulo se tienen los horizontes que su contenido de estos iones son bajo respecto al primer grupo. Principalmente es este cúmulo se describe las concentraciones contenidas en los estratos más internos del perfil, donde dichas profundidades corresponden a los suelos del Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl.

Para el año de 1999 se presenta una similitud en los cúmulos de datos del año de 1993. Lo destacado es el movimiento del año 1999 de la profundidad 90 cm con respecto a la posición que tenía con el año de 1993, lo que significa que existió un movimiento o acumulación hacia estratos inferiores. Donde se incremento el contenido de iones en este horizonte por efecto de la Depositación Atmosférica.

Para el segundo cúmulo de datos no se presentan cambios en los Dendogramas de ambos años, ya dichas profundidades corresponden al Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl.

Los movimientos de los iones esta en función del % del espacio Poroso como se vio en la grafica 13 pagina 40 en el año de 1999 se observaron aumentos de este por la acción de las sustancias ácidas a todos las zonas del estudio. Las constantes degradación y desgaste de las partículas del suelo propicia esta migración de todos los iones y al no contar con los contenidos de Calcio para una buena reducción de Amonio, Nitratos Y Sulfatos aceleran las altas concentraciones especialmente en las profundidades mas profundidades de los diversos perfiles de las zonas de estudio.

## 19. Agrupación de los parámetros fisicoquímicos (1993, 1999)

Con la ayuda de un dendograma se observan los cambios ocurridos en el año de 1993 al año de 1999. El pH Real es sin duda el factor determinante en el comportamiento de todos los Parámetros físicos ( D. A, D. R., % E. P. y las diferentes Características Texturales ) y de las Químicas (CIC, M. O., % S. B. Y contenido de Iones  $\text{NH}_4^+$   $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$ ). Los efectos en el cambio del Valor de pH Real, se observan en el primer cúmulo de datos en el año de 1993, Donde existe una migración de los cationes básicos(Ca, Mg, K y Na) y los iones  $\text{NH}_4^+$   $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$ .

Si para la disponibilidad de estos cationes y iones para los árboles, se efectúa en las profundidades de 30, 45, 60 y 75 cm, ya que en esas profundidades se realiza el intercambio Cationico, y la mayor actividad de las arcillas. Y la absorción de nutrientes para los árboles se presentara problemas para disponer de ellos.

En el segundo cúmulo de datos del año de 1993, claramente el efecto del desplazamiento derivado de la depositación ácida y es ahí donde se encuentran los valores de las lecturas de los Parámetros antes referidos más altos.

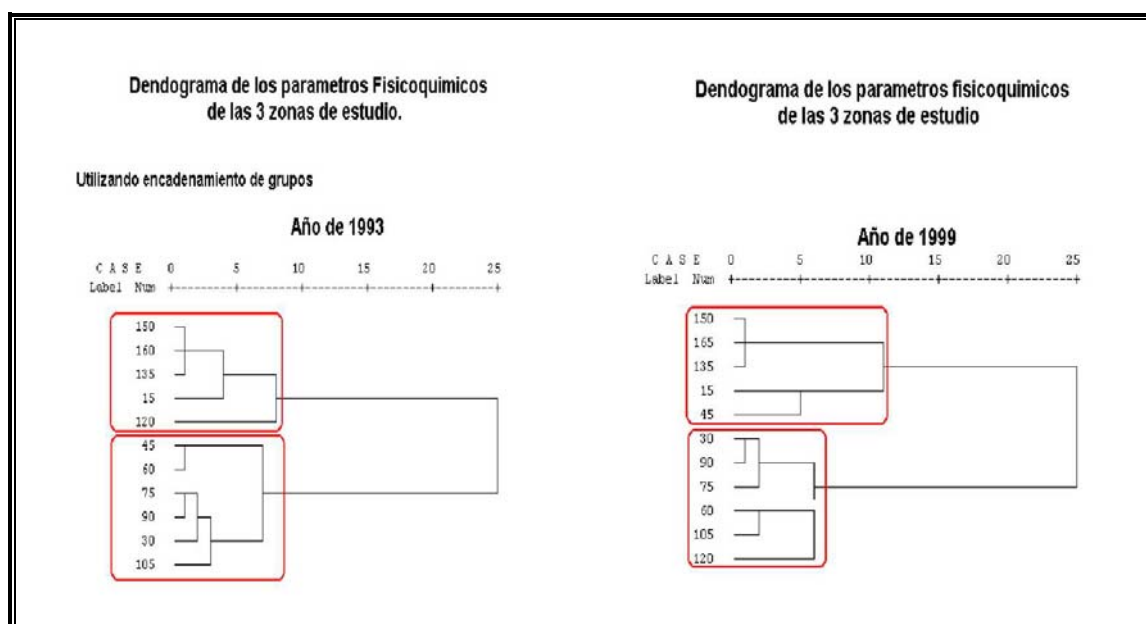


Figura 30. Dendogramas de los parámetros fisicoquímicos (1993, 1999)

Este mismo comportamiento es el que persevera en el año de 1999, siendo claramente visualizado la migración de los cationes básicos(Ca, Mg, K y Na) y los iones  $\text{NH}_4^+$   $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$ . Nuevamente se presentaran problemas para la absorción de nutrimentos, sin embargo en las profundidades de 15 y 45 cm reciben grandes cantidades de la atmósfera, propiciando la que estas profundidades cambien de posición, al primer cúmulo de datos.



Tabla 19: Correlaciones de los Parametros de los parámetros fisicoquímicos de las tres zonas de estudio (1993, 1999)

Propiedades			Químicos								Físicos								
II.	Zon	Año	Parámetro	Na	K	Ca	Mg	CIC	M.O.	pH P	pH R	D.A	D. R.	% E.P.	%Arcilla	%Arena	% Limo		
<b>D</b>	<b>D</b>	<b>1993</b>	pH P	0.843	-	-	-	-0.876	-0.870	-	-0.934	-	-	-	-	-	-	-	
			pH R	-	-	0.711	-	0.980	0.966	-	-	-	-	-	-	-	-0.844	-	-
			M. O.	-	-	-	-	0.997	-	-0.870	0.966	-	-	-	-	-	-	-	-0.911
			CIC.	-	-	-	-	0.997	-	-0.876	0.980	-	-	-	-	-	-	-	-0.916
			Prof.	0.721	-	-	-	-0.916	-0.899	0.980	-0.975	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>L</b>	<b>L</b>	<b>1999</b>	PHP	0.843	0.831	0.811	0.926	-0.813	-0.968	-	0.963	-	-	0.780	-	-	-	-	
			PHR	-	0.897	-	0.954	-0.798	-0.908	0.963	-	-	-	0.752	-	-	-	-	
			M. O.	-	-	-	-	0.723	-	-0.968	-0.908	-	-	-0.833	-	-	-	-	
			CIC.	-	-	-	-	0.723	-	-0.813	-0.798	-	-	-	-	-	-	-	
			Prof.	-	0.821	-	0.903	-0.809	-0.964	0.988	0.966	-	-	0.771	-	-	-	-	
<b>I</b>	<b>I</b>	<b>1993</b>	pH P	-	-	-	-	-	0.747	-	-0.698	-	-	-	-	-	-	-0.878	
			pH R	-	0.830	0.773	0.614	-	-0.820	-0.698	-	-	-	0.765	-	-	-	-	0.841
			M. O.	-	-	-	-	-	0.747	-0.820	-	-	-	-0.665	-	-	-	-	-0.759
			CIC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.731	-	-	-	-	-	0.645
			Prof.	-	0.651	-	-	-	-0.916	-0.941	0.822	-	-	-	-	-	-	-	0.896
<b>Z</b>	<b>Z</b>	<b>1999</b>	PH P	-	-	-	-	-	-0.710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			pH R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			M. O.	-	0.680	0.701	-	-	-	-	-0.710	-	-0.881	-0.840	-	-	-	-	-
			CIC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.976
			Prof.	-	-	-	-	-	-	-0.933	-	-	0.783	0.787	-	-	-	-	-
<b>Q</b>	<b>Q</b>	<b>1999</b>	pH P	-	-	-	0.947	-	-	-	-	-	-	-	0.835	-	-0.940	-	
			pH R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			M. O.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			CIC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Prof.	-	-	-	-	-	-	-0.985	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Nivel de significancia de 0.01. \* Nivel de significancia de 0.05

## 20. Determinación Multielemental por la técnica de PIXE.

### 20. 1. Macroelementos

En la cuantificación de las Concentración de los Macroelementos Ca y K en el **Parque Nacional del Desierto de los Leones**, en la cuantificación de estos elementos se obtuvieron concentraciones altas con un intervalo de 3353.9 - 112544.9 mg/kg en el año de 1999, respecto al intervalo de 0-526.9mg/kg obtenido en el año de 1993. Una situación similar sucedió con el parque de Iztaccihuatl-Popocatepetl se obtuvieron, concentraciones en un intervalo de 2.6- 2146.88 en el año de 1999, respecto al intervalo 1061-4004.85 de año de 1993.

Pero se obtuvo un comportamiento inverso en el **Parque Nacional Zoquiapan y Anexas** donde las concentraciones del año de 1993, se encontraban en un intervalo de 0-238438.5 mg/kg, las cuales rebasaron al intervalo de 12.5-536.54 mg/kg de las concentraciones del periodo de 1999, de este elemento en el suelo, de acuerdo con los valores de Reimann(1998), esta zona se encuentra dentro del intervalo propuesto por este autor presentado en la tabla 7(Pág. 16). Las diversas concentraciones de las tres zonas de estudio se representan en la figura 31.

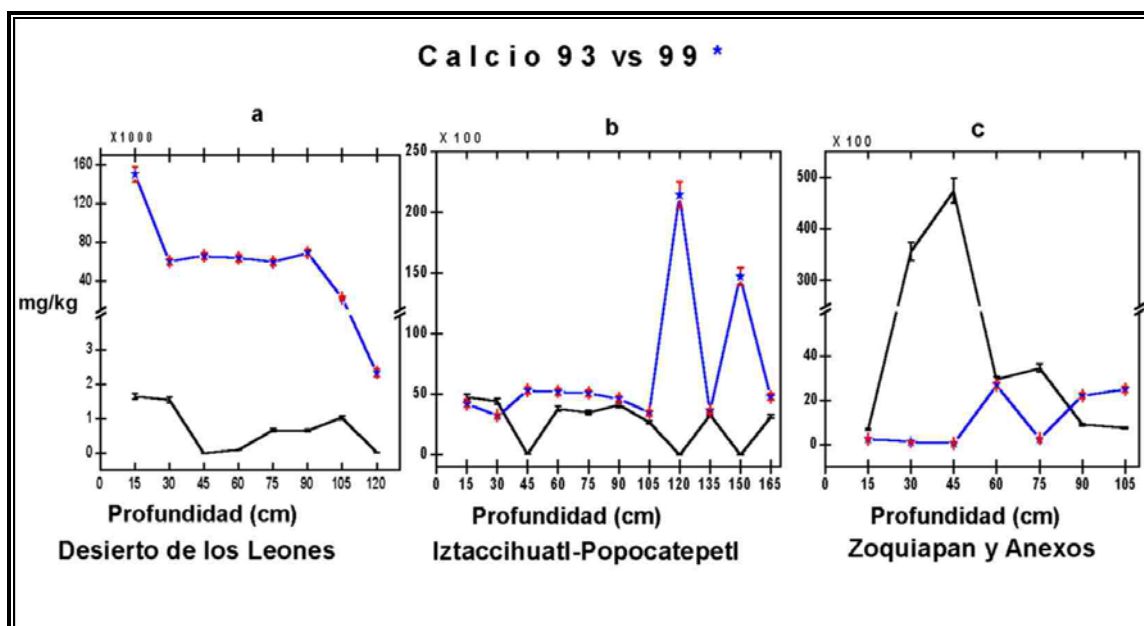


Figura 31. Contenido Ca de las 3 zonas de estudio

#### 20. 1. 1. Determinación de Ca.

Este catión es el que predomina en el complejo de intercambio de la arcilla, en los suelos ácidos así como en los calcáreos, cuando existe una acumulación interna o externa del Ion Hidronio en el suelo, se dice que ha sufrido una acidificación. Los iones  $H^+$  compiten con los cationes de  $Ca^{++}$ , Estos son desplazados del complejo de

intercambio y son lixiviados a horizontes más profundos. Por lo cual se observa una disminución en la concentración de las bases de saturación y una paulatina disminución del valor de pH en el suelo. (Fassbender, 1987; Fuentes, 1999; Ortiz *et. al.* 1980; Buckman *et. al.* 1985)

El calcio en el suelo puede estar presente en diversas formas formando compuestos orgánicos e inorgánicos, y en forma de catión  $\text{Ca}^{++}$  el cual se encuentra en la solución del suelo absorbido al complejo de cambio, en donde juega una excelente misión floculante. Como ya se menciono el calcio es el catión predominante en el complejo de cambio representando hasta el 90% de la capacidad de intercambio cationico.

Diversas son las funciones que tienen este catión en la vegetación de entre las cuales se encuentra según Ortiz *et. al.* 1980. Constituye la pared celular, promueve el desarrollo de las raíces, neutraliza los ácidos orgánicos, etc.

Los valores de Ca para **Parque Nacional Desierto de los Leones** en el año de 1993, se encuentran dentro de los valores propuestos por Reimann, Kabata, País (1998, 2000, 1997) en la Tabla 7 pagina 16. Pero en el año de 1999, las lecturas de concentración en el material edáfico, presentan concentración valores rebasan por mucho los propuestos por los autores antes mencionados, los aumentos en las concentraciones del año de 1999, son de hasta 90 veces para A, mas de 100 veces para B y más de 90 veces para C. Las diferentes concentraciones de esta zona son presentadas en la Figura 31a.

Estas altas concentraciones son resultados de las altas depositaciones atmosféricas,

Este elemento tiene una  $r^2 = 0.817$  con el Potasio, en el año de 1993. Para el año de 1999 se presenta  $r^2 = 0.905$ ,  $-0.825$  con K y la profundidad respectivamente. Los valores de las correlaciones son expuestos en la s tablas 20 y 21 expuestas en las paginas 123 y 124.

En la determinación del Calcio en **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl** en el año de 1993, los valores obtenidos en las concentraciones de las diferentes profundidades, siguen un comportamiento similar que el K, en las 2 primeras profundidades se presenta un decremento en el contenido respecto al año de 1999, las lecturas obtenidas rebasan de 2 a 3 veces los valores propuestos en la Tabla 7 pagina 16, las diferentes concentraciones son expuestas en la figura 31b.

Este elemento guarda una  $r^2 = 0.950$  con K de con una significancia de 0.01, en el año de 1993, obsérvese la Tabla 22 de la pagina 125.

Para el año de 1999, las concentraciones obtenidas rebasan de 2 a 3 veces las lecturas propuestas en la Tabla 5, especialmente en el horizonte de 120 cm de profundidad, es cual es rebasado por 15 veces, llegándose a considerar como

Concentración tóxica. Esta situación de repite en la profundidad de 150cm, véase la Figura 31.

En este año este elemento guarda un valor de  $r^2=0.932$ , con el K. Este valor esta indicado en la Tabla 23 ubicada en la pagina 126. Las diferentes concentraciones en el perfil se observan en la Figura 31b.

La determinación del contenido de **Ca**, en el suelo de la zona del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993, se obtuvieron altas concentraciones, en especial las profundidades de 30 y 45 cm cuyas lecturas se encuentran en niveles tóxicos de acuerdo con Reimann quien propone concentraciones para los diferentes horizontes de 18000, 24900, 67300 a, b, c respectivamente. La concentración en las profundidades posteriores se encuentran en niveles un poco arriba del mínimo.

En el año de 1999, las lecturas obtenidas muy cercanas intervalo mínimo de 120, 170, 340 para A, B Y C respectivamente propuesto por Reimann(1998), lo que indica que este catión se encuentra en niveles de deficiencia, los diferentes estados de concentración, de cada horizonte se encuentran en la Figura 31c.

El valor de la correlación del año de 1993, es de 0.932 con una  $\alpha$  de 0.01. En el año de 1999, se presenta una  $r^2=0.993$ , con una  $\alpha$  de 0.01. Presentados en las tablas 24 y 25 ubicados en las paginas 127 y 128 respectivamente.

## 20. 1. 2. Determinación de K.

Las concentraciones obtenidas en el Parque nacional Desierto de los Leones, en el año de 1993 de K se encuentran dentro de un intervalo de 810, 900, 2000 expuestas en la Tabla 7 en la pagina 16. Pero en el año de 1999, las concentraciones rebasan este intervalo de este elemento en el suelo, con más 300 veces mayor para los horizontes superficiales,

Para el horizonte B 120 veces mas altos y para el horizonte más profundo el valor es de 3000 veces mas alto en el 1999 con respecto al año 1993 de K. Las diferentes concentraciones son expuestas en la figura 32a, las cuales se pueden considerar como concentraciones tóxicas, de acuerdo (Kabata Reimann) expresados en la Tabla 7, se observan las concentraciones en los diferentes horizontes del año de 1999. Solo se observan niveles normales en la concentración en Profundidad de 120 cm.

En la figura 31a se observa la grafica de las concentraciones en las diferente profundidades que constituyen este perfil. Las altas concentraciones de este elemento en el suelo de este parque son los resultados de la depositación atmosférica. Obsérvese la figura 32a.

Al aplicar la prueba estadística de Pearson, al año de 1993, para este elemento, se obtuvo una  $r^2 = 0.817$  con el Calcio. Cuyo valor aparece en la Tabla 20 de la página 123. Aplicando la misma prueba estadística al año de 1999, presenta una alta correlación con Ca, obsérvese la Tabla 21 ubicada en la página 124.

Para la zona del Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl, el contenido de K en el año de 1993 se encuentra en niveles normales de acuerdo los valores de Reimann, Kabata) expuestos en la tabla 7 página 16. Pero en el año de 1999 se observan un intervalo con altas acumulaciones en las profundidades de 120 y 150 cm, las cuales son resultado de una migración a estas profundidades, sin embargo aunque estas concentraciones sobrepasan las propuestas de los autores antes mencionados no se pueden considerar con tóxicas.

Esta acumulación puede ser debida a que existe un alto contenido de arcilla en la profundidad de 120cm, de acuerdo con la figura 14, página 38. Ya que el K es un macroelemento del complejo de intercambio de las arcillas. La diferencia del incremento de las concentraciones entre los 2 años de estudio se observan en la figura 32b.

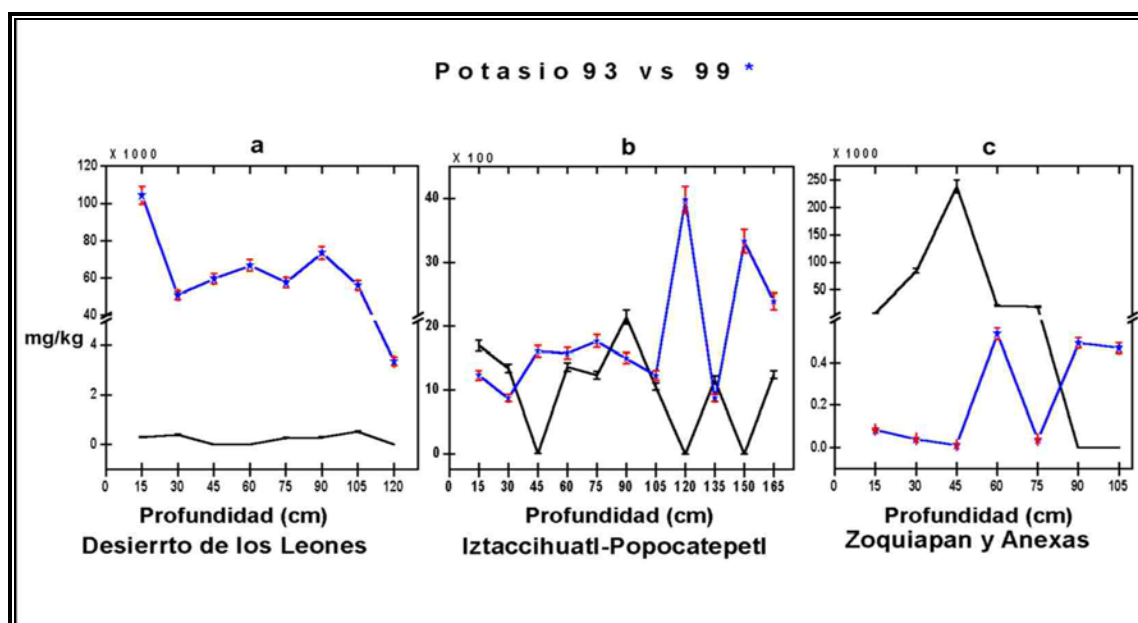


Figura 32. Contenido de K en las 3 zonas de estudio.

Dado que la depositación ácida sobresaesura el complejo de intercambio de las arcillas estos desplazan a los cationes en este caso el K, es cual por los efectos del incremento del % de espacio poroso es llevado a profundidades internas de perfil.

Aplicando una prueba de Pearson a este elemento en el año de 1993, arroja una  $r^2=0.932$  con Calcio  $\alpha$  de 0.05. Pero para el año de 1999, este elemento guarda una  $r^2= 0.905$  con Ca con una  $\alpha$  de 0.01. Los valores de las correlaciones para este elemento en esta zona se observa en las tablas 22 y 23 expuestas en las paginas 125 y 126 respectivamente.

Los valores de las cuantificaciones de Potasio en la zona de **Zoquiapan y Anexas** en el suelo, presenta concentraciones tóxicas él en año de 1993, en los primeros cinco estratos de ese año, los cuales sobrepasan por mucho los valores propuestos por Reimann en la Tabla 7 de la pagina 16.

Pero en el año de 1999, las concentraciones obtenidas presentan una alta disminución con respecto de las concentraciones del 1993, donde los primeros 3 estratos presentan concentraciones muy inferiores al valor mínimo propuesto en la Tabla 7. Pero en los horizontes subsiguientes, aumentan la concentración, a niveles normales. Las lecturas de los perfiles del año de 1993 y 1999, con sus respectivas concentraciones se observan en la Figura 32c.

Realizado un análisis estadístico a este elemento en el año de 1993, presenta correlación positiva con Ca. Para el año de 1999, sigue la correlación con el Ca, aunque se incrementa el valor de correlación. Los valores de las correlaciones se observan en las tablas 24 y 25 de las paginas 127 y 128 respectivamente.

Los elementos Ca y K son esenciales para las plantas y animales, si las concentraciones son elevadas pueden presentar problemas. Las movilidades de estos elemento estarán en función del valor de pH y condiciones ácidas del suelo, aunque esta condición afectara mas al Ca, ya que las arcillas presentan una gran afinidad por este elemento, K es en orden el tercer elemento en afinidad del complejo arcilloso. Esto evidencia la acción de la depositación ácida en las zonas del Desierto de los leones y Iztaccihuatl-Popocatepetl, cuyo comportamiento es similar. Pero la zona de Zoquiapan no se se verifica este efecto.

## **20. 2. Microelementos en las tres zonas de Estudio.**

### **20. 2. 1. Determinación de Co.**

Biológicamente es esencial pues el cobalto es el átomo central en la vitamina B12. Es tóxico para el ser humano en dosis de 25 mg/día o mas. En caso de agua de beber es tóxico a concentraciones > de 2 mg/l. Es un carcinógeno, en caso de deficiencias se considera despreciable.

El cobalto así como él Ni, Ag, Pb, Cu, Fe se pueden observar en la minería y de procesos de combustión de carbón y lavado.

El desplazamiento de cobalto en suelos agrícolas es un problema presente ya que se está incrementando. Los suelos considerados con deficiencia de este elemento < de 5 mg/kg, pueden ser ayudados con fertilizantes que contengan Co. El exceso de Co puede originar deficiencias en Fe y Cu. (Reimann, 1998; País, 1997)

Las Concentración de Co obtenida en el **Parque Nacional del Desierto de los Leones** del año de 1993, son elevadas con un intervalo que va desde 22.1-88.51 mg/kg, pero el año 1999 descienden significativamente a un intervalo de 0-83.8 mg/kg, presentando acumulaciones en las profundidades 15, 75 y 90 cm, esto es observado en la figura 33a, acercándose a las concentraciones propuestas por los investigadores de la Tabla 7 página 16.

Las determinaciones en el **Parque Nacional Iztaccihualt-Popocatepetl** del elemento Co por PIXE, indican un incremento en las concentraciones en el año de 1999 con respecto a 1993, en los 2 primeros niveles, pero en profundidades posteriores, las concentraciones de 1999, rebasan a las del año de 1993, especialmente en las profundidades de 120 y 150 cm, de acuerdo con Reimann Y Pais, pero no así para Aubert que propone un intervalo de .05 a 200 mg/kg en la Tabla 6 página 16, las concentraciones son consideradas como tóxicas.

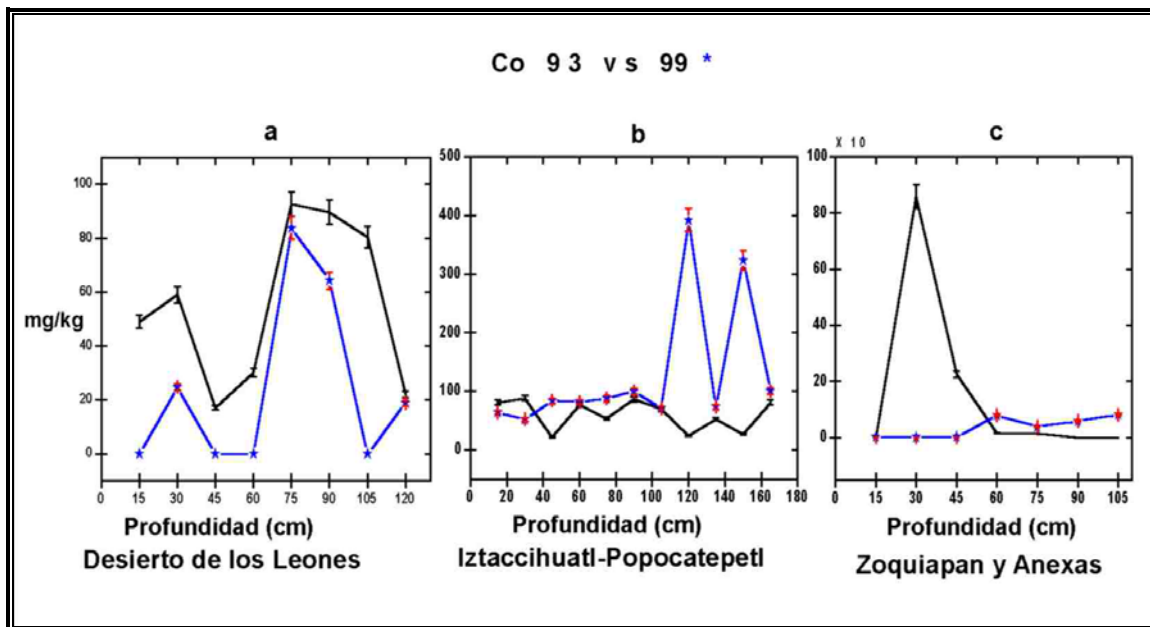


Figura 33. Concentraciones de Co en las 3 zonas de estudio

Estas diferencias en las concentraciones entre los 2 periodos se observan en la Figura 33b.

En esta zona se observa una migración de este elemento, al interior del perfil ya que este elemento también es solubilizado por el efecto ácido en el suelo. Ya que de

acuerdo con la figura 18 de la pagina 52 esta zona es la que presenta los cambios más drásticos de valor de pH.

En la determinación del contenido de Co en las muestras del suelo de la zona de **Zoquiapan** en el año de 1993, se obtuvieron concentraciones con un alto nivel de toxicidad en dos de los horizontes del perfil, a las profundidades de 30 y 45 cm. Esto valores sobrepasan casi 10 y 3 veces respectivamente el valor tóxico de presentado en la Tabla7.

Este elemento presenta altas acumulaciones en los suelos de esta zona en el año de 1993, sin llegar a ser tóxicos. Las profundidades subsiguientes se encuentran por encima de los niveles de normalidad pero no llegan a ser considerados como tóxicos.

Para el año de 1999, los valores se encuentran cercanos al nivel de normalidad, salvo el contenido de la profundidad de 60, cuyo valor se encuentra muy cercano al nivel tóxico, las profundidades posteriores se encuentran por encima de la normalidad por casi 4, 5 y 8 veces.

En la zona del Desierto de los Leones el Cobalto tiene una  $r^2 = 0.780$  con K con una  $\alpha = 0.05$ , en el año 1993, estos valores son presentados en la Tabla 20 pagina 123.

En la zona de **Iztaccihuatl-Popocatepetl**, este elemento guarda estrechas correlaciones en el año de 1993, con Ca y K con niveles de significancia de 0.01, dichos valores son expuestos en la tabla24 pagina 127. Para el año de 1999, Los valores de correlación son de 0.941 para K con un nivel de significancia de 0.01 y un valor de  $r^2 = 0.987$  para Ca, con el mismo nivel de significancia, cuyo valor es presentado en la tabla 22 y 23 de las paginas 125 y 126 respectivamente..

Y para la zona de Zoquiapan y Anexas, el Cobalto tiene una  $r^2 = 0.780$  con K con una  $\alpha = 0.05$ , en el año 1993, estos valores son presentados en la Tabla 20 pagina 123. En el año de 1993, no se presenta correlación alguna, pero en 1999 si se presentan correlaciones con el orden siguiente: Ca > K. Con una significancia de 0.01. Los valores son expuestos en la s tablas 24 y 25 ubicadas en las paginas 127 y 128.

### **20. 2. 2. Determinación de Zn.**

El Zinc existe en el suelo en solución como el catión  $Zn^{2+}$ , el cual es intercambiable y se encuentra también como complejo orgánico. La viabilidad es afectada por el pH del suelo, ya que decrementa cuando incrementa el pH. También puede ser afectada cuando los niveles de fósforo son muy altos. Por otro lado los



altos niveles de Zinc inducen a una deficiencia de hierro en muchas plantas, particularmente sin son sensibles al Hierro. ( Reimann, 1998; País, 1997)

Para el Zn, las concentraciones en el año 1993 del Parque Nacional Desierto de los Leones están dentro del intervalo de 1.9, 9.7, 12.6, para los horizontes A, B Y C que prepone Reimann para la normalidad, pero para el año de 1999 estas concentraciones se elevan véase la Figura 34a, sin llegar a niveles tóxicos, de acuerdo a la Tabla 7 de la pagina 16.

Las concentraciones del Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl del elemento Zn, en ambos periodos de estudios se encuentran dentro de los valores de normalidad de acuerdo con los valores propuestos en la Tabla7. Solo se observa una alta Concentración en la profundidad de 120 cm, en el año 1999, aunque este valor no entre en la categoría de toxicidad. Las diferentes concentraciones detectadas por PIXE en ambos periodos de estudio se observan en la Figura 34b.

En esta también en este elemento se puede visualizar los efectos del decremento del valor del pH el cual origina una solubilidad y una migración a profundidades internas del perfil y su seguida acumulación.

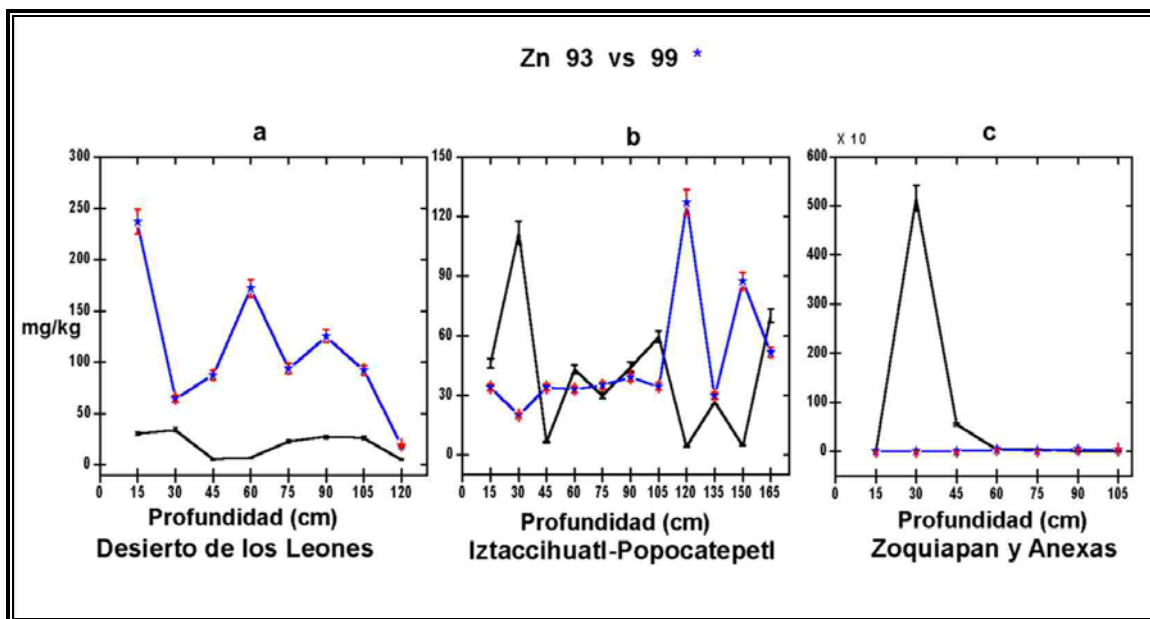


Figura 34. Contenido de Zn en las zonas de estudio

En los resultados del Zn en el Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas, por la técnica de PIXE, se determina que los valores se encuentran en niveles de normalidad, a excepción de los horizontes de 30 y 45 cm, ya que ambos presentan

concentraciones altísimas que llegan a considerados como tóxicas, ya que rebasan por 200 y 16 veces los valores de normalidad.

Para el año de 1999, las concentraciones de los tres primeros horizontes se encuentran por niveles de concentración mínima, las profundidades posteriores se encuentran en niveles normales de acuerdo con la Tabla 6. Las diferentes concentraciones se observan en la Figura 34c.

En esta zona en el año de 1993 se observa la altas depositaciones proveniente de la atmósfera. Y para el año de 1999 se presentan valores bajísimos posiblemente arrastrados a los mantos freáticos.

En la zona del Desierto de los Leones, este elemento guarda correlaciones altas en el año de 1993, para K, Ca y Co con un nivel de significancia de 0.01 y con 0.05 para el tercer valor, ver Tabla 32, pero estas correlaciones cambian en el año 1999, teniendo relación solo con K y Ca con un nivel de significancia de 0.01, los valores de estas correlaciones son presentados en las tablas 20 y 21 de las paginas 123 y 124.

Para la zona de Iztaccihuatl-Popocatepetl, de acuerdo al análisis estadístico de Pearson, se obtuvieron las siguientes correlaciones en el año de 1993, se tienen un nivel de significancia de 0.05 para K, Ca y con valores para Co con un nivel de significancia de 0.01. Los valores de estas asociaciones son expuestos en la tabla 22 de la pagina 125. Para el año de 1999 presenta correlaciones con K, Ca y Co con un valor de significancia de 0.01 para todos los elementos, los valores aparecen en la Tabla 23 de la pagina 126.

Par la zona de **Zoquiapan y Anexas**, en el análisis estadístico del año de 1993, este elemento presenta una alta correlación con **Co**, con una significancia de 0.01. Para el año de 1999, presenta la siguiente serie de correlaciones en forma decreciente: Co> Ca> K. Con un valor de 0.01 de significancia. Los valores son presentados en las Tablas 24 y 25 de las paginas 127 y 128.

### **20. 2. 3. Determinación de Cu.**

El Cu, se considera un Mcronutriente esencial con un rango de 5 a 30 mg/kg en pesos seco. La toxicidad ocurre cuando exceden niveles de 20 a 30 mg/kg. El exceso de Cu puede provocar una deficiencia en Zn y viceversa. Por otro lado las deficiencias de cobre suceden en suelos orgánicos y sobre suelos minerales con un alto pH (>7.5) y con un contenido de materia orgánica alto (>2%).

Algunas fuentes de donde proviene el Cu son las industrias metalúrgicas, las mineras, industria plástica, trabajos metalúrgicos, agricultura, polvo geogénico, intemperización de rocas, lodos. ( Reimann 1998; País, 1997)

Las concentraciones obtenidas de Cu en el Parque Nacional del Desierto de los Leones del año de 1993, esta dentro de los rangos de normalidad propuestas por Reimann normales de acuerdo a las concentraciones presentadas en la Tabla 7. Pero en el año de 1999 estas presentaron concentraciones con niveles tóxicos, según de acuerdo a las cantidades que proponen los investigadores en la Tabla 7, observar Figura 35a. Este aumento en la concentración es proveniente de la depositación atmosférica.

Este elemento guarda correlaciones altas con K, Co y Zn con una significancia de 0.01, ver Tabla 32, sección de anexos, pero en el año de 1999 dichas relaciones desaparecen. Véase las tablas 20 y 21 de las paginas 123 y 124 respectivamente.

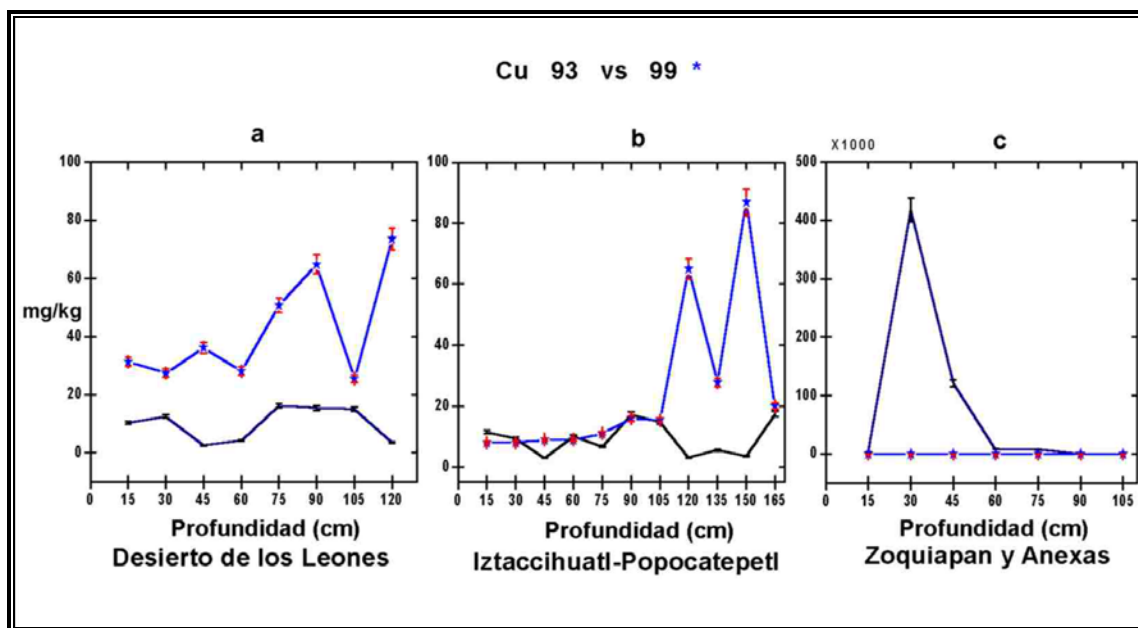


Figura 35. Contenido de Cu en las zonas de estudio

En la cuantificación del elemento **Cu** en la zona del **Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl**, en el año de 1993 las lecturas obtenidas se observan un comportamiento en cual se encuentra en un intervalo de 0-20 cuyos valores se encuentran en niveles de normalidad de acuerdo con la tabla de la pagina 16.

Pero en el año 1999, se presentan altas acumulaciones en los horizontes internos del perfil, aunque al existir esta acumulación no se encuentran en niveles tóxicos. Las diferentes concentraciones de los años del estudio son expuestas en la figura 35.

Esta acumulación son los resultados de la migración derivada de creciente ingreso de sustancias ácidas al suelo, este exceso de Cu puede provocar una deficiencia en Zn y viceversa.

De acuerdo con los análisis estadísticos de Pearson, aplicados en el año de 1993, a este elemento. Las correlaciones obtenidas en el análisis estadístico para este elemento, en el año de 1993, guarda correlación con K y Co, con un nivel de significación de 0.01. Y con Ca y Zn cuyo valor de significancia es de 0.05. Estos son presentados en las tablas 22 de la pagina 125.

Para el año de 1999, se presentan correlaciones con K, Ca, Co y Zn. Con un nivel de significancia de 0.01. Los valores son expuestos en la Tabla 23, ubicada en la pagina 126.

En la determinación de las concentraciones de **Cu** en el **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993, se obtuvieron concentraciones altísimas en la mayoría de los horizontes del perfil a excepción de los dos últimos estratos, las cuales pueden ser consideradas como tóxicas. Estas concentraciones son derivadas de la depositación atmosférica ya que se encuentra en las profundidades de 30 cm.

Para el año de 1999, se observa un decremento en la concentración de este elemento en los 4 primeros horizontes, cuya concentración esta por debajo de los valores de contenido mínimo y los horizontes posteriores están en un nivel de normalidad. Los diversos cambios en el contenido de este metal en el suelo de aprecia en la figura 35c.

En el análisis estadístico realizado a ambos periodos de estudio. Se obtuvieron las siguientes series de correlaciones en orden decreciente:

Para el año de 1993: Co > Zn.

Para el año de 1999: Ca > Co > Zn > K. Observándose un aumento en el número de correlaciones en el año de 1999.

Los valores de estas correlaciones son presentados en las Tabla 24 y 25 de las paginas 127 y 128 respectivamente.

#### **20. 2. 4. Determinación de V.**

Este elemento es esencial para algunos organismos. Algunos compuestos de este pueden incrementar el crecimiento alrededor de un 40%. El V afecta la producción de biomasa. También puede ser Tóxico y este va a depender grandemente de la especiación y estado de oxidación. Los aceites pueden no tener altas concentraciones de V sin embargo el carbón si los puede tener.

Las fuentes, pueden ser los aceite, la combustión de carbón, producción de acero trafico intemperismo geogénico y polvo.

Para el V las concentraciones obtenidas, en el Parque Nacional del Desierto de los Leones en el año de 1993 demuestran una alta concentración, que esta por encima de los valores propuestos en la Tabla 7, para este elemento. Solo dos últimos horizontes cuentan con una concentración cercana a la normalidad.

Para el año de 1999, presenta valores de contenido muy cercanos a la concentración mínima propuesta por Reimann (1998). Las diferentes concentraciones son presentadas en la Figura 36a. En este año se presenta una alta concentración en la profundidad de 60 cm, Esta es derivada de la depositación atmosférica, la cual migra a profundidades inferiores.

Al aplicar una prueba de Pearson para los años de estudio se obtuvieron los siguientes resultados. En el año de 1993, solo se presentan dos correlaciones con  $K > Ca$ . Con un valor de significancia de 0.01. Para el año de 1999, se incrementa en número de correlaciones y tienen la siguiente serie decreciente:  $Ca > Co > Zn > K$ . Con una significancia de 0.01.

Los valores de estas correlaciones se presentan en las tablas 20 y 21 de las paginas 123 y 124. sección de anexos.

Las determinaciones de **V**, presentes en la zona de **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl** presentan altas concentraciones en el año de 1999 con respecto al año de 1993, en la figura 36 se observa las diferentes concentraciones en los perfiles de cada año. En la profundidad de 120 y 150 cm, se observan dichas acumulaciones sin rebasar los niveles de normalidad de acuerdo a la Tabla 7.

Estas acumulaciones son el resultado del arrastre ya que Parametros como él & de espacio poroso decremento aumentando la migración y también puede ser atribuida esta acumulación a la alta solubilidad ocasionada por la acidez del suelo.

En el análisis estadístico de Pearson, en las lecturas obtenidas de este elemento, en el año de 1993, presenta la siguiente correlación en orden decreciente:  $Co > K$ ,

$Ca > Cu > Zn$ , con un valor de significancia de 0.01. Obsérvese la Tabla 22 en la pagina 125.

Para el año de 1999, los elementos que guardan una relación estrecha con el V, en orden decreciente son  $Ca > Co, Zn > K > Cu$ , con un valor de significancia de 0.01. Estos valores están contenidos en la Tabla 23 ubicada en la pagina 126.

En el año de 1993, las concentraciones de V, del Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas, fueron altas y presentan un carácter de toxicidad especialmente en la profundidad de 45 cm, lo cual implica riesgos para la vegetación de la zona.

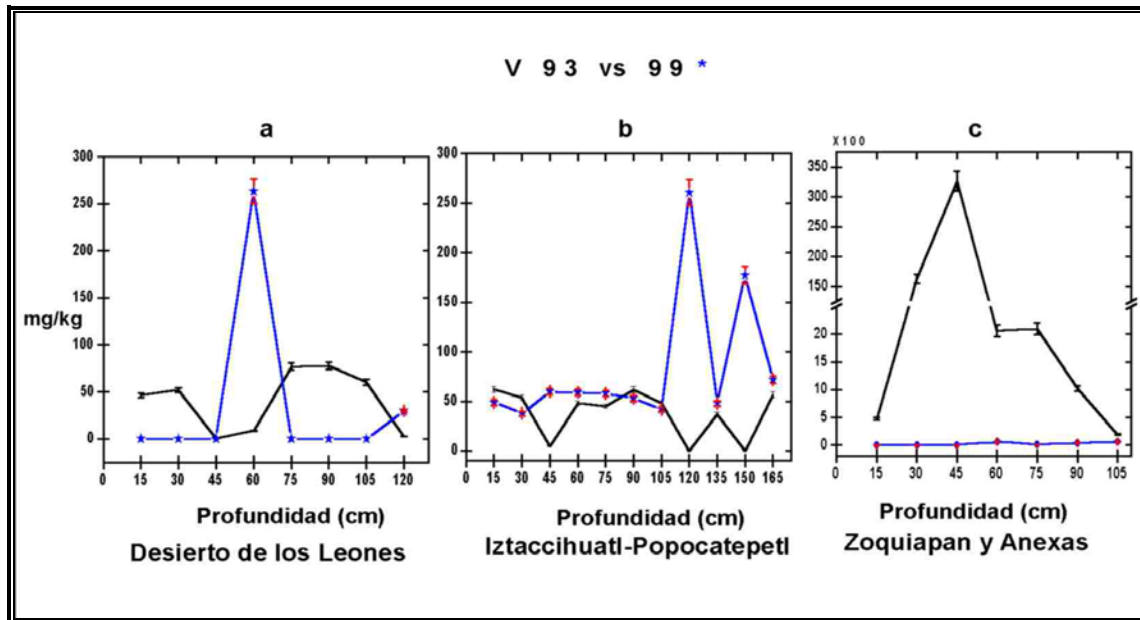


Figura 36. Contenido de V en las zonas de estudio

Pero no así en el año de 1999, donde las concentraciones disminuyeron drásticamente las cuales se encuentra por los niveles normales de acuerdo a los valores propuestos por Reimann, en la Tabla 7 de la pagina 16.

Este elemento guarda correlaciones con K, Co, Zn y Cu, cuyos niveles de significancia son de 0.05 para el primero y 0.01 para los posteriores en el año de 1993. obsérvese la Tabla 24 de la pagina 127. Pero en el año de 1999, no se presenta correlación alguna.

Según Kabata (2000), Cuando están presentes cationes de Pb, Zn y Cu el vanadio tiende a precipitar, y acumularse, lo cual se observa en las profundidades de 45-60 y 105-120.

### 20. 2. 5. Determinación de Cl.

Esencial para el hombre y otros organismos. Sin embargo muchos compuestos de Cl son carcinógenos. También muchos compuestos clorados son bioacumulables ( DDT, PCB's, HFC's, dioxinas). Por otro lado en plantas el anion Cl<sup>-</sup> compite con otros aniones, como el nitrato (NO<sup>-3</sup>) y sulfatos (SO<sup>-2</sup>) para la toma.

Sus fuentes son: el spray de mar, emisiones volcánicas como (cl<sub>2</sub>), industria de potasio. (Reimann,1998; País,1997)

Por ultimo el Cl aunque no se tiene referencia, se observa un gran incremento en el año de 1999, respecto al año de 1993, en el **Parque Nacional del Desierto de los Leones**, indicando que existe una acumulación de este en este suelo forestal. Estas altas concentraciones en el año de 1999 son derivadas del deposito atmosférico. Véase la Figura 37a, .

En el año de 1993 no tienen relación con este grupo de elementos, pero en el año de 1999 solo presenta correlación con el Cu, con un nivel de significancia de 0.05. ver Tabla 31, sección de anexos.

Para la cuantificación del Cl, en el **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl** en el año de 1999. Estas concentraciones son aumentadas por casi 10 y 7 veces respectivamente en cada una de las profundidades de 120 y 150cm, demostrando acumulaciones en ambas profundidades. En este elemento se puede apreciar los efectos del ingreso de sustancias acidificante, ya que uno de estos es la destrucción del material particulado, originando una rápido lavado de los elementos contenidos en el suelo. En la Figura 37 se observa los diferentes contenidos de este elemento en ambos años del estudio. No se cuenta con referencia, para determinar el grado de concentración.

Realizado el análisis estadístico de Pearson a este elemento en el año de 1993, presenta altas correlaciones, con  $V > Co > K > Cu > Ca > Zn$ , todos ellos con valores de significancia de 0.01, observe la 22 de la pagina 125. Para el año de 1999, también presenta altas correlaciones con  $V > Ca > Zn > Co > K > Cu$ , todos ellos con un valor de significancia de 0.01. Véase la Tabla 23 ubicada en la tabla 23 pagina 126.

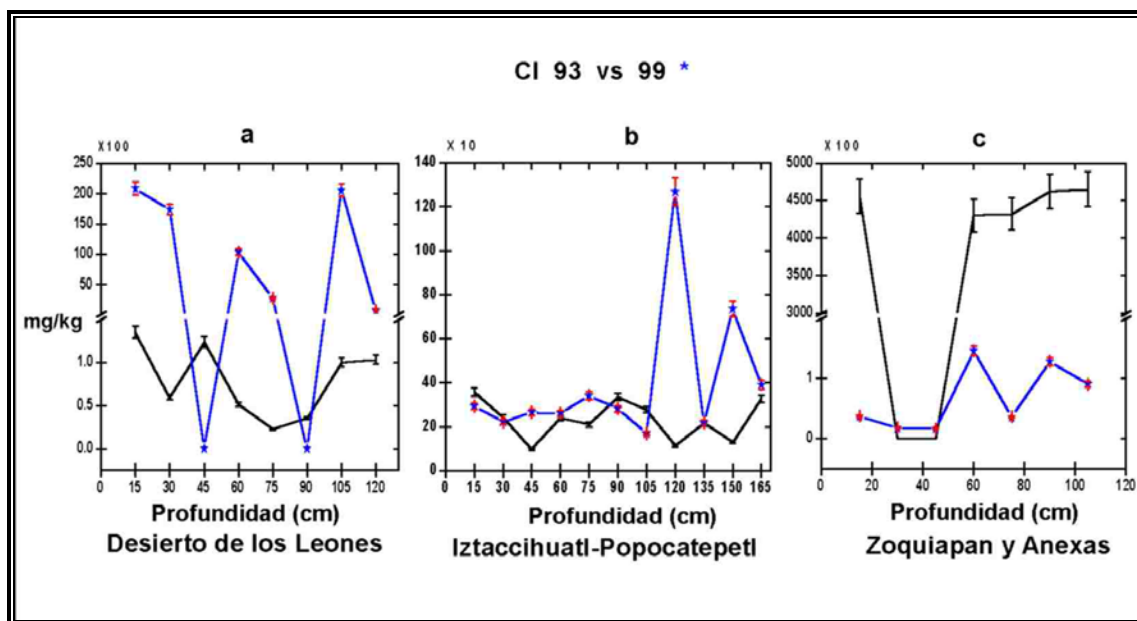


Figura 37. Contenido de Cl en las zonas de estudio

Para el elemento de **Cl** en el **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993 se presentan concentraciones muy altas en las profundidades de 15, 60, 75, 90 y 105, las cuales se encuentran con valores superiores de 4000 ppm y no se verifica el elemento en las profundidades de 31 y 45, Este comportamiento se observa en la Figura 37c.

Este comportamiento no sucede en el año de 1999, sino que sigue un comportamiento más homogéneo. Aunque no se cuenta con una referencia se puede determinar que los niveles de concentración del año de 1993 son dañinos para los organismos del suelo.

En los análisis estadísticos de este elemento, en el año de 1993 se obtuvieron las siguientes correlaciones:  $Ca > V > K$ . Con un nivel de 0.01. Y también presentan dos correlaciones con una significancia de 0.05,  $Cu > Co$ .

Para el año de 1999, se incrementa el número de correlaciones presentando el siguiente orden decreciente:  $k > Ca > Zn > Cu > V$ . Con un nivel de significancia de 0.01, los valores de las correlaciones se presentan en las Tablas 24 y 25 ubicadas en las páginas 127 y 128 respectivamente.

## **20. 3. Mesoelementos en las tres zonas de estudio**

### **20. 3. 1. Determinación de Mn.**

La cuantificación de las concentraciones en el Parque Nacional del Desierto de los Leones de estos 2 elementos en el año de 1993 se encuentran dentro de los rangos propuestos por Reimann, aunque para el Fe, el contenido de este en el año de 1999, 2 de los horizontes salen de dichos valores de lo cual se deduce que la acumulación de estos 2 elementos en este suelo, es debida principalmente a la Deposición de actividades antropogénicas.

Para el Mn en el año de 1993 se presentaron altas concentraciones en los 2 primeros horizontes rebasando los valores propuestos por Reimann en la Tabla 7, por casi 3 veces pero no presentan condiciones de toxicidad, los horizontes posteriores están por debajo de los rangos normales. En el año de 1999 todos los horizontes rebasaron por mucho los valores de la Tabla 7 de la página 16, y solo presenta valores de toxicidad en el último horizonte del año 1999. Obsérvese la Figura 38a. Se observa una migración de este elemento hacia el interior del perfil mostrando concentraciones elevadas en mayores profundidades, en el año de 1999.

Estos elementos guardan una relación con K, Ca y Zn con un nivel de significancia de 0.05 para el primero y 0.01 para los segundos, para el año de 1993. Véase la tabla 20 de la página 123. Para el año de 1999 solo tiene relación con K, con una significancia de 0.05. los valores de estas correlaciones se observan en la tabla 21 de la página 124.



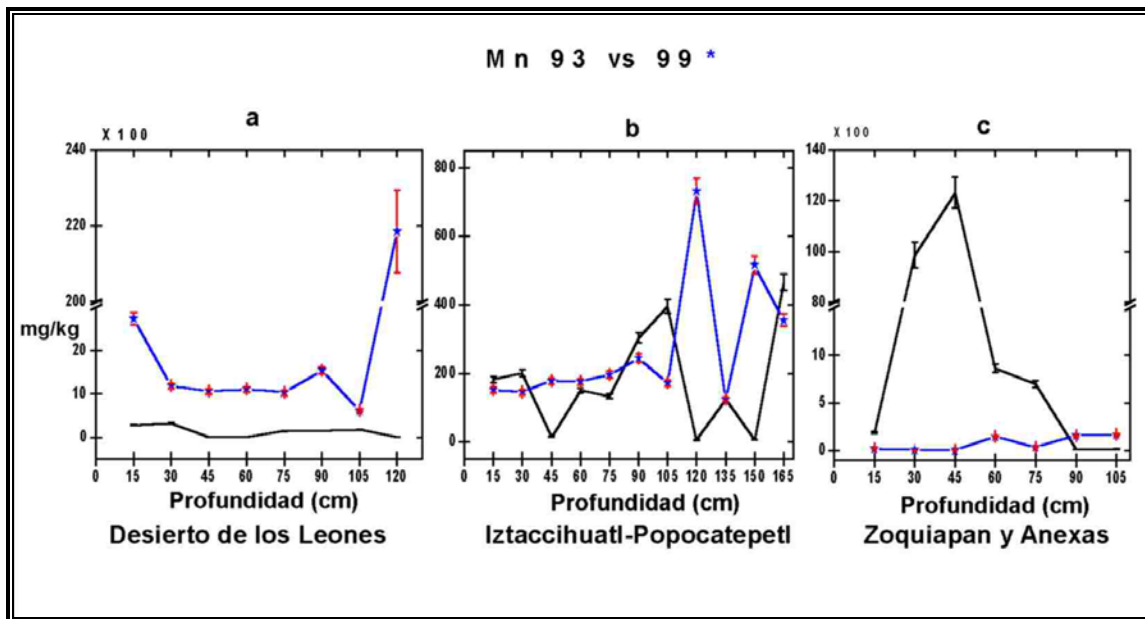


Figura 38. Contenido de Mn en las 3 zonas de estudio.

La cuantificación de Mn en el Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl, se encuentran dentro de los parámetros de normalidad, en el año de 1993, sin embargo en el último estrato se presenta una acumulación que sobrepasa por casi el doble el valor Propuesto por Reimann, de acuerdo con la Tabla 7 página 16.

En el año de 1999, se denota un decremento en las concentraciones en los primeros 7 horizontes, sin embargo en la profundidad de 120 cm, presenta un acumulamiento por casi el doble de la cantidad que se detectó en el año 1993, sin llegar a niveles de toxicidad y en las profundidades de 150 y 160 cm, nuevamente se presentan acumulaciones, que sobrepasan con casi el doble las propuestas por Reimann(1998) y los diferentes niveles de concentración de ambos años de estudio se observan en la Figura 34b.

En el análisis estadístico efectuado a este elemento, en el año de 1993, presenta un nivel de significancia de 0.01 y una relación con orden decreciente con  $Co > Cu > Cl > V$ , y  $Zn > K$ , con 0.05 de significancia. De acuerdo con la tabla 22 de la página 125. Para 1999, se incrementa el número de correlaciones así como el nivel de significancia, el cual es para todos de 0.01, siguiendo el siguiente orden decreciente  $Zn > K > V > Cl > Co > Cu$ . Obsérvese la Tabla 23 de la página 126.

El contenido del elemento Mn en el Zona de Zoquiapan y Anexas, año de 1993, se encuentran por encima de las concentraciones normales propuestas en la Tabla 6.

Acercándose a niveles tóxicos. Pero se observa una conducta contraria en el año de 1999, donde las concentraciones están por debajo de los niveles propuestos por Allen, Kabata y de las concentraciones de normalidad propuesta por Reimann. Otra particularidad que se presenta en esta zona es de que en el año de 1993, solo presenta 4 correlaciones con un nivel de significancia de 0.01, teniendo el siguiente orden decreciente: Ca> Cl> V> K.. Para el año de 1999, se presenta un incremento en él numero de correlaciones en el siguiente orden decreciente: Ca> K> Zn> V> Co> Cu, Cl. Los valores de las correlaciones para el año de 1993y 1999, son expuestos en las tablas 24 y 25 de las paginas 127 y 128 respectivamente

### 20. 3. 2. Determinación de Fe.

Es esencial para todos los organismos. La viabilidad en suelos depende del pH, del contenido de fosfato, contenido de otros metales(Co). La deficiencia de Fe esta muy influido por la riqueza de Ca. Algunas plantas consumen el Fe (Guisante, papa y tomate).(País,1997)

En lo que respecta a las concentraciones de Fe del Parque Nacional del Desierto de los Leones en 1993, se encuentra dentro de las concentraciones normales de acuerdo con la tabla 7 pagina 16, este elemento guarda relación con K, Co, Zn, Cu y V, con significancia de 0.05 para el primero y 0.01 para los posteriores, los valores de estas correlaciones son apreciados en la tabla 20 pagina 123..

Pero en el año de 1999, estos valores se disparan en concentraciones muy altas rebasando por más de 2 veces los valores propuestos por Reimann, Presentándose una acumulación derivada de la depositación atmosférica en la profundidad de (0-15). Observándose una acumulación que rebasa los valores de la Tabla 6 de este elemento en la ultima profundidad, siendo esta la migración vertical de este elemento por la alta solubilidad que sufre por la acidificación paulatina y constante del suelo. Ya que este elemento es solubilizado a pH menores a 5, de acuerdo con la tabla 2 de la pagina 5.

Las diferentes concentraciones entre las diversas profundidades se observan en la Figura 39b, este elemento tiene solo con el K correlaciones con un nivel de significancia de 0.01, y 0.05 para Ca, Zn y Mn. Los valores de estas correlaciones son expuestos en la tabla en la tabla 21 pagina 124. Para el año de 1999, se incrementa él numero de correlaciones ya que se incrementan las concentraciones de este elemento en el suelo de este parque, Cu>V>Co>Zn con valores de significancia de 0.01 y K con 0.05 de significancia. Los valores de estas correlaciones son expresados en la tabla 21 pagina 124

En la cuantificación de Fe, en la zona de **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl** el año de 1993, se obtuvieron concentraciones que sobrepasan los valores de normalidad, pero no llegan a ser considerados como tóxicos, de acuerdo a los valores propuestos en la Tabla 7 pagina 16.

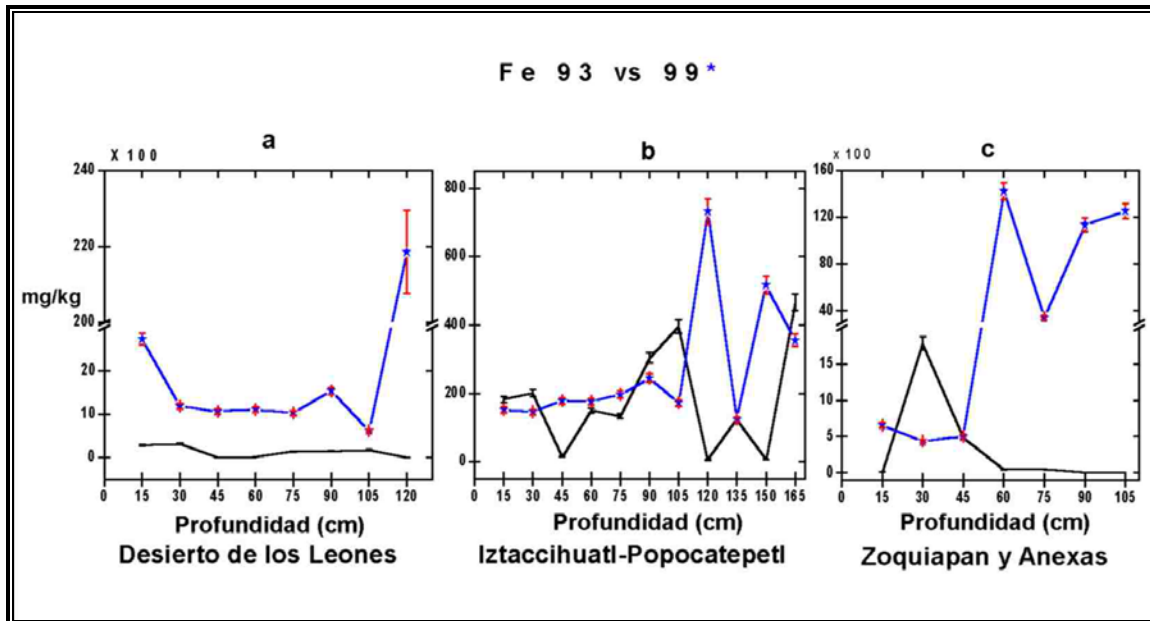


Figura 39. Contenido de Fe en las 3 zonas de estudio

Para el año 1999, se observa un decremento en los 7 horizontes del perfil, pero en de la profundidad de 120 cm en adelante, la cuantificación arrojó valores que tienen de 2 a 800 veces la obtenida en 1993. Aunque estos valores sobrepasan a los encontrados en el año de 1993, no llegan a ser considerados como tóxicos. La gráfica de las diferentes concentraciones de este elemento se observa en la Figura 39b.

En el análisis estadístico que tiene este elemento presentan correlaciones con un valor de significancia de 0.01, con un orden decreciente de  $Co > V > Ca > Zn > Cl > Mn > K > Cu$ . Los valores de dichas correlaciones son presentados en la Tabla 21 pagina 124.

En el año de 1993 contenido de este elemento, en la zona de Zoquiapan y Anexas, esta dentro de los intervalos propuestos Reimann de en la tabla 7, presentaba un estado de normalidad, aunque se observa un incremento en las profundidades superiores especialmente en la profundidad de 30 cm. Para el año de 1999, se presentan concentraciones muy superiores al año de 1993, a partir profundidad de 60 cm, pero aunque se presenta este incremento las concentraciones están en niveles de normalidad.

De acuerdo a Foster 1989 y Rodison 1978, este incremento puede ser debido al cambio del valor de acidez del suelo ya que un de los efectos, es la solubilidad y movilidad de este elemento, el cual puede ser desplazado hacia profundidades inferiores tiene de la en esta zona. Y de la depositación atmosférica derivada de las actividades industriales.

Al realizar una prueba estadística de Pearson al año de 1993 presenta altas correlaciones con los siguientes elementos: V> Co> Ca> K> Cl> Cu> Zn, con un nivel de significancia de 0.01, y con Mn con un nivel de 0.05.

Aplicando la misma prueba al año de 1999, se presentaron altas correlaciones con los siguientes elementos Co> V> Ca> Zn> Cl> Mn> K> Cu. Con un valor de significancia para todos los elementos de 0.01.

Los valores de las correlaciones para los 2 años del estudio son expuestos en las tablas 22 y 23 de las paginas 125 y 126.

## **20. 4. Elementos Traza**

### **20. 4. 1. Determinación de Ti.**

Considerado no esencial. Algunos problemas ambientales pueden estar asociados Co la producción de Ti ( deposito ácido). El  $TiCl_4$  es usado para la creación artificial de niebla en muchas aplicaciones practicas. El Ti es considerado como un metal "light". Fuente : polvos geogénicos.(Reimann,1998; País,1997)

Los valores obtenidos de Ti en las concentraciones del suelo en el Parque Nacional del Desierto de los Leones en el año de 1993, se encuentran dentro de los valores normales en el suelo de este parque de acuerdo a Reimann en la Tabla 7, pero en el año de 1999, estos valores aumentaron grandemente encontrándose en un estado de toxicidad. En la Figura 40a, se observa el aumento de las concentraciones de este elemento en los diferentes años de estudio.

En el año de 1993, este elemento guarda una amplia relación con otros, K, Co, Zn, Cu, V, Fe, Ga, Ni, Cr, Rb y Ba, con todos ellos tiene un nivel de significancia de 0.01, y para el caso de Pb y Mn de 0.05.

En 1999 se observa una disminución en las correlaciones del Ti, quedando solo las que tienen con K, Fe, Ni y Al con una significancia de 0.01, también tiene correlaciones con una significancia de 0.05, con Zn, Mn, Ga, Rb, Ba y Zr. Los valores de correlaciones de ambos años del estudio son mostrados en las tablas 20 y 21 paginas 123 y 124 respectivamente.

En al cuantificación del **Ti** en el **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl** en el año 1993, se obtuvieron altos valores en comparación con los valores de normalidad, propuestos en la Tabla 7. Pero sin llegar al rango de tóxicos. En el año 1999, se observa un decremento en los valores obtenidos en los 7 primeros estratos del perfil. Después de la profundidad de 120 cm, se observa un alto contenido en los estratos subsiguientes. Pasando los valores de normalidad por casi 5 veces. Esto es resultados del arrastre de este elemento a profundidades internas del perfil. Véase la Figura 40b.

Una vez realizado el análisis estadístico de Pearson, este elemento guarda el mayor número de relaciones y correlaciones de los demás elementos. En el año de 1993, tiene relaciones con un nivel de significancia de 0.01, con los siguientes elementos: V > Fe > Rb > Cl, Co > K > Ca > Ba > Zr > Cu > Cr > Mn > Pb > Ga > Ni > Zn. Cuyos valores se encuentran en la Tabla 22 de la página 125.

En el año de 1999, se verifica un decremento en la relación y el número de correlaciones: Fe > Ga > Co > V, Pb > Ca > Rb > Ni > Zn > Cl, Mn > K > Cu. Salvo el último elemento todos tienen una correlación con una significancia de 0.01. Cuyos valores están contenidos en la Tabla 23 página 126.

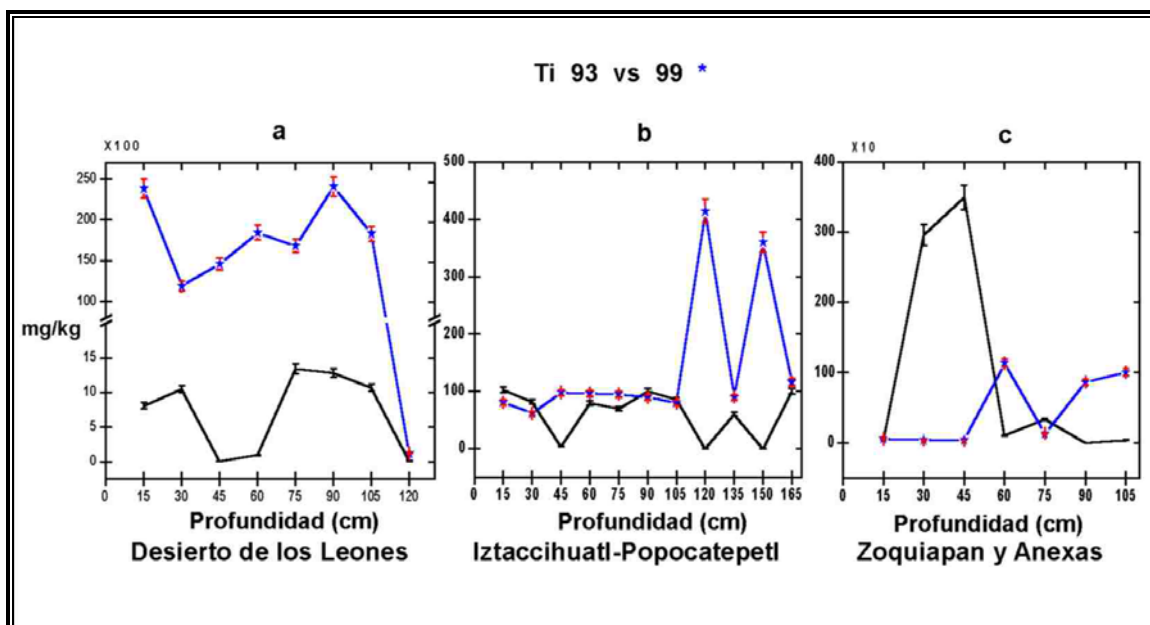


Figura 40. Contenido de Ti en las 3 zonas de estudio

La concentración de Ti en el suelo de la **Zona de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993, presenta acumulaciones en los horizontes de 30 y 45 cm, cuyas concentraciones son 2 y 3 veces superiores respectivamente. Pero en las profundidades posteriores presenta concentraciones bajas cercanas al mínimo de acuerdo a las cantidades propuestas por Reimann en la Tabla 7.

Para el año de 1999 las concentraciones que presentan los 3 primeros horizontes 15, 30 y 45 cm, están por debajo de los niveles de normalidad. Aunque existen concentraciones en profundidades posteriores están dentro de los niveles de normalidad. Los diferentes niveles de concentración en los años de estudio se observan en la Figura 40c.

Los análisis estadísticos en el año de 1993, arrojaron el siguiente orden decreciente de correlaciones: Mn > Ca > Cl > V > K > Ba. Con una significancia de 0.01. obsérvese la Tabla 24 pagina 127.

Para el año de 1999, se obtuvo el siguiente orden de correlación. Cr > Fe > Pb > Hg > V > K > Cu > Mn > Rb > Sr > Zn > Cl > Zr > Co > Ga. Con un nivel de significancia de 0.01. También presenta 2 correlaciones con una significancia de 0.05 para Ca > Ba. Obsérvese la Tabla 25 pagina 128.

#### 20. 4. 2. Determinación de Cr.

Para el caso de Cr, en el Parque Nacional del Desierto de los Leones en el año de 1993 se encontraba en los límites normales, pero este fue rebasado en el año de 1999, alrededor de 17 veces en los niveles superficiales, 118 veces para los intermedios y 720 veces para la profundidad más profunda, considerándose también como concentraciones tóxicas. Derivadas de las actividades antropicas. Véase la Tabla 7 pagina 16 y las variaciones en la concentración son observadas en la Figura 41a.

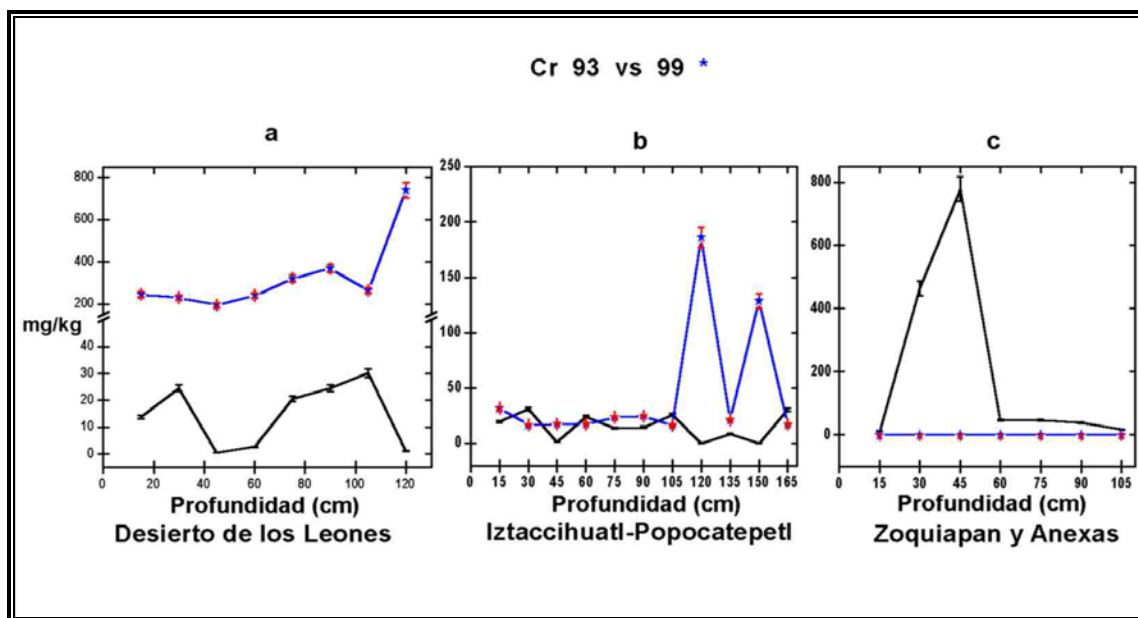


Figura 41. Contenido del Cr en las 3 zonas de estudio

El Cr guarda altas correlaciones con K, Co, Zn, V Fe, Ga y Ni con niveles de significancia de 0.01. Y 0.05 con Mn, en el año 1993, Véase Tabla 20 pagina 123. Pero en el año de 1999, y solo tiene correlaciones con Cu y Mn tienen una significancia de 0.01 y con 0.05 para K. Cuyo valores son expuestos en la Tabla 22 pagina 124.

En la cuantificación del contenido de Cr, en el material edáfico, del Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl del año 1993, las concentraciones obtenidas se encontraron dentro de los parámetros de normalidad. Según las diversas cantidades propuestas en la Tabla 7.

Para el año de 1999, se presentan altas concentraciones en la profundidad de 120 y 150 cm, donde el valor es de 5 veces la concentración normal propuesta en la Tabla 7. Estas concentraciones han migrado a estratos inferiores del perfil como parte de los efectos del drástico cambio en el valor del pH y el rompimiento de las partículas que conforman el suelo de esta zona.

En la Figura 41b se observan las diferentes concentraciones de este elemento en la zona de Iztaccihualt-Popocatepetl

De acuerdo al análisis estadístico de Pearson este elemento, presenta las siguientes correlaciones, en orden decreciente en el año de 1993: Zn> Co> Ni> Fe> V>Mn> Ca> Cu> Cl> Ga> K. Donde salvo él ultima valor presentan un nivel de significancia de 0.01 y él ultimo un valor de 0.05. Cuyos valores se observan en la tabla 22 pagina 126.

Para el análisis de 1999, se presenta el siguiente orden decreciente del valor de las correlaciones: Pb> Ca> Fe> V> Co> Cl> Zn>Mn> K> Cu> Ni. Donde todos presentan un nivel de significancia de 0.01, los valores se encuentran en la Tabla 23 pagina 126.

Para el caso de **Cr**, tiene un comportamiento similar que el Titanio. Presentando concentraciones tóxicas en todas las profundidades del **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas** en el año de 1993, esto de acuerdo a las concentraciones propuestas en la Tabla 6, destacan 2 grandes picos de concentración en las profundidades 30 y 45 cm.

Para el año de 1999, la concentración en las tres profundidades se encuentran por debajo del mínimo, pero las profundidades están en los niveles de normalidad de acuerdo con Reimann. Tabla 7.

En los análisis estadísticos de Pearson, para el año de 1993, se obtuvo el siguiente orden decreciente de correlaciones: Hg, Ga> Ca> Mn> K> Cl. Todos ellos con un valor de significancia de 0.01. Obsérvese la tabla 24 pagina 127.

En los análisis estadísticos para el año de 1999, se observo un incremento en numero de correlaciones, de este elemento, presentando el siguiente orden decreciente:

Fe> Ca> K> Pb> Mn> Ni> Zn> Cu, V > Cl> Co. Con un valor de significancia de 0.01. Los valores son expuestos en la Tabla 25 pagina 128.

### 20. 4. 3. Determinación de Ni.

Para el Ni en Parque Nacional del Desierto de los Leones en el año 1999 se encuentran concentraciones muy altas con respecto al año de 1993, de acuerdo a los valores expresados en la Tabla 7, ver Figura 42a.

Este elemento en el año 1993 tiene correlaciones altas con Co, Cu V Fe y Ga, con nivel de significancia de 0.01, y 0.05 para K y Zn. Pero para el año 1999, estas correlaciones disminuyen y solo con el Fe tiene una relación de 0.01, y 0.05 con K. Los valores de la correlación de ambos años de estudio son expuestos en las tablas 20 y 21 paginas 123 y 124 respectivamente.

Níquel presenta concentraciones en el Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl año de 1993, que están por encima de las normales, en la Tabla 7, pero no se pueden considerar como tóxicas ya que se encuentran en un intervalo de 0- 22.20 ppm.

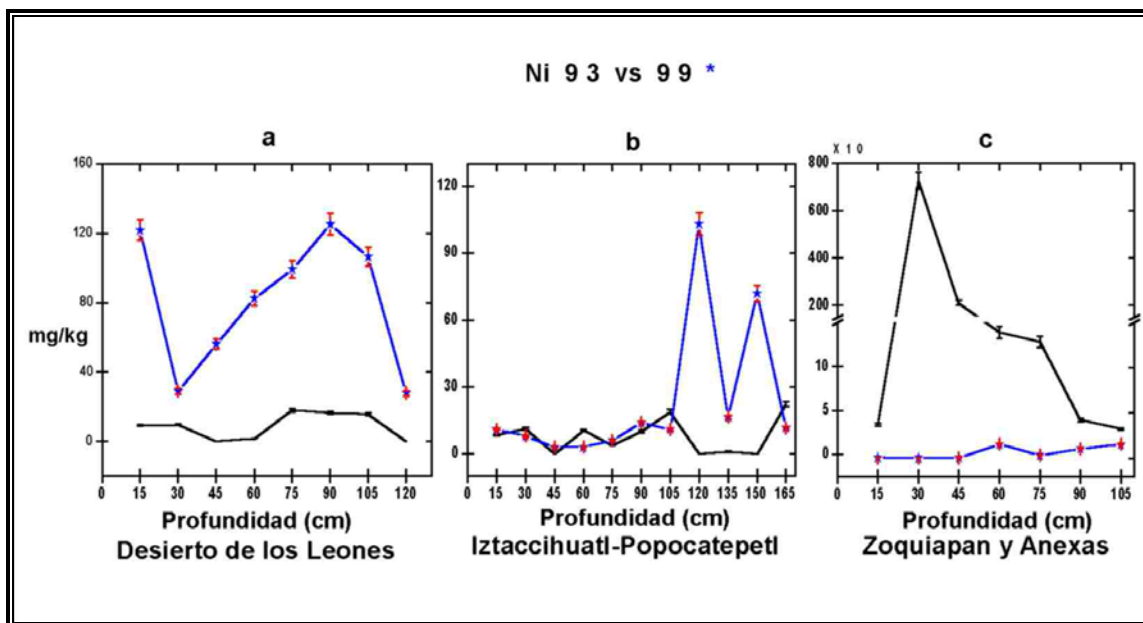


Figura 42. Contenido de Ni en las 3 zonas de estudio

cuantificar las concentraciones de elementos traza en los ecosistemas terrestres, eran denominadas húmedas, se nombran en la tabla 1, las cuales implicaban un tratamiento previo de la muestra en cuestión, tales como:

Se observa que existe un aumento en el nivel de concentración en todo en perfil, especialmente un alto incremento en las profundidades de 120 y 150 cm, de profundidad, sobrepasando por mucho los valores de 3-19 mg/kg, establecidos por Reimann (1998) como normales. En esta zona se presenta altas concentraciones en esas profundidades. Las diferencias de concentraciones en la Figura 42C.



Para el año de 1993 el elemento **Ni**, se presentan concentraciones tóxicas en el **Parque Nacional de Zoquiapan y anexas** en los horizontes de 30- 45 cm de profundidad, también se presentan en los horizontes de 60-75 cm concentraciones, que se encuentran por encima de casi 10 veces, los niveles de normalidad, acercándose a niveles tóxicos. Para el año de 1999, Los tres primeros horizontes se encuentran por debajo de los niveles mínimos de concentración, para las profundidades posteriores los niveles se encuentran cercanas a la normalidad. Véase la Figura 42c.

En la zona del Desierto de los leones, en este año se presentan correlaciones que tienen el siguiente orden decreciente de acuerdo al valor: Mn > Cu > Co > Cl > Zn > Ga > V > Fe: Donde los primeros 5 valores tienen un  $\alpha =$  de 0.01 y el último, un  $\alpha =$  0.05. Los valores son representados en la tabla 22 página 125.

Para la zona de **Iztaccihuatl**, los resultados obtenidos en el análisis estadísticos, arrojan altas correlaciones y una relación mayor con los otros elementos, todos con una nivel de significancia de 0.01. El orden decreciente, es el siguiente: Fe > Co > V > Ga > Ca > Zn > Cl > Mn > Cu > K > Hg. Los valores de estas correlaciones se encuentran en la Tabla 23 página 126.

Y en la zona de **Zoquiapan**, los análisis estadísticos realizados de este elemento, arrojan el siguiente orden de correlaciones en forma decreciente. Cu, Co > Zn > Fe > Cl. Con un  $\alpha =$  0.01, Para el año de 1999, se presenta un gran número de correlaciones, con el siguiente orden decreciente: V > Fe > Ca > Cu > Co > Mn > K > Zn > Cl con una significancia de 0.01

Los valores de las correlaciones son presentados en las tablas 24 y 25 páginas 127, 128 respectivamente de la sección de anexos.

#### **20. 4. 4. Determinación de Ga.**

Para el **Ga** los valores del **Parque Nacional del Desierto de los Leones** en el año de 1993 se encuentran en un estado de normalidad, ya que según Kabata (2000) propone que este elemento tiene una Concentración de <5-50, y Aubert propone una Concentración de 10-70 ppm, pero en el año de 1999 este rango es rebasado en las profundidades superficiales derivadas posiblemente de la depositación atmosférica, a pesar de ello las concentraciones se encuentran dentro de los intervalos antes citados por ambos investigadores, véase la Tabla 7 página 16 y Figura 43a.

Para el elemento **Ga**, las concentraciones de ambos años de estudio del **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, se encuentran dentro de los intervalos propuestos por Kabata y Aubert en la Tabla 7 página 16, sin embargo, cabe mencionar que en el año de 1999 se observa niveles de acumulación en las profundidades de 120 y 150 cm ( Figura 43b), ya que este suelo presenta

condiciones de rápida infiltración y por los consiguiente, se presentaran acumulaciones en esas profundidades.

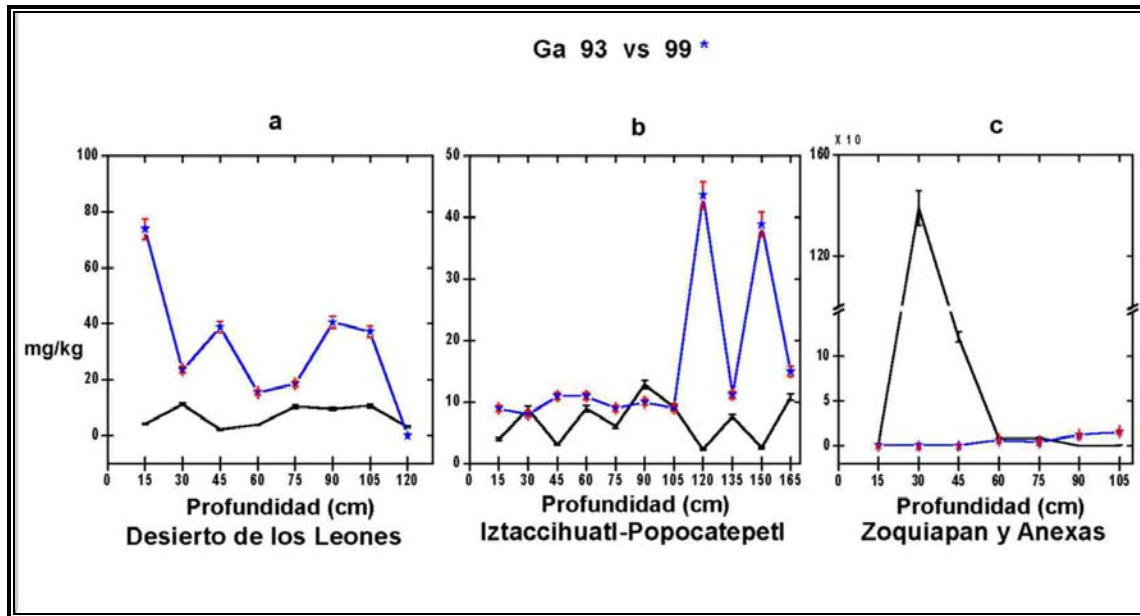


Figura 43: Contenido de Ga en las 3 zonas de estudio

En la determinación de las concentraciones de Ga en la zona del Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas, la cuantificación arroja los siguientes resultados. En el año de 1993, se observan concentraciones con niveles tóxicos en las profundidades de 30 y 45 cm, pero en los otros horizontes se encuentran valores, se encuentran en los intervalos propuestos por Aubert, País y Kabata. Excepto el último estrato ya que presenta bajísimas concentraciones.

Para el año de 1999, se presentan en los tres primeros horizontes concentraciones bajísimas. Los horizontes posteriores, si se encuentra entre los valores propuestos en la Tabla 7. Los diferentes niveles de concentración en la Figura 43c.

Para la zona del Desierto de los Leones en el año de 1993 presenta correlaciones con un  $\alpha = 0.01$ , para K, Co, Cu, Fe y V, pero para Zn presenta una correlación de 0.05. La relación de este elemento en 1999, disminuye y solo existieron correlaciones con un nivel de significancia 0.01 con K, y con un nivel de significancia de 0.05 para Ca, Zn y Mn. Véase las Tabla 20 y 21 página 123 y 124.

Los análisis estadísticos del año de 1993 realizados en la zona de **Iztaccihuatl**, arrojan el siguiente orden de correlaciones de acuerdo con un orden decreciente: Mn > Co > Fe > V, con un  $\alpha = 0.01$ . También presenta otra serie de asociaciones con el siguiente orden Cu > K > Cl > Ca > Zn, presentando un  $\alpha = 0.05$ . Para el año de 1999, se incrementó el número de correlaciones y el valor de significancia, presentando el siguiente orden decreciente: Fe > Co > V > Ca > Zn > Mn > Cl > Cu > K. Los valores se presentan en las Tablas 22 y 23 páginas 125 y 126.

Par la zona de Zoquiapan, de acuerdo a los análisis estadísticos de Pearson, para el año de 1993, resultado de este elemento el siguiente orden de correlaciones: Zn> Co> Cu. Con una  $\alpha= 0.01$ . Para el año 1999, se presenta correlación con Mn. Con una  $\alpha= 0.01$ . Para ambos años los valores de las correlaciones se encuentran en las tablas 24 y 25 paginas 127 y 128.

#### **20. 4. 5. Determinación de Rb.**

Aubert menciona que en el suelo el Rb se encuentra de 10 a 600 ppm y Kabata (2000) menciona que este elemento esta en el suelo en una Concentración de <20-120 ppm, ( valores en la tabla 7 pagina 17), aunque existe un incremento marcado en el Parque Nacional del Desierto de los Leones, en el año de 1999 al 1993 en las concentraciones del suelo se encuentran dentro de los intervalos propuestos por ambos investigadores. Las concentraciones de ambos años de estudio son expuestas en la figura 44a. Donde estas concentraciones 91 mg/kg para el intervalo de 15cm y 100.6 mg/kg para los 90 cm presumiblemente son derivadas de la contaminación ambiental.

La cuantificación realizadas en el **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl** en año de 1993 por la técnica de **PIXE**, al elemento de **Rb** arrojó concentraciones que se encuentran en un intervalo de 1.4 – 37.29 mg/kg, las cuales están dentro de los parámetros de 10 a 600 ppm, propuesto por Kabata(2000). Para el año de 1999, se incrementan por mucho ya que el intervalo de estas concentraciones es de 19 – 108 mg/kg, las cuales se acercan al limite superior propuesto anteriormente por Kabata, estos intervalos son expuestos en la Tabla 7 pagina 16. Cabe mencionar que este parque verifica nuevamente acumulaciones de este elemento a partir de la profundidad de 105 cm en adelante. Obsérvese la Figura 44b.

Para el **Rb**, en el **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas** en el año de 1993, arrojan una concentración tóxica en la profundidad de 30cm, la cual es una acumulación que rebasa por casi 2 veces el rango máximo propuesto por Aubert y Kabata de 10 – 600 mg/kg, , propuesto en la Tabla 7 pagina 16. Pero en las dos ultimas profundidades no se presentaron concentraciones.

Para el año de 1999, se observa de acuerdo a la figura 44c, una notable disminución de este elemento en las diversas profundidades que constituyen el perfil y los valores se ubican dentro del parámetro propuesto por kabata(2000).

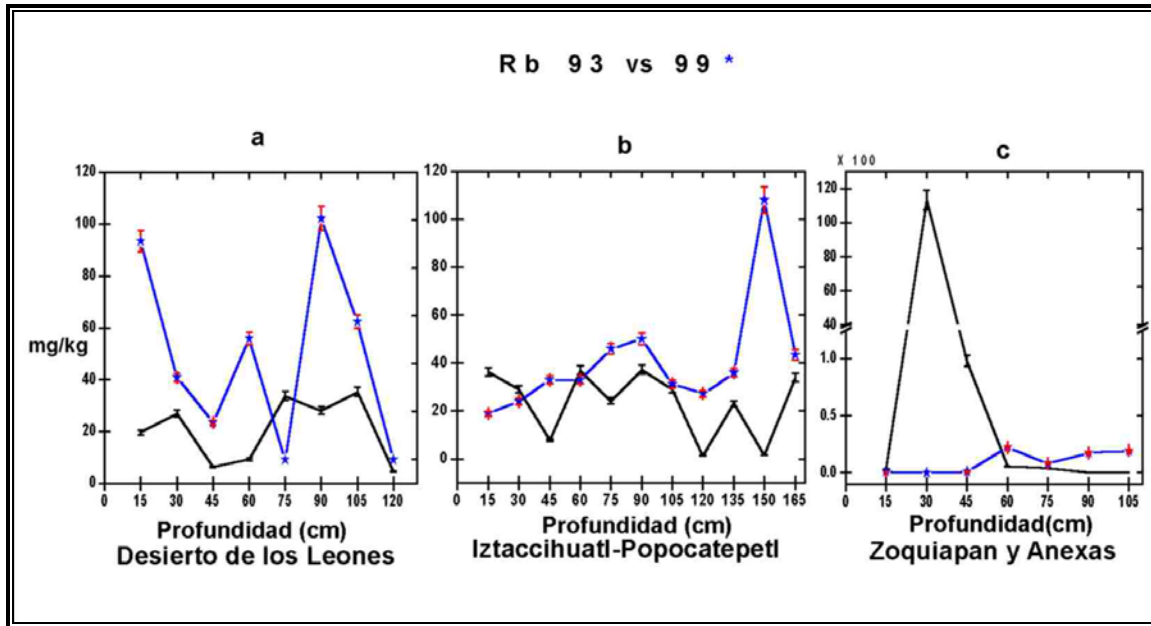


Figura 44: Contenido de Rb en las 3 zonas de estudio

En el año de 1993 la zona de Desierto, este elemento guarda correlaciones con Co, Cu, V, Fe, Ga, Ni y Cr con una  $\alpha= 0.01$  y Zn con una  $\alpha= 0.05$ . Véase Tabla 33. Pero en el año de 1999, las correlaciones disminuyeron y solo tuvo con K, Fe, Ga y Ni con una  $\alpha= 0.05$ . Las correlaciones y sus respectivos valores son expuestos en las tablas 20 y 21 paginas 123 y 124.

El análisis estadístico en la zona de **Iztaccihuatl**, en el año de 1993, dio el siguiente orden decreciente de los elementos que se relacionan con este elemento: Fe> V> Co> Ca> Cl> Cr> Cu> Ga> Pb> Mn> Zn>, Donde las primeros nueve tienen una  $\alpha= 0.01$  y  $\alpha= 0.05$  para los restante. En el año de 1999, se observa un decremento en él numero de correlaciones y solo se presenta una con Cu cuyo valor es de 0.699 con una significancia de  $\alpha= 0.01$  . Véase las Tablas 22 y 23 paginas 125 y 126.

En la zona de **Zoquiapan**, los análisis estadísticos de este elemento para el año de 1993, presentan una serie de correlaciones con el siguiente orden: Pb> Fe> Zn> Co> Cu, Ni, con una  $\alpha= 0.01$ .

Para el año de 1999, presenta la siguiente serie de correlaciones: Fe> Co> Zn> Cr> Ni> Cu> V> Pb> Ca> Mn> K, con una  $\alpha= 0.01$ . Los resultados de ambos correlaciones, son presentados en las tablas 24 y 25 paginas 127 y 128.

#### 20. 4. 6. Determinación de Sr.

De acuerdo con Aubert las concentraciones de Sr en el suelo, están en 40-800, y Kabata menciona que los valores son 20-500 ppm ( la Tabla 7 pagina 16), en los suelos del Parque Nacional del Desierto de los Leones en el año de 1993, se

obtuvieron concentraciones de 0 – 75 mg/kg, las cuales están dentro de los parámetros antes mencionados. Pero en el año de 1999, las concentraciones fueron de 3.9 – 155 mg/kg, rebasando por mucho los valores de del año de 1993, sin embargo a los valores propuestos por Reimann (12.9 – 24.7) son catalogadas como tóxicas para el año de 1999. Las diversas concentraciones son presentadas en la Figura 45a.

Realizado en análisis en la Muestra del material edáfico en el **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, para el elemento **Sr**, por técnica de **PIXE**, en el año de 1993, 19-108 mg/kg, están dentro de los parámetros propuestos por Aubert, Kabata y País (20-1000 mg/kg), pero en rangos que propone Reimann (1998) 102-446 mg/kg se encuentran dentro de las concentraciones de toxicidad especialmente el contenido de las profundidades de 15, 30, 60, 75, 90 cm. Obsérvese la figura 45 b.

En el año de 1999, existe una acumulación a partir de las profundidades de 135 cm, derivada una depositación atmosférica. Pero llama la atención el contenido de la profundidad de 150 cm, ya que esta supera el valor propuesto por Reimann y acercándose al límite superior del valor de Aubert. Tabla 7 pagina 16.

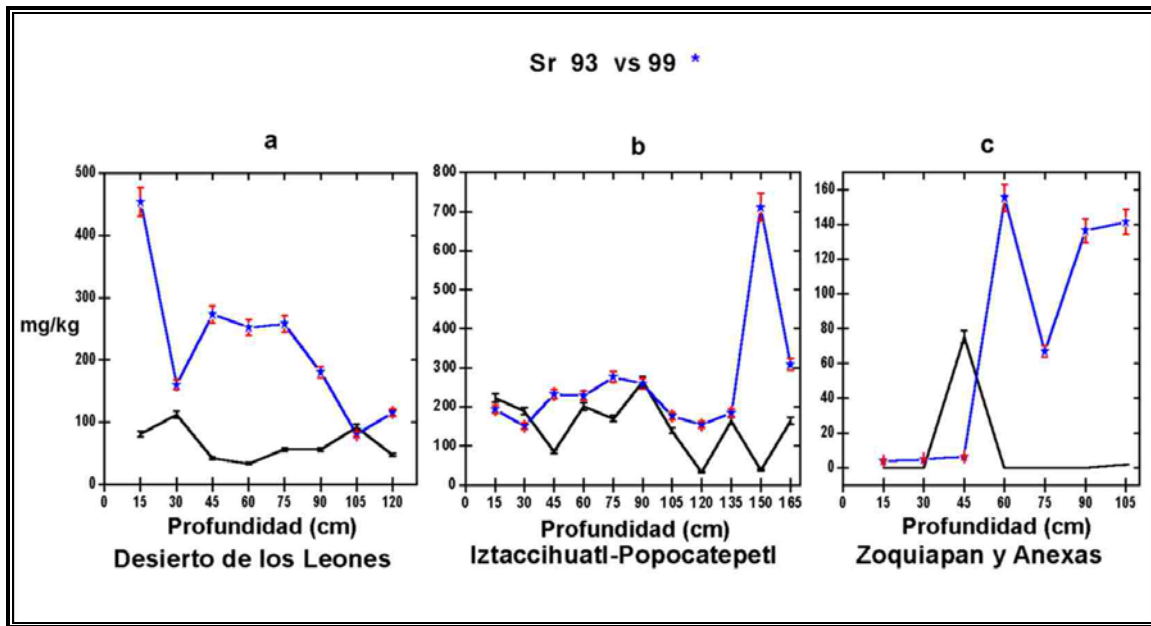


Figura 45: Contenido de Sr de las zonas de estudio.

Para el **Sr**, en el **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993, las cuantificaciones obtenidas están en un intervalo de 33.6-112.8 mg/kg, estas concentraciones se encuentran dentro de los parámetros propuestos por Aubert, Kabata y País (20-1000 mg/kg), llama la atención las concentraciones de la profundidad de 45 cm, ya que este contenido presumiblemente es derivado de la depositación atmosférica. Para el año de 1999, se presentan un intervalo de contenido de 3.9- 155 mg/kg, de acuerdo con los valores de 1993 sé amplio es

intervalo de ese año con respecto a 1999, llama la atención el contenido de las profundidades 60, 90 y 105 cm, porque presentan valores alto sin embargo estos se encuentran dentro de las concentraciones antes referidas. Obsérvese la Figura 45c.

Para el **Desierto** en el año de 1993, este elemento guarda correlaciones con un nivel de significancia 0.01, en el año de 1993, con K, Ca, Zn y Mn. Y con Ga y Cr, con una correlación con un nivel de significancia de 0.05. Para el año de 1999, solo con el Ca, tiene una  $\alpha = 0.01$ , y con K, Zn una  $\alpha = 0.05$ . Los valores de las correlaciones en los 2 años del estudio son expuestos en las tablas 20 y 21 paginas 123 y 124.

Los análisis estadísticos realizados a las muestras de **Iztaccihuatl** del año 1999, arrojaron el siguiente patrón de comportamiento, en orden decreciente: K > Fe > Ba > Ca > V > Zr > Co > Cl > Pb > Ga. Todos estos elementos con una  $\alpha = 0.01$ . Y también presenta, una  $\alpha = 0.05$  con Cu > Cr. Para el año de 1999, se presentó una drástica disminución del número de correlaciones y solo se presenta una  $\alpha = 0.01$  con Rb y otra con Cu con una  $\alpha = 0.05$ . Los valores son presentados en las Tablas 22 y 23 paginas 125 y 126.

En los suelos de **Zoquiapan**, los análisis estadísticos del año de 1993, presentaron la siguiente serie decreciente de correlaciones: K > V > Ca. Con una  $\alpha = 0.01$ , pero este año también presentó  $\alpha = 0.01$  con el Cr.

Para el año de 1999, se incrementó el número de correlaciones para este elemento: Rb, Cu > Zn > Fe > Co > Cr > Ni > V > Pb > Mn > Zr > K > Cl. Con una  $\alpha = 0.01$ . Los valores de las correlaciones de ambos años están indicados en las tablas 24 y 25 ubicadas en las paginas 127 y 128 respectivamente.

#### 20. 4. 7. Determinación de Y.

En el año de en el suelo del Parque Nacional del Desierto de los Leones en el año de 1999 se observan altísimas concentraciones, esta parece derivada de la depositación atmosférica. Con respecto al año de 1993. Dado que Kabata propone un Intervalo de >10-150ppm, Ver Tabla 7, las diferentes concentraciones se exponen en la Figura 47a.

Para el elemento Y, en el **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, en el año de 1993, las concentraciones detectadas en el año de 1993 se encuentran dentro de los rangos de concentraciones Propuestas por Kabata. Tabla 7 pagina 16. Para el año de 1999, se presenta una acumulación en la profundidad de 150 cm, de 885.53 mg/kg que rebasa el límite que se propone en la Tabla 7 pagina 16. Presentando concentraciones de toxicidad. Esto se observa en la Figura 47b.

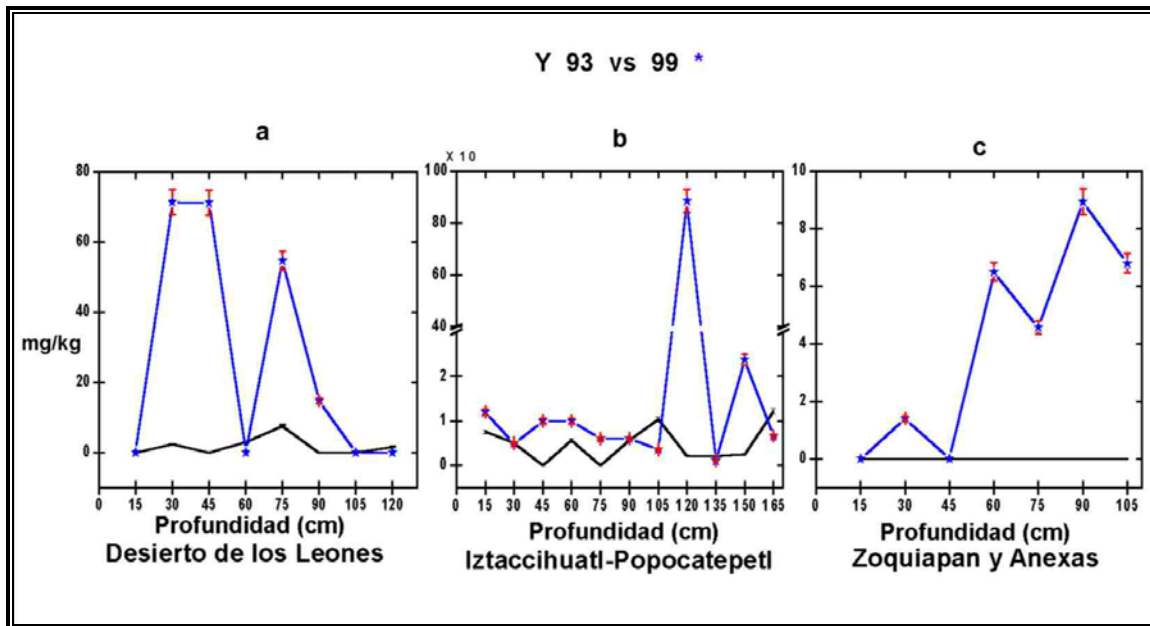


Figura 46: Contenido de Y en las 3 zonas de estudio.

En la cuantificación de elemento Y, en el Parque Nacional de **Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993 no se detecto este elemento. Pero en el año de 1999, las concentraciones detectadas, se encuentran por debajo del intervalo que propone Kabata. Los diferentes niveles de concentración se observan en la Figura 47c.

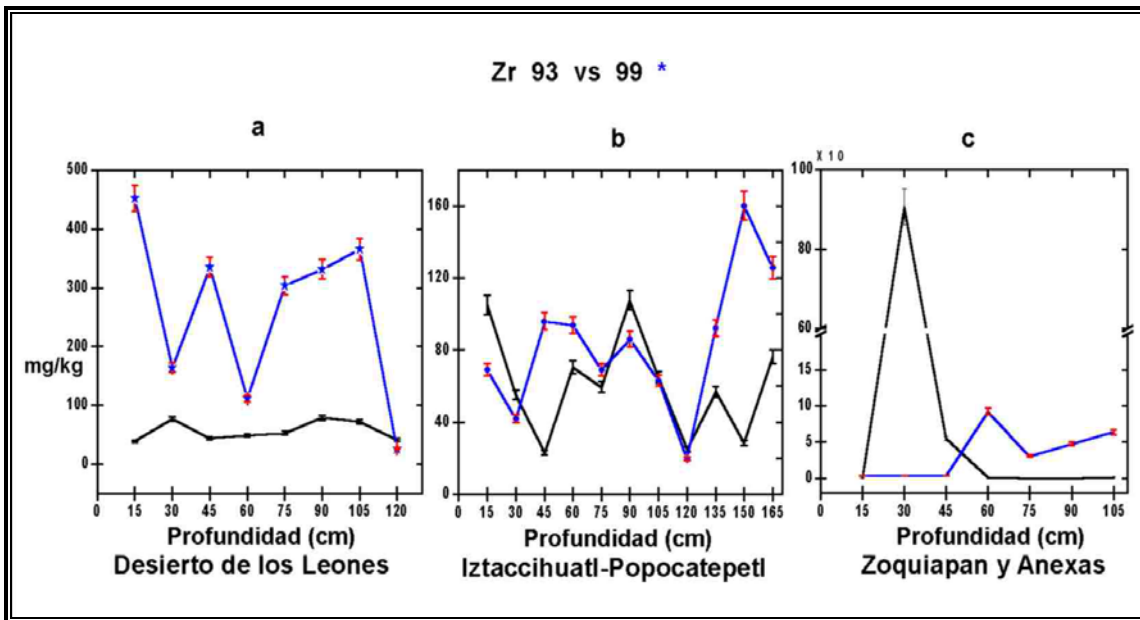
Los análisis estadísticos de Pearson en la zona del **Desierto** el año de 1993, para el litrio presentan un alto índice de correlación con diversos elementos, los cuales son expuestos en la tabla 20 pagina 125. Para el año de 1999 se tiene un comportamiento semejante que el año de 1993, por lo que la asociación con diversos elemento se expone en la tabla 21 pagina 126.

Realizado el análisis estadístico este elemento, en la zona de **Iztaccihuatli**, no presento correlaciones en el año de 1993. Pero en 1999, presenta un gran numero de correlaciones con un  $\alpha= 0.01$ , para los siguientes elementos: Zn> Sr> Rb> Mn> Co> Fe> Cr. Y con un  $\alpha= 0.05$  se presenta la siguiente orden de correlaciones: Ga> Ca> Ti> K> Cl> Ni> Cu> V> Pb> Zr. Los valores de estas correlaciones se observan en las Tablas 23 y 24 paginas 127 y 128.

Para la zona de **Zoquiapan**, en el año de 1993 no se presentaron correlaciones, ya que los valores fueron tan pequeños que son despreciables. Pero debido a un aumento en la depositación atmosférica, después de la aplicación de una prueba de Pearson, este elemento presenta una gran cantidad de asociaciones con los elemento Zn, Sr, Rb, Mn, Co, Fe y Cr. Con un  $\alpha= 0.01$  y otra serie de asociaciones con Ti, Ga, Ca, K, Cl, Ni, Cu V y Zr con un  $\alpha= 0.05$ . Los valores y dichas correlaciones descritas son expuestas en la tabla 24 y 25 paginas 127 y 128 respectivamente

#### 20. 4. 8. Determinación de Zr.

En el Parque Nacional del Desierto de los Leones, la cuantificación del Zr se encuentra en niveles tóxicos en ambos años de estudio, de acuerdo con los valores propuestos por Reimann( 9.4-89.7)para suelo con excesos de este elemento y estas cuantificaciones sobrepasan por casi 5 veces esta propuesta., Véase la Figura 47a, en especial durante el año de 1999, en el cual se observa un gran incremento en el contenido del suelo.



**Figura 47: Contenido de Zr en las 3 zonas de estudio.**

La cuantificación por la técnica de PIXE del elemento Zr, en suelo Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl arrojó los siguientes resultados, en ambos años del estudio se presentaron concentraciones tóxicas en la mayoría de las profundidades, probablemente resultado de la Depositación de desechos Antropogénico, seguida de una migración y su posterior acumulación a partir de la profundidad de 75cm en adelante, especialmente en la profundidad de 105 cm. En esta zona se observan claramente los efectos del depósito atmosférico y el movimiento vertical al interior del perfil.

Para el año de 1999, en la cuantificación se presentaron contenidos con un intervalo de 26.7-452 mg/kg, los cuales rebasan por mucho los rangos expuestos por Reimann (9. 4-89.7 mg/kg) hasta más de 6 veces dicho valor, presentándose acumulamientos en las profundidades de 150 y 165 cm, lo que indica por discusiones anteriores de esta zona que este parque presenta una alta infiltración, por el tipo de suelo arenoso dominante. Las diferentes concentraciones de este elemento por cada uno de los años son expuestas en la Figura 47b.



La cuantificación del contenido de Zr, en el suelo del Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas, arrojó resultados 0-906.3 mg/kg, los cuales comparándolo con el intervalo de Reimann(1998) 9.4-89.7 mg/kg pueden ser consideradas como tóxicas, especialmente la concentración de 30 cm la cual expresa el valor máximo del intervalo antes mencionado, rebasando los valores de Reimann por 8 veces.

Para el año de 1999, se presentan altos decrementos en todo el perfil y los niveles de concentración son de 3.9-92.60 mg/kg, mostrando acumulaciones a partir de la profundidad de 60 cm en adelante, sin embargo esta no son consideradas como tóxicas ya que se encuentran en el intervalo propuesto por Reimann, 9.4-89.7 mg/kg con excepción de la profundidad de 60cm la cual presenta una acumulación con un valor de 92.6. siendo superior al valor máximo propuesto por Reimann. Las diferentes concentraciones de este elemento se observan en la Figura 48b.

En la zona del Desierto en el año de 1993, este elemento guarda correlacione con K, Cr y Ga, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  para los 2 primeros y un  $\alpha = 0.01$  para el tercero. Y para el año de 1999, este elemento tienen correlaciones con K, Fe, Ga y Ni, con un  $\alpha = 0.05$ . Los valores de estas correlaciones son expuestos en las tablas 20 y 21 paginas 123 y 124.

Los análisis estadísticos de Pearson para la zona de Iztaccihuatl, para el año de 1993, solo presenta  $\alpha = 0.05$  Mn con Mn. Y para el año de 1999 no se presentaron asociaciones con otros elementos.

Los análisis estadísticos aplicados a la zona de Zoquiapan, en este elemento en el año de 1993, arrojaron la siguiente serie de asociaciones en orden decreciente: Cu, Ni, Fe, Co, Zn, Mn y Cl con un  $\alpha = 0.01$  y Rb, Ca, Cr, Pb con un  $\alpha = 0.05$ . Para el año de 1999, se incrementa el número de asociaciones, presentando el orden en forma decreciente: Ca, Co, Cu, V, Pb, Cr y Rb con  $\alpha = 0.01$  y Mn con un  $\alpha = 0.05$ . Los valores de las correlaciones se exponen en las Tablas 24 y 25 paginas 127 y 128.

#### **20. 4. 9. Determinación de Ba.**

Para la zona del Parque Nacional del Desierto de los Leones, el elemento Ba en el año de 1993 se encontraba en un intervalo de 0-114.1mg/kg, el cual se encuentra por debajo de los valores propuestos por Allen y País (1974)(1997). Pero el año de 1999, los valores se encuentran en un intervalo de 24-2595.5 mg/kg, los cuales de acuerdo con un intervalo de 267-483.3 mg/kg que propone Reimann, sobrepasan este intervalo por 16 a 30 veces, presentando toxicidad. Obsérvese la Figura 48a.

En el Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl, la cuantificación del elemento Ba en 1993, presenta concentraciones que están por debajo del mínimo de acuerdo con el intervalo de 267-483.3 mg/kg propuesto por Reimann, presentado en la tabla 7 pagina 16. Presentándose 2 acumulaciones de 12.66 y 14.90 en las profundidades

105 y 165, las cuales están dentro del parámetro de normalidad (33.2-53.8) expuesto por Reimann (1998), estando en los límites de normalidad.

Para el año de 1999, no fueron detectadas concentraciones a lo largo del perfil. Lo que supone una notable disminución en la Depositación derivada de las actividades antropogénicas, las diferentes concentraciones en el perfil, son observadas en la figura 48a.

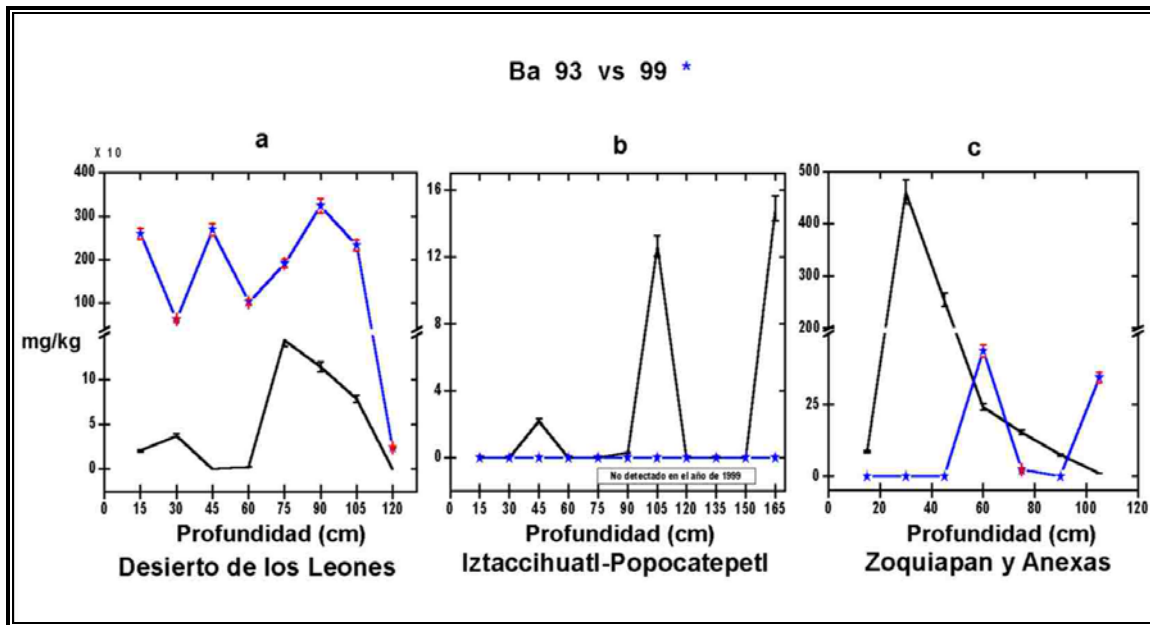


Figura 48: Contenido de Ba de las zonas de estudio.

Para el Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas en el año de 1999, en los tres primeros horizontes no se detectó la presencia de este elemento. Pero en las profundidades posteriores las concentraciones detectadas se encuentran en los niveles normales, a excepción del último horizonte en el cual el valor es demasiado pequeño. Los diferentes niveles de este elemento en los suelos de este parque se observan en la Figura 49b

Las concentraciones determinadas por la técnica de PIXE, para la siguiente serie de elementos arrojan las concentraciones para el elemento Ba, en el año de 1993, presenta en la profundidad superficial un nivel de concentración muy inferior 6 veces menos, cercano a los valores mínimos.

Pero en las dos profundidades posteriores 30 y 45 cm, las concentraciones se disparan con valores que son de carácter tóxico, ya que son parecidos a las concentraciones propuestas por Reimann. Las profundidades posteriores se encuentran con niveles inferiores a los valores normales del suelo propuestas en la Tabla 7.

En el Desierto de los Leones, en el año de 1993, presenta correlaciones con niveles de significancia de 0.01 con Co, Cu, V, Fe, Ni, Cr, y Rb. Y un nivel de significancia de 0.05 con Ga. En 1999 las correlaciones disminuyen en el nivel de significancia y en numero, presentando un nivel de 0.05 con K, Fe, Ga y Ni. Los diversos valores son expuestos las tablas 20 y 21 paginas 123 y 124.

En la zona de Iztaccihuatl, el año de 1993 este elemento solo presenta 2 correlaciones con Ni y Mn. Con un  $\alpha = 0.01$ . Para el año de 1999, no presentan correlaciones alguna. Los valores de las diferentes correlaciones son presentados en las tablas 22 y 23 paginas 125 y 126.

Para el Parque Nacional de Zoquiapan, la aplicación de estadística en el año de 1993, a este elemento presenta en la siguiente serie en orden decreciente: Cu = Ni > Fe > Co > Zn > Ga > Mn > Cl,  $\alpha = 0.01$ . Y el siguiente orden decreciente: Ba > Ca > Pb > Cr  $\alpha = 0.05$ . Los valores de las correlaciones para esto dos años del estudio se observan en las Tablas 24 y 25 paginas de 127 y 128.

#### **20. 4. 10. Determinación de Pb.**

Por lo que respecta al elemento Pb, las cuantificaciones en el Parque Nacional del Desierto de los Leones, se ubicaron en un rango de 0-29 mg/kg, en donde dichos valores de acuerdo con los valores propuestos por Allen( 1974) y Reimann(1998), propuestos como encuentran rangos normales( Obsérvese la Tabla 7 pagina16).

Pero en el año de 1999, se observa la migración paulatina de este elemento hacia el interior del perfil, presentando 3 acumulaciones en las profundidades 30, 90 y 105 cm, véase la figura 50a. Aunque el Pb es un contaminante derivado de la ignición de los combustibles fósiles en la década de los 80's. La concentración en las gasolinas fue disminuida, no reflejan estas supuestas disminuciones

En la cuantificación de la concentración del Pb en el Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl, en el año de 1993, se encuentran dentro de los valores propuestos por los investigadores de la Tabla 7. Para el año de 1999, se presentan 2 acumulaciones, en las profundidades de 120 y 150 cm, lo que infiere que existe una migración de este elemento al interior del perfil, Figura 50b.

Una de las fuentes de contaminación de este elemento a los ecosistema es que la utilización como detonante de la gasolina la cual este fue retirada en el año de 1987.

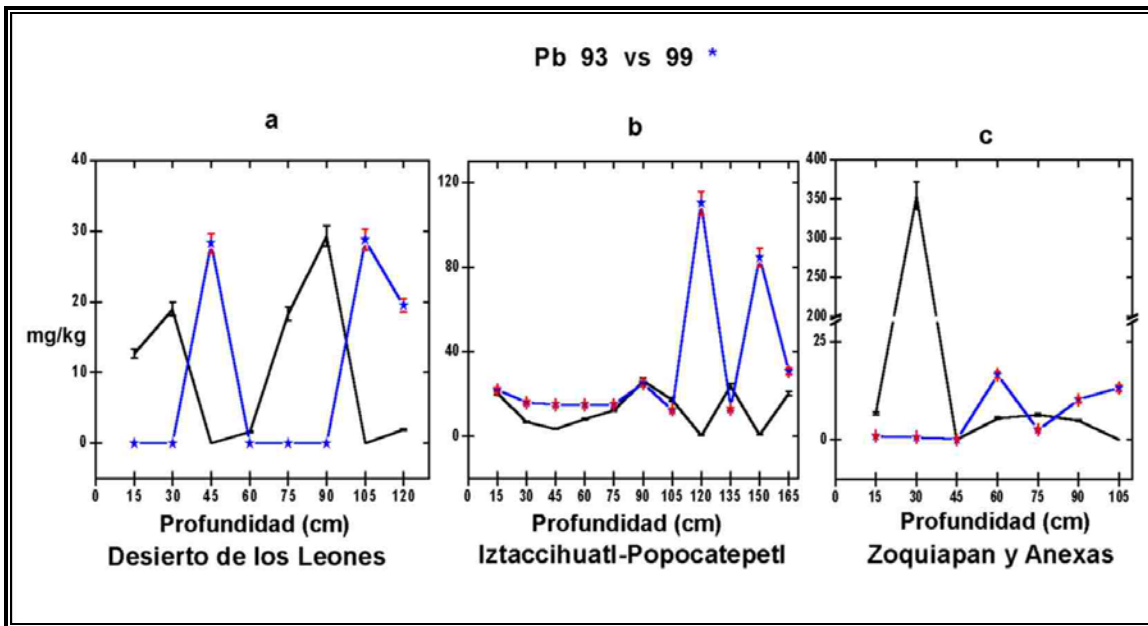


Figura 49: Contenido de Pb de las 3 zonas de estudio.

Para el Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas, en la cuantificación del elemento Pb, los valores obtenidos en el año de 1993, presenta una concentración de 0-354.1 mg/kg en la profundidad de 30 cm, la cual se puede considerar como tóxica. Todos los valores en las diferentes profundidades se encuentran dentro de las concentraciones mínimas.

Para la cuantificación de los contenidos de Pb el año de 1999, fueron de un intervalo de 0-16 mg/kg, la cual se encuentra en los parámetros de normalidad propuestos por Reimann (13-32.8), las diferentes distribuciones de este elemento en los perfiles se exponen en la Figura 49c.

Para el desierto, en el 1993 presenta una asociación con V con una  $\alpha = 0.05$ . Véase Tabla 20 pagina 123.

Realizado el análisis estadístico en la zona de Iztaccihuatl, este elemento, en el año de 1993, presentando un gran número de asociaciones con un orden decreciente: K> Fe> Cu> Ca> Mn> Ga> Co, con  $\alpha = 0.05$  y solo dos correlaciones con significancia de 0.01, Cl> V.

Par el año 1999, Se observa un considerable aumento en el valor de las correlaciones y el número, dando el orden siguiente: Fe> Co> V> Ga> Ni> Zn> Cu> Ca> Mn> Cl> K, con un  $\alpha = 0.01$ , los valores de ambos años de estudio se presentan en las Tablas 22 y 23 pagina 125 y 126.

Para el Parque Nacional Zoquiapan, en el año de 1993 se presenta una serie de asociaciones en forma decreciente V>Fe>Zn>Co>Cu, con  $\alpha = 0.01$ . Estas

asociaciones se acrecentan con la siguiente serie Cu > V > Ni > Fe > Ca > K > Co > Mn > Zn > Cl con  $\alpha = 0.01$ .

Las cuantificaciones por la técnica de Pixe, permite saber el comportamiento que tienen los elementos metálicos en los suelo de las diferentes zonas del estudio. Para del **Desierto de los Leones** se presentan concentraciones mínimas en todas las lecturas de Pixe, lo cual es totalmente diferente en el año de 1999, donde de acuerdo con la cuantificación se observan altas concentraciones, lo cual sugiere que en después del año de 1993 se incremento la depositación atmosférica proveniente de las actividades antropogenicas.

Para la zona de **Iztaccihuatl-Popocatepetl**, las concentraciones resultantes del análisis con PIXE, en el año 1993, sugieren que estaban en niveles normales de acuerdo con la tabla 7 pagina 16. Pero en el año de 1999, se presentaron altas acumulaciones en las profundidades de 105 – 165 cm, efecto de una migración de todos los elementos cuantificados en esta zona. Derivado de la alta adición de sustancias ácidas al suelo y su consecuente solubilidad.

Para la zona de **Zoquiapan y anexas**, en la cuantificación se observo altas concentraciones en el año de 1993 especialmente en la profundidad de 30 cm, lo cual es totalmente distinto en el año de 1999, donde se presentan concentraciones dentro de los parámetros de normalidad, en la mayoría de elementos.

## 20. 4. 10. Dendograma de elementos traza (1993,1999)

En el año de 1993 el Dendograma, se presenta un primer cúmulo, donde se encuentran los elementos de menor concentración, los cuales están por debajo de los niveles de normalidad de acuerdo con los valores propuestos por en la tabla 7 pagina 16. En el segundo cúmulo están contenidos los elementos con concentraciones altas o por encima de los niveles de toxicidad. La comparación de estos valores son expuestos en la tabla 7. Resultado de una acumulación por el depósito atmosférico

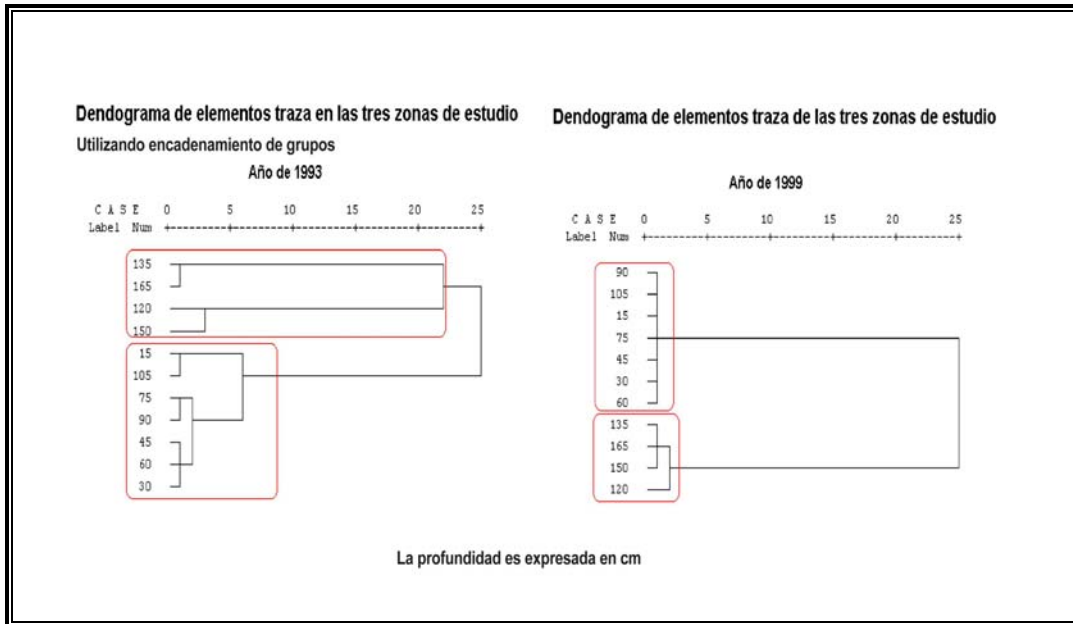


Figura 50. Dendograma de elementos traza de las tres zonas de estudio (1993,1999)

Para el año de 1999, el primer cúmulo de datos esta compuesto por los horizontes que presentan concentraciones que están por los niveles de normalidad en la mayoría de ellos exceptuando al Ba y el Ti que presentan concentraciones tóxicas.

En el segundo cúmulo de datos se encuentran las profundidades que presentan altas concentraciones sin que esta sobrepasen los valores de normalidad, presentando observándose acumulaciones en las últimas profundidades.

## 20. 5. Contenido de Nutríelementos minerales.

### 20. 5. 1. Determinación de P.

Los contenidos de P en el suelo del **Parque Nacional del Desierto** de los Leones en el año de 1993, arrojaron contenidos 5781.6-8988.7 mg/kg los cuales se encuentran dentro de los rangos que propone Reimann para concentración toxico (570-985 mg/kg). Pero estos contenidos se incrementan en el año de 1999, especialmente en la profundidad de 105 cm, las diferente concentraciones en los 2 años de estudio se presentan en la Figura 51a

En el **Parque Nacional de Iztaccihualt-Popocatepetl**, las lecturas de las cuantificaciones por la técnica de **PIXE** de P, en cada una de las diferentes profundidades de los perfiles de cada año de estudio, son observadas en la figura 52 b.

Las altas concentraciones para el **P** en el año de 1993, arrojan un intervalo de 0-24041.6 mg/kg reflejan pueden ser consideradas como tóxicas, superando por mucho los valores propuestos por Reimann (2800-11700 mg/kg) en el año de 1998. Cuya procedencia puede ser atribuida a la depositación Antropogenica. Véase la Figura 52b.

Aunque para el año de 1999, se observan decremento esto tienen una concentración que esta por niveles de toxicidad en el suelo como se observan en la Figura 52b. Manifestando una rápida movilidad de la mayoría de los elementos en el suelo de este parque. En ambos años de estudio.

La aplicación de la técnica PIXE para la cuantificación del elemento P, de los suelos del Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas, el año de 1993 arrojaron concentraciones muy pequeñas con un intervalo de 0.02-0.46 mg/kg, las cuales están por debajo de los valores 10-80mg/kg expuestos por Reimann (1998).

Pero en el año de 1999, los resultados fueron de 2655.4- 11641.60 mg/kg, presentando concentraciones tóxicas, derivadas de la depositación atmosférica, los valores de la Tabla 7 pagina 16. Los deferentes niveles de concentración se observan en la Figura 52c.

En la zona del **Desierto**, solo se tiene una correlación en el año de 1993, con Sr cuyo valor  $\alpha = 0.05$ . No presenta correlaciones en el año de 1999. este valor se observa en la tabla 20 de la pagina 123.

El suelo del **Parque Nacional de Iztaccihuatl**, este elemento en el año 1993, presenta la siguiente serie de correlaciones en orden decreciente: K, Zr > Fe > Sr > V > Cl > Fe > Ti > Cr > Ca > Cu > Co > Pb. Esta relación tiene un valor de significancia de 0.01. También presenta dos elementos con una correlación de 0.05, con Mn.

Para el año de 1999, existe un decremento en el número de correlaciones y el valor de significancia. Presentando solo una correlación de 0.01, para el K y 2 con un valor de 0.05, para los elementos de Mn > Zn. Los valores de las correlaciones de los diferentes años del estudio son presentados en las tablas 22 y 23 paginas 125 y 126.

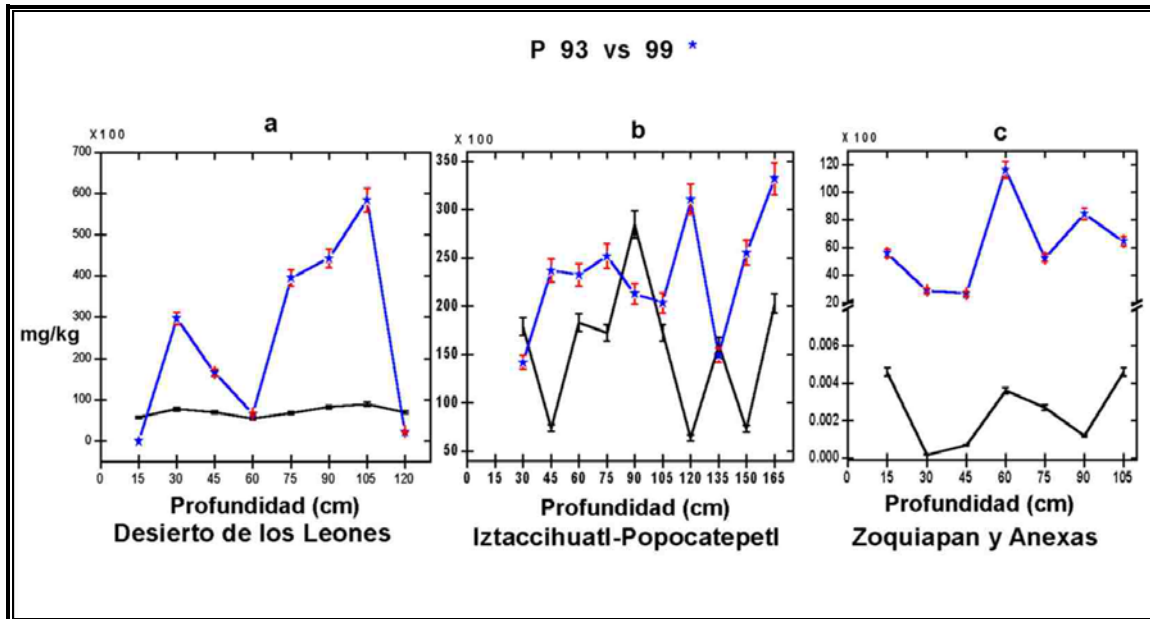


Figura 51: Contenido de P de las zonas de estudio

En los análisis estadísticos en el año de 1993 se presentan solo 2 correlaciones, con un nivel de significancia de 0.05, para Cl y Y.

Para el año de 1999, se incrementa el número de correlaciones presentando valores de significancia de 0.01, para los siguientes elementos: Cl > Cu > Zr > Ni > Al. También presento valores de 0.05 de correlaciones para los siguientes elementos: Fe > K > Rb, Cr > Zn > Ca > Al > Ni > Co, Mn. Los valores de las diferentes correlaciones se encuentran en las tablas 24 y 25 paginas 127 y 128 respectivamente.

### 20. 5. 2. Determinación de S.

De manera similar también se verifican altas concentraciones de S, en el **Parque Nacional del Desierto de los Leones**, en el año de 1999 con respecto al año 1993, obsérvese la Figura 53 a. Aunque no se tiene referencia de este elemento

Para el elemento **S**, en el **Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl**, en el año de 1993 se presentan concentraciones con un intervalo de 354.7-3823.22mg/kg las cuales pueden ser atribuidos a los recientes eventos volcánicos del



Iztapopocatepetl. En 1999 se obtuvo un intervalo de 2541-14734.79 mg/kg, presentando acumulaciones en las profundidades de 120 y 150 cm, del año de 1999, que sobrepasan por 80 y 20 veces los valores del perfil del año 1993.

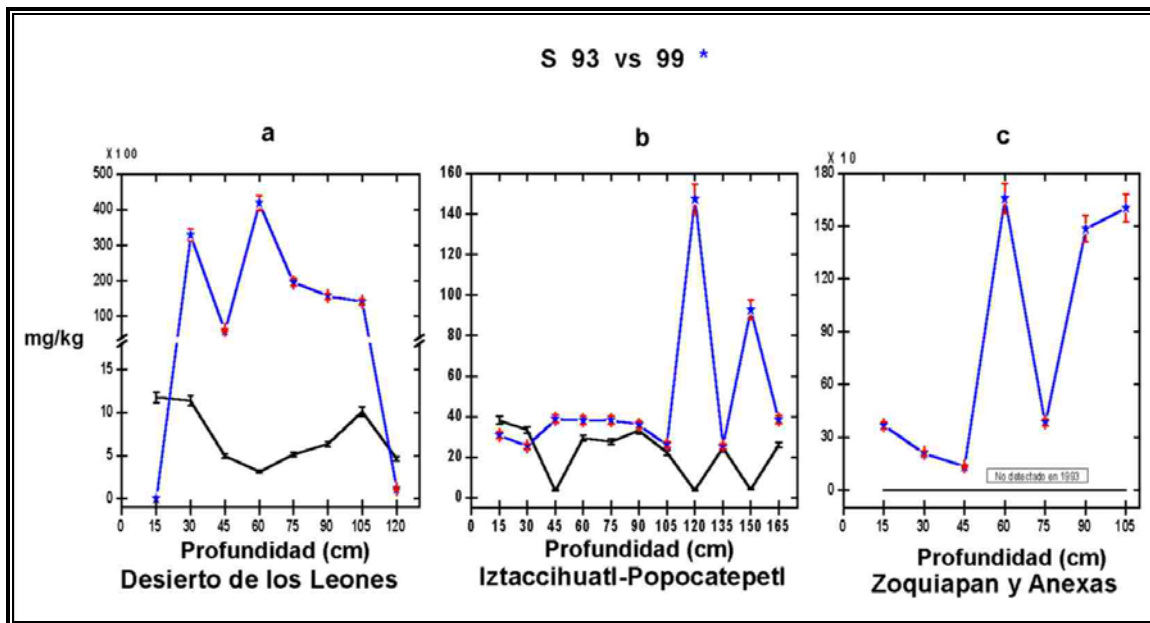


Figura 52. Contenido de S de las 3 zonas de estudio.

Aunque no se cuenta con referencia de concentraciones normales, son muy altas dichas concentraciones. véase la Figura 52

En el **Parque Nacional de Zoquiapan y Anexas**, en el año de 1993, no se detecto el elemento S, en ninguno de los horizontes que componen el perfil, Pero en le año de 1999, si se detectaron niveles, posiblemente resultado de los eventos volcánicos del Iztapopocatepetl. Los niveles de concentración en los diferentes años de estudio se observan en la Figura 52c.

En el suelo del Desierto de los Leones en el año 1993 no presenta relaciones con otros elementos, de acuerdo con la tabla 20 pagina 123, se exponen los valores estas correlaciones.

Pero en el 1999 presenta altas correlaciones con Ca, Mn y Sr con una significancia de 0.01 y K, Zn con niveles de significancia de 0.05. Los valores son observados en la tabla 21 pagina 124.

En el suelo de Iztaccihuatl, en el año de 1993, se presenta la siguiente serie de correlaciones en orden decreciente: Ca> Fe> V> K> Ti> Al> Sr> Rb> Co> P> Zr> Cl> Cr. Con un  $\alpha= 0.01$ . También presenta  $\alpha=0.05$ , para los siguientes elementos: Zn> Pb> Cu> Ga.

Las correlaciones que se presentaron en el año de 1999 tienen el siguiente orden decreciente: Ca> V> Cl> Zn> Co, Fe> Pb> Ti> Ni> Mn> Ga> Cr > Y> Hg> Cu. Los valores de las correlaciones de ambos años de estudio se exponen en las tablas 22 y 23 paginas 125 y 126.

Los análisis estadísticos aplicados en las zonas de **Zoquiapan**, a este elemento, arroja los siguientes resultados. En el año de 1993 no se presentan correlaciones. En el año de 1999, se presenta un elevado numero de correlaciones, presentando valores de significación de 0.01, en la siguiente serie: Ca> K, Ti > Cr, Mn >Fe> Ni> Pb> V> Rb> Zn> Sr> Cu >Cl> Co> Zr> Y. También presento correlaciones con un nivel de significancia de 0.05, Ga> P> Ba. Los valores de las correlaciones se presentan en las 24 y 25 paginas 127 y 128. Este aumento en las asociaciones de este elemento se puede atribuir a las depositaciones provenientes de actividades antropogenicas. Ya que en año de 1999, las concentraciones son despreciables.

### 20. 5. 3. Dendograma Multielemental ( 1993, 1999)

En el Dendograma de año de 1993, se observa la cuantificación Multielemental en las tres zonas de estudio. Se observan 2 cúmulos de datos. En el primer cúmulo se presentan las profundidades contienen las menores concentraciones, las cuales presentan una alta correlación y asociación. En el segundo cúmulo se observan las profundidades con concentraciones altas, estas profundidades corresponden a la zona de Iztaccihuatl Popocatepetl ya que los contenidos en estas profundidades son acumulaciones que se deben al deposito atmosférico

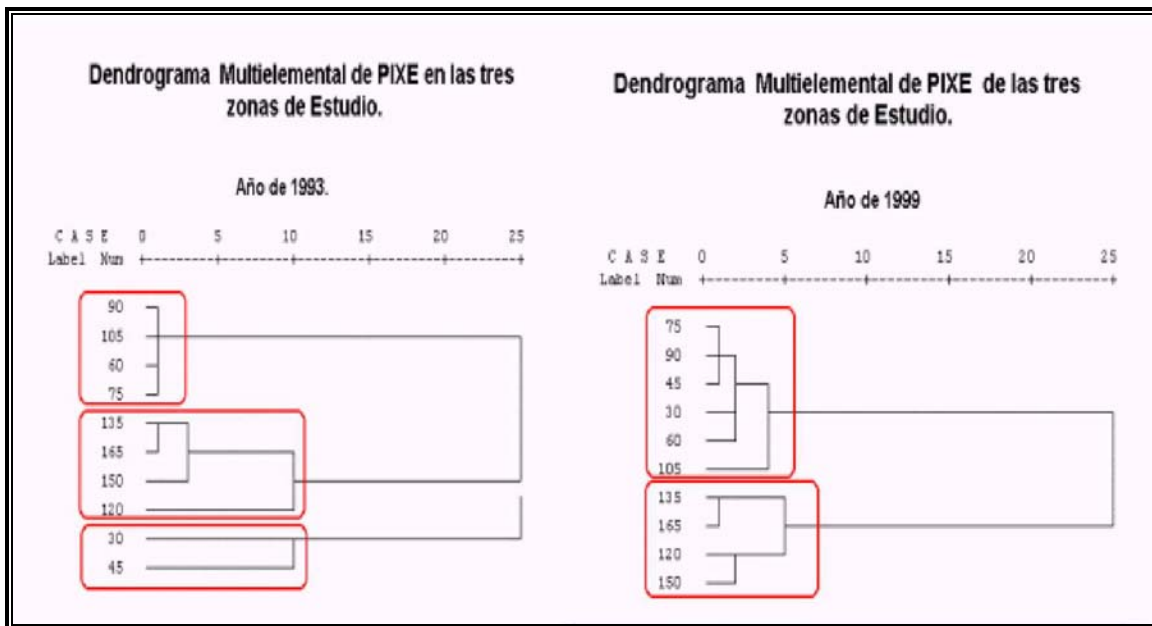


Figura 53. Dendrograma Multielemental en las tres zonas de estudio (1993, 1999)

Para el año de 1999, en el primer cúmulo se presenta las profundidades que contienen altas concentraciones los las cuales algunas sobrepasan los niveles de normalidad, de acuerdo con la tabla 7 pagina 16. Para el segundo cúmulo de datos se presenta un arreglo que contienen las profundidades que poseen niveles de concentración tóxicos, representado por las ultimas profundidades de la zona de Iztaccihuatl-Popocatepetl, donde se observa que existe una acumulación.

Tabla 20: Correlación de Pixe del Desierto de los Leones 1993

Prof.	K	Ca	Co	Zn	Cu	V	Cl	Mn	Fe	Ga	Ni	Pb	Cr	Rb	Ba	Zr	Sr	Ti	Y	P	S
K		0.817	0.790	0.906	0.880	0.825		0.822	0.868	0.854	0.832		0.966	0.915		0.707	0.843	0.861			0.785
Ca				0.931				0.987									0.889				0.943
Co				0.734	0.981	0.979			0.980	0.887	0.991		0.900	0.953	0.950			0.963			
Zn					0.842	0.838		0.957	0.840	0.769	0.783		0.876	0.820			0.837	0.877			0.830
Cu						0.989			0.999	0.914	0.990		0.950	0.980	0.889			0.991			
V									0.990	0.870	0.987	0.762	0.910	0.947	0.902			0.994			
Cl																					
Mn													0.733				0.900	0.721			0.912
Fe										0.910	0.990		0.939	0.979	0.895			0.993			
Ga											0.866		0.939	0.932	0.788	0.843		0.899			
Hg																	0.738				
Ni													0.913	0.967	0.925			0.976			
Pb																			0.753		
Cr														0.964	0.743	0.813	0.730	0.931			
Rb															0.850			0.959			
Ba																		0.872			
Zr																				0.796	
Sr																					0.930
Al																					
Ti																					
Y																					
P																					
S																					

◆ Correlación con un nivel de significancia de 0.05

◆ Correlación con un nivel de significancia de 0.01

Tabla 21: Correlación de Pixe del Desierto de los Leones 1999.

	K	Ca	Co	Zn	Cu	V	Cl	Mn	Fe	Ga	Ni	Pb	Cr	Rb	Ba	Zr	Sr	Ti	Y	P	S
Prof.		-0.825															-0.759				
K		0.905		0.915				-0.725	0.941	0.869	0.753		-0.728	0.739	0.709	0.773	0.752	0.927			
Ca				0.867					0.748	0.825							0.919				
Co																					
Zn									0.815	0.737							0.800	0.800			
Cu							-0.759						0.839								
V																					
Cl																					
Mn									-0.802				0.948								-0.805
Fe										0.742	0.856			0.759	0.793	0.752					0.993
Ga														0.719	0.755	0.885					0.751
Hg																					
Ni														0.710	0.788	0.751					0.882
Pb																					
Cr																					
Rb																					0.783
Ba																					0.813
Zr																					0.775
Sr																					
Al																					-0.837
Ti																					
Y																					
P																					
S																					

◆ Correlación con un nivel de significancia de 0.05

◆ Correlación con un nivel de significancia de 0.01

Tabla 22: Correlación de PIXE de la zona de Iztaccihualt-Popocatepetl 1993

Prof.	K	Ca	Co	Zn	Cu	V	Cl	Mn	Fe	Ga	Ni	Pb	Cr	Rb	Ba	Zr	Sr	Ti	Y	P	S
K		0.950	0.915	0.616	0.767	0.959	0.903	0.643	0.961	0.772		0.807	0.687	-0.943		0.940	0.979	0.942		0.986	0.958
Ca			0.922	0.720	0.649	0.959	0.815		0.971	0.668		0.700	0.772	0.933		0.848	0.939	0.935		0.885	0.997
Co				0.843	0.841	0.960	0.909	0.759	0.979	0.802	0.764	0.647	0.897	0.950		0.853	0.888	0.957	0.682	0.902	0.930
Zn					0.637	0.749	0.637	0.679	0.779	0.658	0.745		0.918	0.691				0.740	0.606		0.713
Cu						0.828	0.899	0.946	0.806	0.837	0.897	0.720	0.768	0.825		0.818	0.706	0.864	0.855	0.855	0.677
V							0.939	0.768	0.994	0.774	0.718	0.773	0.844	0.976		0.902	0.932	0.995	0.615	0.943	0.967
Cl								0.811	0.919	0.702	0.747	0.824	0.755	0.914		0.956	0.847	0.957	0.755	0.941	0.878
Mn									0.733	0.816	0.949	0.689	0.803	0.743	0.781	0.658		0.813	0.875	0.751	
Fe										0.783	0.699	0.730	0.855	0.978		0.888	0.942	0.984		0.936	0.975
Ga											0.731	0.675	0.717	0.789		0.654	0.740	0.781		0.965	0.660
Hg												0.809		0.895	0.672			0.687	0.753		
Ni													0.888	0.719	0.790			0.766	0.930	0.634	
Pb														0.745		0.828	0.761	0.786		0.819	0.706
Cr														0.835			0.660	0.856	0.758	0.679	0.770
Rb																0.899	0.940	0.975	0.624	0.928	0.937
Ba																			0.764		
Zr																	0.907	0.906		0.986	0.877
Sr																		0.905		0.954	0.943
Al																					
Ti																			0.680	0.935	0.945
Y																					
P																					0.908
S																					

- Correlación con un nivel de significancia de 0.05
- ♦ Correlación con un nivel de significancia de 0.01

Tabla 23: Correlación de PIXE de la zona de Iztaccihualt-Popocatepetl 1999

	K	Ca	Co	Zn	Cu	V	Cl	Mn	Fe	Ga	Ni	Pb	Cr	Rb	Ba	Zr	Sr	Ti	Y	P	S	
Prof.					0.628																	
K		0.932	0.941	0.960	0.827	0.943	0.933	0.973	0.938	0.937	0.882	0.937	0.896					0.938	0.719	0.792	0.934	
Ca			0.987	0.979	0.859	0.997	0.983	0.956	0.989	0.973	0.974	0.979	0.989					0.983	0.874		0.997	
Co				0.997	0.923	0.988	0.960	0.962	0.999	0.992	0.981	0.988	0.984					0.997	0.772		0.977	
Zn					0.885	0.988	0.982	0.987	0.976	0.968	0.967	0.981	0.968					0.970	0.842	0.652	0.982	
Cu						0.867	0.802	0.840	0.924	0.944	0.908	0.899	0.883	0.699			0.669	0.935			0.825	
V							0.988	0.970	0.990	0.979	0.977	0.985	0.986					0.985	0.848		0.996	
Cl								0.968	0.962	0.945	0.959	0.971	0.972					0.952	0.893		0.991	
Mn									0.958	0.955	0.941	0.974	0.938					0.952	0.809	0.696	0.962	
Fe										0.995	0.983	0.989	0.987					0.999	0.773		0.977	
Ga											0.975	0.985	0.972					0.997	0.736		0.959	
Hg											0.801	0.759	0.810					0.725	0.989		0.852	
Ni												0.983	0.992					0.978	0.818		0.965	
Pb													0.985					0.985	0.792		0.974	
Cr																		0.981	0.830		0.931	
Rb																		0.766	0.971			
Ba																						
Zr																						
Sr																						
Al																						
Ti																			0.750		0.969	
Y																					0.877	
P																						
S																						

♦ Correlación con un nivel de significancia de 0.05  
 ■ Correlación con un nivel de significancia de 0.01

Tabla 24: Correlación de PIXE de la zona de Zoquiapan 1993.

Prof.	K	Ca	Co	Zn	Cu	V	Cl	Mn	Fe	Ga	Ni	Pb	Cr	Rb	Ba	Zr	Sr	Ti	Y	P	S
K	0.932				0.988	-0.858	0.919						0.970				0.938	0.904			
Ca					0.976	-0.985	0.999						0.991		0.872		0.762	0.997			
Co				0.988	1.000		-0.819		1.000	0.985	1.000	0.963		0.968	0.963	0.980					0.757
Zn					0.983				0.986	1.000	0.983	0.993		0.996	0.909	0.999					
Cu							-0.834		1.000	0.980	1.000	0.956		0.962	0.970	0.974					0.774
V							-0.924	0.967				0.996					0.884	0.957			
Cl								-0.991	-0.832		-0.833		-0.953		-0.943			-0.994			0.768
Mn													0.984		0.890			0.998			
Fe										0.980	0.995			0.997	0.965	0.978					0.761
Ga													0.999		0.902	1.000					
Hg													0.999		0.805		0.836	0.980			
Ni											0.956			0.962	0.970	0.975					0.772
Pb														1.000	0.856	0.997					
Cr															0.799		0.841	0.977			
Rb															0.886	0.999					
Ba																0.891	0.903				
Zr																					
Sr																					
Al																					
Ti																					
Y																					
P																					
S																					-0.757

◆ Correlación con un nivel de significancia de 0.05

◆ Correlación con un nivel de significancia de 0.01



Tabla 25: Correlación de PIXE de la zona de Zoquiapan 1999.

Prof.	K	Ca	Co	Zn	Cu	V	Cl	Mn	Fe	Ga	Ni	Pb	Cr	II	Ba	Zr	Sr	Ti	Y	P	S	
K			0.830	0.798				0.784	0.907					0.783			0.812		0.859			
Ca	0.993		0.900	0.954	0.944	0.950	0.966	0.979	0.977	0.826	0.956	0.966	0.987	0.946		0.898	0.940	0.978	0.860	0.862	0.993	
Co		0.933		0.958	0.964	0.979	0.949	0.983	0.990	0.845	0.983	0.984	0.994	0.966	0.788	0.928	0.957	0.998	0.862	0.847	0.997	
Zn			0.963		0.953	0.968	0.867	0.941	0.969	0.867	0.972	0.951	0.949	0.988	0.798	0.958	0.985	0.944	0.906	0.800	0.940	
Cu				0.948		0.940	0.948	0.974	0.982	0.864	0.949	0.945	0.978	0.987		0.926	0.994	0.960	0.960	0.857	0.969	
V					0.976		0.946	0.924	0.982		0.974	0.992	0.975	0.978	0.885	0.991	0.997	0.977	0.840	0.905	0.956	
Cl						0.897		0.955	0.985	0.837	0.999	0.991	0.975	0.975	0.874	0.964	0.960	0.986	0.835	0.818	0.972	
Mn							0.924		0.951		0.903	0.940	0.961	0.933		0.908	0.928	0.949	0.859	0.948	0.952	
Fe								0.978		0.919	0.965	0.947	0.980	0.963		0.886	0.956	0.975	0.914	0.800	0.991	
Ga									0.845		0.988	0.988	0.997	0.992	0.719	0.960	0.987	0.994	0.900	0.864	0.990	
Hg										0.855	0.782	0.837	0.844			0.860	0.830	0.868			0.865	
Ni												0.989	0.979	0.979	0.856	0.959	0.967	0.988	0.850	0.819	0.979	
Pb													0.983	0.974	0.865	0.967	0.959	0.992	0.833	0.880	0.977	
Cr														0.982	0.767	0.944	0.977	0.996	0.898	0.860	0.991	
Rb															0.781	0.970	0.997	0.974	0.917	0.860	0.970	
Ba																0.877		0.811			0.761	
Zr																	0.954	0.947	0.822	0.893	0.922	
Sr																		0.964	0.946	0.846	0.964	
Al																						
Ti																			0.861	0.855	0.993	
Y																					0.884	
P																						0.854
S																						

♦ Correlación con un nivel de significancia de 0.05

■ Correlación con un nivel de significancia de 0.01

## 21. Contenido de Minerales elementales Por RBS (1993, 1999)

La siguiente tabla muestra las determinaciones % de los minerales elementales del suelo en las tres zonas del estudio.

Para el Desierto de los Leones se observa un aumento de oxígeno y silicio en el año de 1999, esto es resultado de la fragmentación, de las partículas del suelo derivadas de procesos de acidificación donde si observan perdidas del silicio por acción del lavado. Donde también el Na también es afectado, este efecto no es reflejado en el Ca ya que se presentaron altas concentraciones de ese elemento en el año de 1999. También se incrementa el contenido de Carbono, esto es resultado de una acumulación proveniente de la materia Orgánica que se presento en ese año.

Elemento	Zona y año					
	DDLL 93	DDLL99	IZTA93	IZTA99	Zoq93	Zoq99
Fe	2.3	2.3	1.5	1.3	2	2
O	67	67.8	65.3	63.5	64.8	66.3
Ca	0.2	0.2	2.4	2.2	2	7
C	7	10.2	3.8	3.3	12.3	10
Si	20	17	23	23.2	18.7	23.2
Na	3.5	2.5	4	6.5	2	6.5

**Par el Parque Nacional de Iztaccihuatl-Popocatepetl. Se presentaron** cambios considerables. Los efectos de la acidificación del suelo en el parámetros de pH Real ( figura 18 pagina 52) . Puede ser un auxiliar para explicar el comportamiento de este elemento en los 2 años del estudio. Las desfragmentación de las partículas del suelo originan un desplazamiento de Si de las las capas internas constituyentes de las arcillas y del Ca del complejo de intercambio. Donde también esta meteorización de las arcillas incrementa el contenido de Oxígeno. Los constantes incremento en el tiempo del estudio se solubiliza el Fe el cual se lixivió a profundidades internas del perfil. También se observan los efectos de la depositación Antropogenica en el contenido de sodio ya que se elevan por un % 2.5 en el año de 1999.

El Parque de Zoquiapan y anexas, presenta incrementos de todas las lecturas de los minerales elementales en el año de 1999, estos incremento pueden tener su origen en los efectos de la depositación a la que fue sometida dicha zona.

## XI. CONCLUSIONES

- Con los cambios registrados en los parámetros físicos y químicos del suelo son la evidencia del efecto del Depósito ácido atmosférico y meteorización en corto tiempo.
- Con la escala de sensibilidad de los ecosistemas al efecto del depósito ácido, el bosque de pino-oyamel de la Cuenca de México se ubica en medianamente sensible.
- Con la movilidad de cationes divalentes se demostró la disminución en la capacidad buffer del suelo.
- La absorción de Macroelementos ( Na, K, Ca) en el gradiente de profundidad se pudo determinar su movilidad hacia el horizonte parental.
- El incremento en la concentración de los microelementos es (Cr, V, Zn, Cu, Cl) por encima de 500 mg/kg en el suelo, pone en riesgo la nutrición de los árboles.
- El aumento en la concentración de Mesoelementos (Fe y Mn) manifiesta el impacto antropico y la rápida movilidad originada por la disminución del valor de pH, puede presentar efectos tóxicos para la comunidad arbórea, acumulándose a los 105 cm de profundidad.
- La Depositación de altas concentraciones de elementos traza en el suelo y el decremento de pH, puede potencializar la toxicidad en el horizonte mineral . Para el año 1999 se presentaron acumulaciones tóxicas en los 30 cm de profundidad para DDLL e Izta-Popo, pero no así para Zoquiapan, donde las concentraciones disminuyeron significativamente.
- Se presentaron altas concentraciones de nutrientes elementales ( S, 50000, 16000 y 160 mg/kg y P 70000, 35000 y 12000), para DDLL, IZTA y Zoquiapan respectivamente, de acuerdo a estas concentraciones que DDLL es la zona más altamente impactada, por su ubicación, Las concentraciones en el Iztaccihuatl, pueden atribuirse a los eventos volcánicos recientes; la zona menos impactada es Zoquiapan.
- De acuerdo a los puntos anteriores, se puede afirmar que las técnicas nucleares ( PIXE), proporciona concentraciones reales mg/kg y de acuerdo a estos valores, se puede inferir los daños potenciales sobre el medio ambiente, por lo cual se recomienda su utilización

## XII. BIBLIOGRAFÍA.

- Aber D. J.; Hendy R. G.; Francis J. A.; Botkin B. D.; Melillo M. J. 1982. Potential Effects of Acid Precipitation on Soil Nitrogen and Productivity of Forest Ecosystems. In Acid Precipitation Effects on Ecological Systems, Edited by D. Tri m. Frank Ed. Ann Arbor Science Pp. IN Acid.
- Afarideh H., Shokouhi F., Olialy P., Hosseini A. A., And Peyrovan H. Homogeneity Studies in some Standard Reference Materials. Van de Graaff Lab., NRC, AEOI, P. MO. Box 113655-8486, Tehran, Iran.
- Alvarado R. D. de Bauer L. I. and J. Galindo A. 1993. Declive of Sacred Fir (Abies Religiosa ) in a forest park south of México City, Environmental pollution 80, Pp.115-121.
- Alloway B. J. 1990. Heavy metals in soil Edit. Jhon wiley and sons, Inc. pp 28-39.
- Allen Stewart E., Grimshaw H. Max, Parkinson & Quarmby. 1974. Ecological Materials, Edit. John Wiley & Sons New York. Pp. 121,149,154,159,165,179, 216, 225, 234, 312, 314, 317, 320, 330,
- Andersson Folke, 1986. Acidic Deposition and its Effects on the Forests of Nordic Europe. Water, Air and Soil Pollution 30 Pp. 17 - 29.
- Andersson O.F. 1988. Air pollution impact Forest Present Evidence and Future Development, Environmental and Assessment, Vol. 12, Pp. 28-29.
- Andersson O.F. 1988). Air Pollution Impact on Swedish Forest Present Evidence and Future Development, Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 12, Pp. 28 - 38.
- Azimi S., Ludwig A., Thevenot R. D. and Colin J-L. 2002. Trace metal determination in total atmospheric deposition in rural and urban areas. The Science of total Environmental 308. pp. 247-256.
- Baird C. 2001. Quimica Ambiental. Editorial. Reverté. Barcelona España. Pgs. 116-117.
- Bache N. B. 1980. The Acidification of Soils. In Effects of acid precipitation on Terrestrial Ecosystems. Pp. 183-202.
- Baez P. A.1987. Lluvia ácida, una realidad. Ciencia y Desarrollo vol. XV Num. 87 Julio- Agosto, Pp. 41 47.

- Binkley D. and Richter D. (1987). "Nutrient Cycles and H<sup>+</sup> Budgets of Forest Ecosystems". In *Advances in Ecological Research*. By Macfadyen A., Ford D. E., Ed. Academic Press Great Britain vol. 16.
- Blanco Z. S., Ceballos C. G., J. M. M, R. Patrón, A. Pescador y Soares A. I.. 1981. *Ecología de la estación Experimental Zoquiapan*. Difusión Cultural y Departamanto del Bosque de la UACH., México Pp. 114.
- Bredemeier M. (1988). Forest Canopy Transformation of Atmospheric Deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 40:121-138.
- Buckman O. H. y Brady C. N. *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Editorial Hispano Americana. México 1985. Pp 74-109, 135-168, 375-403,
- Calva V. G. y Corona B. C., 1990. Los vegetales potencialmente útiles para el registro de los niveles de contaminación en el D. F. *Tópicos de Investigación y Postgrado Volumen 1, No. 3* Pp. 3-20.
- Carlson L. C. and Ragsdale L. H., 1988. Effects of Simulated Acid Precipitation on Cadmium and Zinc- Amended Soil and Soil - Pine Systems, *Water, Air, and Soil* 42: Pp 329 - 339
- Castro S. J. M.; Gonzáles K.V; Hernández T. T.; Contenido de Metales Pesados en algunos suelos y Vegetación del Desierto de los Leones DF. *Revista Ciencias Forestal en México* Vol. 22 No. 82 Julio-Dic. Pp 109-127.
- Cibrián T. D., 1989. Air Pollution and Forest Decline Near México City. *Enviromental Monitoring and Assessment* 12:49-58.
- Ciesla M. W. and Macias A. J. E., 1987. Desierto de los leones A Forest in Crisis, *American forest magazine* Washington D.C. E.U.A.Nov-Dic. Pp. 2-5.
- Cinderby S., Cambridge M. H., Herrera R., Hicks K. W., Kuylenstierna Y. C. J., Murray F. and Olbrich K. 1998. *Global Assessment of Ecosystem Sensivity to Acidic Deposition*. ISBN 91 88714 58 6, Pp 1-12.
- Chadwick J. M. and Kuylenstierna C, I., Johan, 1991. The relative sensitivity of ecosystems in Europe to Acidic Depositions. A preliminary assessmentnof the sensitivity of aquatic and terrestrial Ecosystems. *Perspectives in Energy, Volume 1* Pages 71-91.
- Chapman D. H. and Pratt F. P. *Métodos de Análisis para suelo, Plantas y Agua*. Editorial Trillas. México. Pp. 13-27.
- Cruvinel E. P.; Flocchini R. G.; Artaxo P.; Crestana S,; Henrmann Jr,; S. P. P. 1999. *Elemental Analysis of agricultural Soil Sample by Particle Induced*

X ray Emission ( PIXE) Technique, Nuclear Instruments and Methods Physics Research B 155 Pp. 478-483.

- Corona R. y Calva G. 1989. Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México: Causas, Concentraciones y Efectos. Tópicos de Investigación y Posgrado Vol. 1, No. 1 Pags.10-21.
- Derome J., Lindroos A-J. and Lindgren, 2001. Soil Acidity Parameters and Defoliation Degree in Six Norway Spruce Stands in Finland. Water, Air AND Soil Pollution: Focus 1: 169-186.
- Driscoll T. C., Driscoll M. K., Michell J. M. and Randal J. D. 2003. Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State. Environmental Pollution. Pp327-336.
- Duvigneaud P. 1978 La síntesis ecológica. Editorial Alhambra, Barcelona España Pp. 47-47.
- Egli. M, Fitze P, and Oswald M. 1999. Changes in heavy metal contents in an acidic forest soil affected by depletion of soil organic matter within the time span 1963-1993. Environmental Pollution 105, 367-379
- Fassbender W. H. y Bornemisza E. 1987. Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ª Ed rev San Jose, Costarica IICA , Pp. 187-197.
- Fenn E. M., De Bauer I. L., Quevedo-Nolasco A. And Rodriguez-Frausto C. 1999. Nitrogen and Sulfur Deposition and Forest Nutrient status in the Valley of México. Water,Air and Soil Pollution 113: 155-174.
- Figueruelo E. J. y Dávila M. M., 2001. Química Física del Medio Ambiente. Ediciones Reverté. Primera Edición Pp.166-167.
- Foster N. W. 1989. Acidic Deposition: What is fact, what is speculation, what is needed. Water, Air, and Soil Pollution 48, 299-306.
- Flakengren G. U., 1989, Soil Acidification an its Impact on Growth Vegetation. Ambio vol. 18, No. 3.
- Frink C. R., 1977. Potential Efects of Acid Precipitation on soils in the humid tempearte zone, Water, Air and Soil pollutation 7, Pp. 371- 388.
- Freedman B. 1989. Enviromental Ecology. Edit Academic Press Inc.Pp. 81-90 ISBN 0-12-266540-6.
- Fuentes Y. J. L. El suelo y sus fertilizantes Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España 1999. Pp 245-251.

- Davies E. Brian. 1994. Soil chemistry and Bioavailability with Special Reference to Trace Elements in Plants and the chemical Elements. Biochemistry, uptake, tolerance and toxicity. vch
- Galloway N. J. 1985. Atmospheric Acidification Projections for the Future. *Ambio* Vol. 18 No 3
- Gobran E. 1989. Scientific Understanding of Ecosystem Acidification : A Historical Review, *Ambio* Vol. 18 No. 3
- Hewitt J.E. (1952) *Trans.Int.Soc. Soil Sci. Jt. Meet., Dublin 1* : 107.
- <http://www.hbrook.sr.unh.edu>.
- Howells G. Acid rain, acid soils In *Acid rain and acid Waters*, Ellis Horwood limited Pp. 63- 88.
- Jauregui,O. E. (1958) El aumento de la turbiedad del aire en la ciudad de México. *Rev. Ing Hidr. En México* Volumen 12(3) Pp 400.
- Jackson L. M. 1982 *Análisis Químicos del Suelo*. Edit. Omega, Barcelona España. Pp. 123-159,282-290.
- Jonnsson B. 1977 *Soil Acidification by Atmospheric Pollution and Forest Growth*. *Water, Air , and Soil* 7 497-501.
- Józefaciuk G., Hoffmann C. and Marschner B. 2002. Effect of Extreme Acid and Alkali Treatment on Pore Properties of Soil Samples. *J. Plant Soil Science*, 165, 59-66.
- Jaksic M. S F., I. Bogdanovic And T. T. 1996 “ Nuclear Microprobe Analysis of the Standard Reference Materials. Presented at second Research Co-ordination Meeting of the IAEA Co-ordinated Research Programme on Reference Materials for Microanalysis Nuclear Techniques. Mexico City Mexico, 30. May-5 June 1996.
- Klein M. R. and Perkins D. T. 1987. Cascades of Causes and Efects of Forest Decline. *Ambio*. Vol 16 No.2, 86-93.
- Kabata Alina- Pendias, Ph, D.,D. Sc. 2000. *Trace Elements in Soils and Plants*. Pp. 3-6.
- Lee J. J. 1985. Effect of simulated sulfuric acid rain on the chemistry of a sulfate-adsorbing forest soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 25. pp 185-193.

- Lévy G; Bréchet C. y Becker M. (1996). Element analysis of tree rings in pedunculate oak heartwood: an indicator of historical trends in the soil chemistry, related to atmospheric deposition. *Ann Sci For* 53. Pp. 685-696.
- Liptak G. . 2002. Macro Air Pollution Effects. In *Air Pollution*. Pags.36-41.
- McFee W. W. 1988. The Action of Wet and Dry Deposition Components of Acid Precipitation on Litter and Soil.
- Manahan E. S. 1993. *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Edit Lewis Publishers.
- Matzner E. y Prenzel J. 1992. Acid Deposition in the German Solling Areas Effects on Soil Solution Chemistry on Al Mobilization. *Water, Air, and Soil* 61 Pp. 221-234.
- Nellesmann C. and Thomsen G. M. 2001. Long-Term Changes in Forest Growth: Effects of Nitrogen Deposition and acidification. *Water, Air and Soil Pollution* 128: 197-205.
- Instruction Manual Phoenix Electrode Company, pp 1-21
- Miranda M. C. J. 1996. *Técnicas Analíticas de Origen Nuclear. Un Curso Introductorio*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Física, Departamento de Física Experimental, México.
- Miranda M. C. J.; L. R- F., O.-G. L., K. L., y Harada J. A. . (2000 a ). A new Beam Line for Characteristic X-ray Experiments at pelletron accelerator, Instituto de Física UNAM,. *Revista Mexicana de Física*. 46 (4) 367-372.
- Miranda M. C. J. (2000 b) *Aerosol Chemical Processes in the Enviromental*, Edit. Lewis Publishers, Pp. 405-413.
- Moser M., Bubb F. Y., Johnston P. N., El Bounanani M. Stannard W. B. Short R. C. 1998. Applications of external beam PIXE at RMIT. *Nuclear Instruments and Physics Research B* 139 Pp. 164-168.
- Mc W. W. y Cronan S. C. 1982. The action of Wet and Dry Deposition Components of Acid Precipitation on Litter and Soil. In *Acid Precipitation Effects on Ecological Systems*, Edited by D'tri m. Frank Ed. Ann Arbor Science Pp. 435-451.
- Norton A. S. 1977. Changes in Chemical Processes in Soils Caused by Acid Precipitation. *Water, Air, and Soil Pollution* (7) 389-400.
- Odén S. 1976. The Acidity Problem – An outline of Concepts. *Water, Air, and Soil Pollution* 6 137-1666



- Oropeza O. 1980. Geomorfología del Parque Nacional Zoquiapan *Biología* 10. Pp. 1-14,20-35.
- Oskarsson A.; Nordberg G.; Block M. R. F.; Petterson R.; Skerfving S.; Vahter M.; Wicklund G. A.; Obord I. Helkensten M-L. y Thuvander A. 1996. Adverse Health Effects Due to Soil and Water Acidification: A Swedish Research Program. *Ambio* Vol.25 No. 8, Pp.527 -531.
- Ortiz V. B y Ortiz S. A. C. Edafología 3ª Edición 1980. Universidad Autonoma de Chapingo. Pp 137-152, 308.
- Ortiz –Villanueva B. 1977. Edafología. Editorial Ediciones Patena Chapingo México. Pp. 190.
- Pais I. y Benton J. J. Jr . 1997. The handbook of trace elements. Published by St. Lucie Press. cm.
- Páramo H. V., Guerrero A. M.; Morales Ma. Á. M.; E. R. y Contreras B. D. 1987. Acidez de las precipitaciones en el Distrito Federal. *Ciencia y Desarrollo*, No. 72.pp. 59-65.
- Pernestal K. & Jonsson B., 1993. Pixe as a tool for determination of acidified Forests. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B7* Pp. 326-329.
- Precipitaciones ácidas en la ZMCM.1998. Informe Anual. pp 1-3.
- Pritchett L W. 1991. Suelos Forestales Propiedades , concservación y Mejoramiento Editorial Limusa Pp129- 147.
- Rajander J.; L. Harju; J – O. Libl; K.-E. Saarela; A. Lindroos: S-J Hersulios. (1999). Monitorig or Cromium, Koper an Arsenic in comtaminated Soils Using Thick – Target Pixe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B-150* Pp. 510-515.
- Radame F. 1977. Elementos de Ecología Aplicada. Ediciones Mundi – Prensa, España. Pp. 180-190.
- Reimann C. y Caritat de P. 1998. “Chemical Elements in the Environment.” Ed. Springer New York.
- Rios G. R. 1985. Practicas del Modulo de Suelo. Laboratorio Integral de Biología IV, FEZ Zaragoza.

- Rodison H. I. 1978. The Effects of Acidity on Nutrient Availability and Plant Repose. In Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems. Pp. 283-304.
- Rodhe H. 1989. Acidification in Global Perspective. Ambio Vol. 18 No. 3, Pp155-160.
- Ross M S. 1994. Toxic Metals in Soil-Plant Systems. Edit. John Wiley & Sons , ISBN 0-471-94274-0
- Ruiz B. A. y Ortega T. E. 1979. Practicas de Laboratorio de Química de Suelo. Departamento de suelos, Chapingo, México.
- Tamm O. C. 1977. Acid Precipitation and Forest Soils. Water, Air and Soils Pollution 7, Pp.367-369.
- SEDUE 1983. Propuesta de Ubicación del Centro de Interpretación del Parque Nacional Izta-popo. Pp.1.
- Sigee C. D., Morgan J. A., Sumner T. A., Warley A., (1993) X - Ray Microanalysis in Biology. Cambridge Pp. 1-3.
- Skeffington A. R., (1982). Transport or acidity through ecosystems. GEGB, Central Electricity Research Laboratories, Pp. 139-154.
- Skelly M J. 1997. Observations of ozone-induced foliar injury on black cherry (*prunus serotina*, var. *Capuli* ) Within the desierto de los Leones National Park, México City. Environmental pollution Volumen 95, No., 2 Pp.155-158.
- Speir W. T., Kettles A. H. Percival J. H. And Parshotam A. 1999. Is soil Acidification the caused of Biochemical responses when soils are amended whit Heavy metal salts. Soil Biology and Biochemistry 31: 1953-1961.
- Watt F, Landsberg P. J., Grime W. G. and McDonald 1993. Proton probe microanalysis in biology: general principle and applications for the study of Alzheimer's Disease. In Sigee C. David, Morgan A. John, Sumner T. Adrian and Warley Alice. X-ray microanalysis in biology: Experimental techniques and applications. 1993. Pp. 65-67. Cambridge University Press. Inglaterra.
- Young A. R. (1991) Introdudcción a las Ciencias Forestales. Edit. Limusa pp. 632.
- Yuanxun Z.; Gu Y.; Wang Y.; Zhu J y Zhu J. 1996 " The Homogeneous Determination of some Standard Reference Materials Using NAA and Micro-Pixe. Shanghai Institute of Nuclear. Research, Academia Sinica, 201800 Shanghai.

### XIII. ANEXOS

Tabla 26: Lectura de los Parámetros Físicos del Desierto de los Leones (1993-1999)

Profundidad	DA 93	D. A 99	DR 93	D. R 99	E P 93	E P 99
15	0.91	0.78	2.02	1.83	55.1	57.44
30	0.99	0.88	2.36	2.15	57.87	59.23
45	1	0.83	2.46	2.01	59.2	58.85
60	0.98	0.8	2.42	1.98	59.42	59.65
75	0.94	0.75	2.29	1.91	58.9	60.57
90	0.91	0.74	2.16	2.36	57.99	68.62
105	0.9	0.89	2.09	2.23	57.05	60.22
120	0.94	1.18	2.15	2.65	56.43	55.21

Tabla 27: Lecturas de los Parámetros de la Clase Textural del Desierto de los Leones (1993-1999).

Profundidad	% Arc 93	% Arc 99	% Limo 93	% Limo 99	% Are 93	% Are 99
15	20	20	11	13	69	67
30	21.77	22	9.2	9	69.03	69
45	23	21	7	11	70	68
60	23.74	23	5	14	71.26	63
75	24.06	22	3.8	16	72.14	62
90	24	22	4	9	72	69
105	23.63	22	6.2	15	70.17	63
120	23	22.14	11	11.43	66	66.43

Tabla 28: Valor de Parámetros Químicos de la zona Desierto de los Leones.

Profundidad	pH P 93	pH P 99	pHR93	pH R 99	MO93	M O 99	C.I.C.93	C.I.C.99
15	5.08	4.91	6.25	6.06	9.14	9.74	32.5	33.6
30	5.1	5.1	6.08	5.98	7.39	7.33	27.13	37.4
45	5.11	5.21	5.95	6.08	6.38	6.98	23.7	23.6
60	5.12	5.52	5.85	6.26	5.88	6.29	21.71	24
75	5.13	5.48	5.76	6.29	5.69	5.6	20.67	30
90	5.14	5.67	5.7	6.44	5.6	5.26	20.1	17.2
105	5.16	5.85	5.65	6.62	5.41	4.05	19.51	20.4
120	5.19	6.05	5.6	6.72	4.91	1.85	18.4	18.57

Tabla 29: Lecturas del contenido de bases de saturación en ppm en el Desierto

Profundidad	Na(ppm)93	Na(ppm)99	k(ppm)93	K(ppm)99	Ca(ppm)93	Ca(ppm)99	Mg(ppm)93	Mg(ppm)99
15	519.11	1036.62	276.98	102.38	93.99	73.11	15271.23	8195.75
30	586.68	208.6	511.68	23.3	130.22	38.54	48677.56	7016.51
45	598.73	1092.36	526.98	126.19	132.75	38.29	60082.55	8785.38
60	581.88	964.97	402.72	122.22	113.33	94.21	56140.5	19988.21
75	562.75	439.49	218.71	90.6	83.73	48.74	43505.73	15271.23
90	567.98	1148.09	54.76	146.03	55.7	59.95	28832.55	22936.32
105	624.17	1068.47	9.3	296.83	41	80.07	18775.27	53007.08
120	757.96	1080.98	106.35	472.66	51.39	65.82	19988.21	88384.43

Tabla 30: Lectura de los Parámetros Físicos de la zona de Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad	D. A. 93	D. A. 99	D. R.93	D. R. 99	% E.P.93	% E.P.99
0-15	1.17	0.948	2.51	2.01	53.47	52.79
15-30	1.24	1.005	2.5	2.007	50.44	49.93
30-45	1.3	1.141	2.55	2.14	49.12	46.477
45-60	1.33	1.214	2.67	2.54	50.41	52.17
60-75	1.37	1.221	1.62	2.55	15.52	52.14
75-90	1.35	1.186	2.69	2.30	49.93	48.53
90-105	1.14	1.221	2.51	2.58	54.83	52.62
105-120	1.27	1.153	2.4	2.60	47.33	55.61
120-135	1.2	1.329	2.73	2.37	64.22	43.92
135-150	1.21	1.279	3.08	2.58	64.22	50.38
150-160	1.26	1.22	3.57	2.65957403	65.0344	54.13

Tabla 31: Lectura Valores de Textura de la zona de Iztaccihuatl – Popocatepetl

Profundidad	% Arc 93	% Arc 99	% Limo 93	% Limo 99	% Are 93	% Are 99
0-15	19	20	5	5	76	75
15-30	18	19	6	3	76	78
30-45	19	18.72	5	6.28	76	75
45-60	19	18.72	6	5.28	75	76
60-75	19	19	9	4	72	77
75-90	19	22	11	11	70	67
90-105	20	23	10	7	70	70
105-120	20	20.36	8	10.64	72	69
120-135	20.29	21.36	3.14	12.64	76.57	66
135-150	20.4	21.36	5.4	11.64	75.2	67
150-160	20.36	18.36	8.31	1.64	71.33	80

Tabla 32: Valores de las lecturas de los Parámetros químicos

Profundidad	pH P 93	pH P 99	pH R 93	pH R 99	% M.O. 93	% M.O.99	C.I.C.93	C.I.C.99
0-15	5.8	5.33	6.8	5	7.33	9.222	12	22.8
15-30	5.9	5.05	6.49	5.77	6.12	7.8425	13	20
30-45	5.79	5.15	6.51	5.88	5.26	7.325	5.4	33
45-60	5.61	5.5	6.39	5.58	5.08	6.807	3.6	8.8
60-75	5.41	4.9	6.39	5.82	4.91	6.4625	14.6	25
75-90	5.3	4.98	6.58	5.5	4.74	6.29	2.8	10.2
90-105	5.31	5.09	6.88	5.78	4.74	6.1175	32	4.6
105-120	5	4.99	7.02	5.69	4.39	5.7725	17.8	13.6
120-135	5	4.85	7.34	5.85	3.73	5.6	23.76	7
135-150	5.02	4.85	7.64	5.97	2.57	5.6	22.09	18
150-160	5.13	5.08	7.96	5.84	0.77	5.255	16.3	7

Tabla 33: Valores del contenido de bases en Iztaccihualt-Popocatepetl

Profundidad	Na 93	Na 99	K 93	K 99	Ca 93	Ca 99	Mg 93	Mg 99
0-15	343.95	399.69	49.18	134.13	475.34	175.58	68337.26	28832.54
15-30	861.46	320.06	280.95	80.25	73.11	48.74	7606.13	5247.64
30-45	582.8	304.14	100.96	88.01	77.08	77.08	6426.89	12323.11
45-60	606.69	471.34	103.55	88.02	45.26	27.85	6426.89	530.66
60-75	781.85	447.45	126.84	93.19	29.98	64.23	6999.31	5247.64
75-90	447.45	272.29	82.84	106.13	38.29	132.75	9964.62	14681.60
90-105	813.69	813.69	98.37	134.13	89.93	66.14	15271.23	11143.87
105-120	519.11	367.83	118.25	95.78	52.22	59.95	24115.57	7606.13
120-135	689.15	455.41	263.55	106.13	112.35	31.33	6859.1	1709.91
135-150	874.73	590.76	491.25	50.79	416.42	38.30	25668.94	2889.15
150-160	1189.98	606.69	838.26	100.96	910.56	12.85	82801.39	4135.96

Tabla 34: Lectura de los Parámetros Físicos de la zona de Zoquiapan.

Profundidad	D. A 93	D. A 99	D. Real 93	D. Real 99	EP 93	EP 99
15	0.846	0.829	1.78	1.84	52.4548	55.07
30	0.798	0.831	1.99	2.32	59.7808	64.27
45	0.859	0.891	2.07	2.07	58.4244	56.88
60	0.866	0.876	2.24	1.07	61.2898	17.83
75	0.886	0.87	2.03	1.06	56.4088	18.22
90	0.937	0.91	2.02	2.87	53.5248	68.33
105	0.753	0.85	1.92	1.05	60.9193	19.59

Tabla 35: Lectura Valores de Textura de la zona de Zoquiapan(1993-1999)

Profundidad	%Arc 93	% Arc 99	% Limo 93	% Limo 99	% Are 93	% Are 99
15	23.72	20	14.28	11	62	69
30	21	24	7	14	72	62
45	23.72	24	13.28	10	63	66
60	25.72	18	11.28	16	63	66
75	25.72	19	13.28	18	61	63
90	24.72	23	14.28	11	61	66
105	24	31	15	20	61	49

Tabla 36: Valores de las lecturas de los parámetros Químicos de la zona de Zoquiapan.

Profundidad	pH P 93	pH P 99	pH R 93	pH R 99	MO 93	MO 99	CIC 93	CIC 99
15	5.05	5.07	6.23	5.8	10.72	8.88	31	28.88
30	5.12	5.48	6.2	5.95	9.74	5.77	38	19.76
45	4.86	4.85	6	5.93	9.14	6.34	33	30.78
60	4.89	4.92	6.24	5.79	8.015	6.36	33.4	15.2
75	5.17	5.05	6.16	5.71	8.015	6.46	28	19.38
90	5.18	5.03	6.19	6.43	6.29	6.47	29.4	26.79
105	5.25	5.46	6.47	6.24	6.03	4.73	12.5	24.7

Tabla 37: Lecturas del contenido de bases de saturación en ppm de la zona de Zoquiapan.

Profundidad	Na 93	Na 99	k 93	K 99	Ca93	Ca 99	Mg 93	Mg 99
15	654.46	511.14	673.81	459.52	55.70	119.90	25884.43	11143.87
30	97.13	550.95	257.14	796.82	98.50	47.10	41804.24	2299.52
45	343.95	558.91	673.81	709.52	48.73	68.51	17040.09	12323.11
60	558.91	590.76	911.90	1213.50	72.80	55.70	22936.32	7016.51
75	41.40	304.14	78.571	769.05	107.91	24.36	76002.35	4135.95
90	757.96	272.29	499.20	284.92	68.51	24.36	36497.64	4135.95
105	375.79	654.46	384.12	828.57	34.81	94.21	21167.45	36497.64

## Tablas de lecturas Multielementales.

Tabla 38: Concentración de Macroelementos del Desierto años 1993- 1999

Profundidad (cm).	K 93	K 99	Ca 93	Ca 99
0-15	302.2	112544.9	1643.2	150125
15-30	412.3	52257.6	1549.2	60263.9
30-45	1.1	62026.9	2.9	66071.9
45-60	17.2	70224.8	95.3	63553
60-75	278.2	59767.1	668.9	59420.1
75-90	309.9	77903.9	651.3	69296
90-105	526.9	57970.2	1033.7	22572.3
105-120	0	3353.9	7.4	2340.5

Tabla 39: Concentración de micronutrientes en el Desierto de los Leones.

Profundidad (cm)	Co 93	Co 99	Zn 93	Zn 99	Cu 93	Cu 99
0-15	49.1	0	30.3	237.1	10.3	31.3
15-30	59	24.8	34.3	64.8	12.5	27.5
30-45	17.2	0	5.4	87.5	2.6	36.2
45-60	30.2	0	6.8	172.5	4.2	28.1
60-75	92.6	83.8	22.8	94	16.2	50.8
75-90	89.7	64.3	27.4	125.4	15.4	64.9
90-105	80.3	0	26.1	92.4	15.1	25.5
105-120	22.1	18.9	5.3	19.4	3.6	73.7

Tabla 40: Lecturas de Concentración de Cloro en el Desierto de los Leones 1993-1999.

Profundidad (cm)	V 93	V 99	Cl 93	Cl 99
0-15	46.3	0	153.5	20895.8
15-30	52	0	54.7	17431.5
30-45	0.778	0	123.7	0
45-60	8.7	263.3	51.4	10419.4
60-75	76.9	0	22.7	2829.7
75-90	77.8	0	35.4	0
90-105	60.2	0	100.2	20597.3
105-120	2.5	29.8	103.1	811.2

Tabla 41: Concentración de Mesoelementos en el Desierto años 1993-1999.

Profundidad (cm).	Mn 93	Mn 99	Fe 93	Fe 99
0-15	285.9	2737.7	9525.8	108495.5
15-30	326.6	1193.5	12064.9	55222.3
30-45	6.1	1065.6	416.6	66119.2
45-60	17.4	1114.9	2251.7	83234.8
60-75	143.8	1035.3	16982.6	78510.5
75-90	150.4	1544.2	15092.7	108413.3
90-105	179.6	623.9	14585.6	72461
105-120	6.8	21857.3	1150.9	135.4



Tabla 42: Concentración de Elementos traza del Desierto 1993-1999

Profundidad (cm)	Ti 93	Ti 99	Cr 93	Cr 99	Ni 93	Ni 99	Ga 93	Ga 99
0-15	811.2	24237.3	13.8	245.2	9.4	121.8	4.2	73.9
15-30	1049.4	11979.7	24.5	230.9	9.7	29	11.2	23.6
30-45	3.1	14782.9	0.453	195.7	0	56.2	2.1	38.8
45-60	91.8	18703.2	2.7	241.4	1.6	82.5	3.8	15.5
60-75	1342.3	17043.5	20.6	320.5	17.9	99.3	10.4	18.6
75-90	1281.8	24476.7	24.5	369.6	16.5	125.2	9.5	40.5
90-105	1069	18582.5	30.1	264.3	15.6	106.4	10.6	37.2
105-120	11.6	123	1.1	740	0	27.9	3.2	0

Tabla 43: Concentración de Elementos traza en el Desierto 1993-1999

Profundidad (cm)	Rb 93	Rb 99	Sr 93	Sr 99	Y 93	Y 99	Zr 93	Zr 99
0-15	19.7	91.2	81.5	453.5	0	0	38.3	452.6
15-30	27	34.4	112.8	160.3	2.3	71.5	77	164
30-45	6.5	15.5	42.3	273.3	0	71.2	43.9	335.3
45-60	9.4	50.5	33.6	252.4	2.9	0	48.3	111.6
60-75	33.8	0	56.6	258.3	7.6	54.7	52.9	304
75-90	28.2	100.6	56.6	180.8	0	14.8	78.9	331.9
90-105	35.3	57.6	92	80.7	0	0	72.1	366.1
105-120	4.7	0	48.5	115.7	1.6	0	41.6	26.7

Tabla 44: Concentración de Elementos traza en el Desierto 1993-1999

Profundidad (cm)	Ba 93	Ba 99	Pb 93	Pb 99
0-15	20.4	2595.5	12.7	0
15-30	37.5	628.4	19	0
30-45	0	2689.1	0	28.3
45-60	2.3	1026.3	1.6	0
60-75	144.6	1917	18.3	0
75-90	114.1	3243.3	29.3	0
90-105	78.4	2332.4	0	28.8
105-120	0	24.1	1.9	19.5

Tabla 45: Concentración de Nutrielementos del Desierto 1993-1999

Profundidad ( cm )	P 93	P 99	S 93	S 99
0-15	5781.6	0	1175.4	0
15-30	7760.3	29735.2	1139.3	32863.3
30-45	6959.4	16612.6	496.5	6070.9
45-60	5502.6	6608.1	316.6	41866.4
60-75	6888.5	39592.9	513.2	19604.5
75-90	8271.6	44308.9	630.8	15734.7
90-105	8988.7	58368.1	1009.7	14151.5
105-120	7035	2293.6	462.6	115.7

Tabla 46: Concentración de Macroelementos de la Zona de Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad	K 93	K 99	Ca 93	Ca 99
15	1699.00	1405	4758.83	4187
30	1341.82	1061	4421.56	3219
45	9.6	1762	69.7	5303
60	1360.95	1729	3794.22	5203
75	1236.01	1912	3454.51	5090
90	2146.88	1657	4096.92	4629
105	1057.43	1398.33	2673.62	3458.25
120	2.26	4004.85	3.31	21432.35
135	1162.47	1061.70	3332.59	3595.90
150	2.6	3394.50	3.8	14690.10
165	1244.30	2504.10	3146.10	4778.60

Tabla 47: Concentración de microelementos en la Zona de Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad	CO 93	Co 99	Zn 93	Zn 99	Cu 93	Cu 99	V 93	V 99	Cl 93	Cl 99
15	80.87	64	46.27	34	11.47	8	61.96	49	356.82	293
30	88.51	52	111.86	20	9.39	8	53.52	38	241.99	222
45	22.1	84	6.4	34	3	9	4.8	60	97.9	266
60	77.50	82	43.13	33	9.99	9	48.16	59	239.76	261
75	53.60	88	29.92	35	6.78	11	45.01	58	210.60	341
90	86.33	100	44.32	39	17.15	16	61.64	53	334.88	282
105	68.92	71.33	59.49	34.52	14.87	15.44	48.18	42.07	277.64	168.28
120	23.87	392.57	4.18	127.08	3.14	65.03	0.19	260.94	113.94	1269.34
135	52.44	73.70	26.61	29.70	5.53	27.70	37.41	48.00	215.99	217.20
150	27.4	323.40	4.8	87.50	3.6	86.90	2.21E-01	177.40	130.8	736.30
165	81.10	100.70	70.00	51.70	17.50	20.00	56.70	71.90	326.70	390.60

Tabla 48: Concentración de Mesoelementos en la Zona de Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad (cm)	Mn 93	Mn 99	Fe 93	Fe 99
15	182.31	153	12018.61	9908
30	200.97	146	11642.16	8069
45	15.6	179	1145.7	12203
60	150.59	176	10435.58	11973
75	133.41	197	8376.68	12305
90	304.70	245	12348.89	12555
105	396.36	172.52	9111.69	9861.08
120	5.40	733.00	522.47	57126.52
135	125.79	124.70	7555.08	10893.10
150	6.2	517.20	599.8	47097.60
165	466.40	355.40	10721.90	14403.60

Tabla 49: Concentración de Elementos traza en la Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad (cm)	Ti 93	Ti 99	Cr 93	Cr 99	Ni 93	Ni 99	Ga 93	Ga 99
15	1022.54	809	19.74	32	8.45	11	3.95	9
30	820.09	617	31.37	17	11.20	8	8.88	8
45	32.4	984	1.3	18	0	3	3.1	11
60	789.53	965	24.57	18	10.52	3	8.93	11
75	694.97	951	13.92	24	3.80	6	6.06	9
90	995.72	895	15.00	25	9.95	14	12.86	10
105	850.16	797.98	26.00	16.62	18.87	10.94	9.18	8.99
120	3.83	4140.70	0.12	186.33	0.00	103.04	2.26	43.63
135	599.08	900.70	8.81	21.50	1.04	16.50	7.60	11.20
150	4.4	3601.20	1.35E-01	128.80	0	71.80	2.6	38.90
165	1000.40	1161.40	30.60	17.50	22.20	11.60	10.80	15.00

Tabla 50: Concentración de Elementos traza en la Zona de Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad (cm)	Rb	Rb 99	Sr 93	Sr 99	Y 93	Y 99	Zr 93	Zr 99
15	36.35	19	222.52	194	7.53	12	105.11	69
30	29.13	24	189.68	151	5.00	5	55.16	42
45	7.9	33	86.1	233	0	10	23	96
60	36.94	33	200.70	229	5.74	10	70.52	94
75	24.31	46	170.47	277	0.00	6	59.47	69
90	37.29	50	264.75	260	5.66	6	107.77	86
105	28.98	31.30	139.97	176.76	10.37	3.56	65.01	63.19
120	1.48	27.27	33.71	154.19	2.26	885.53	24.83	19.58
135	23.15	36.10	164.50	185.20	1.99	1.10	56.76	92.30
150	1.7	108.00	38.7	710.70	2.6	23.80	28.5	160.20
165	34.10	43.50	164.70	308.80	12.20	6.60	76.50	125.70

Tabla 51: Concentración de Elementos traza en La Zona de Iztaccihualt-Popocatepetl.

Profundidad (cm)	Ba 93	Ba 99	Pb 93	Pb 99
15	0.00	0	20.75	22
30	0.00	0	6.81	16
45	2.2	0	3.7	15
60	0.00	0	8.22	15
75	0.00	0	12.29	15
90	0.29	0	26.32	25
105	12.66	0	17.25	12.47
120	0.00	0	0.64	110.31
135	0.00	0	23.85	13.00
150	0	0	7.32E-01	84.50
165	14.90	0	20.30	30.70

**Tabla 52: Concentraciones de Nutrientos minerales de la Zona de Iztacciuhatl- Popocatepetl.**

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>P 93</b>	<b>P 99</b>	<b>S 93</b>	<b>S 99</b>
15	24041.6215152024/8	19153.9945541684/8	3823.22	3095
30	17886.94	14169	3344.56	2541
45	7391.8	23695	354.7	3887
60	18328.65	23247	2924.72	3814
75	17253.82	25178	2761.80	3837
90	28475.94	21311	3305.25	3593
105	17259.09	20352.45	2215.91	2616.50
120	6377.09	31067.87	367.42	14734.79
135	15969.80	14908.2	2474.67	2535.4
150	7321	25538.6	421.8	9284.7
165	20309.10	33214	2607.50	3855.2

**Tabla 53: Concentración de Macroelementos en la zona de Zoquiapan y Anexos**

Profundidad (cm)	K 93	K 99	Ca 93	Ca 99
15	7525.5	86.1	676.8	256.6
30	84733.6	41.4	35718.5	131.3
45	238438.5	12.5	47444.6	71.3
60	22037.8	536.54	2928.5	2701.30
75	19197.7	38.11	3456.9	263.03
90	0	493.31	900.1	2221.19
105	0	469.45	754.8	2506.75

**Tabla 54: Concentración de micronutrientes en la Zona de Zoquiapan y Anexas.**

Profundidad (cm)	Co 93	Co 99	Cu 93	Cu 99	Zn 93	Zn 99	V 93	V 99
15	2.5	2.5	2572.4	6.28E-01	19.3	3.7	481.4	1.8
30	857.8	1.9	417883.4	3.15E-01	5156.2	1.9	16288	1.8
45	225.9	3.3	121236.2	6.87E-01	545	2.1	32624.8	2.3
60	16.6	80.04	8379.2	21.64	48.2	41.40	2066.4	61.70
75	15.3	40.18	7618.3	4.84	39.4	17.40	2103.2	12.11
90	0	59.71	38.2	12.76	0	41.68	1023.6	38.65
105	0	82.33	60.3	15.00	3.96E-01	37.24	191	59.74

**Tabla 55: Concentración de Mesoelementos en la Zona de Zoquiapan y Anexas.**

Profundidad (cm)	Mn 93	Mn 99	Fe 93	Fe 99
15	191.2	23.4	14.2	656.6
30	9858	8.6	1783.3	436.6
45	12322.3	6.3	487.1	502.7
60	866.7	148.78	45.7	14222.38
75	697.3	37.40	49.5	3411.89
90	15.3	159.68	0	11342.68
105	18.8	169.49	0	12524.53

Tabla 56: Valores de concentración de elementos trazas en Zoquiapan y Anexas

Profundidad (cm)	Ti 93	Ti 99	Cr 93	Cr 99	Ni 93	Ni 99	Ga 93	Ga 99
15	54.6	61.4	1195.3	5.26E-01	33.8	8.47E-01	1.1	6.08E-01
30	2958.2	42.1	46379.4	8.93E-01	7269.5	4.62E-01	1391	4.02E-01
45	3494.7	36.4	77822.4	1.00E+00	2102.1	7.24E-01	122	2.41E-01
60	105.1	1135.58	4732.4	30.09	138.8	15.49	8.2	6.32
75	332.2	133.08	4678.1	4.93	127.7	3.41	8.7	4.04
90	0	863.27	3913.7	25.35	39.3	10.53	0	11.78
105	40.4	1000.97	1667.2	25.72	28.8	15.45	3.00E-01	15.81

Tabla 57: Concentración de elementos Traza en la Zona De Zoquiapan y Anexas.

Profundidad (cm)	Rb 93	Rb 99	Sr 93	Sr 99	Y 93	Y 99	Zr 93	Zr 99
15	3.1	1	0	3.9	0	0	7.70E-01	3.9
30	11351.5	0	0	4.9	0	1.4	906.3	3.5
45	98.2	1.1	75.3	6.3	0	0	55.5	3.9
60	5.5	22.08	0	155.46	0	6.50	1.7	92.60
75	3.7	8.34	0	66.99	0	4.57	0	30.76
90	0	17.40	0	136.47	0	8.93	0	47.84
105	0	19.47	1.9	141.54	0	6.79	1.6	63.94

Tabla 58: Concentración de elementos Traza en la Zona De Zoquiapan y Anexas.

Profundidad (cm)	Ba 93	Ba 99	Pb 93	Pb 99
15	8.6	0	6.7	9.68E-01
30	460.9	0	354.1	6.76E-01
45	254.3	0	0	1.16E-01
60	24.3	43.90	5.5	16.56
75	15.5	2.24	6.4	2.60
90	7.4	0.00	4.9	10.18
105	9.99E-01	34.65	0	13.22

Tabla 59: Concentración de Nutrielementos en la Zona de Zoquiapan y Anexas.

Profundidad (cm)	P 93	P 99	S 93	S 99
15	0.46	5589.9	0	368.1
30	0.02	2896.1	0	210.7
45	0.07	2655.4	0	134.7
60	0.36	11641.90	0	1658.50
75	0.27	5252.35	0	385.71
90	0.12	8453.50	0	1486.36
105	0.46	6457.21	0	1604.28

Tabla 60: Contenido de iones en la zonas del Desierto de los Leones 1993- 1999

Profundidad	Amonio 93	Amonio 99	Nitratos 93	Nitratos 99	Sulfatos 93	Sulfatos 99	Cloruros 93	Cloruros 99
15	58.5	60.3	255.6	256	78	84	1219.8	1440
30	52.53	53.1	253.26	250.8	78.6	84	1443	1467
45	49.8	43.5	244	273.4	78	96	1560.6	1410
60	49.41	71.4	257.22	269.8	78	96	1599.9	1436.4
75	50.49	51.9	258.58	284.4	79.8	92.4	1588.14	1433.4
90	52.2	51.6	271	281	85.2	126	1552.8	1416
105	53.67	48.6	260.14	283.4	96	118.2	1521.12	1329.6
120	54	48.9	255.4	282.2	114	114	1520.4	1302.6

Tabla 61: Contenido de iones en la zona de Zoquiapan y Anexas 1993- 1999

Profundidad	Amonio 93	Amonio 99	Nitratos 93	Nitratos 99	Sulfatos 93	Sulfatos 99	Cloruros 93	Cloruros 99
15	51.3	66.6	12954	13344	276.8	207.2	90	106.8
30	56.7	42.6	13146	9798	283.8	148.2	100.8	88.2
45	36	31.5	14916	12006	380.6	286.6	86.4	93.6
60	57.9	45.9	15174	12390	282.4	278.4	78.6	81
75	57	31.8	15222	13638	272.8	281.8	101.4	83.4
90	16.2	31.8	14550	13398	279.8	284.2	91.2	103.8
105	42.9	74.4	14604	13422	247.2	269.8	114	79.2

Tabla 62: Contenido de iones en la zona de Iztaccihuatl-Popocatepetl 1993- 1999

Profundidad	Amonio 93	Amonio 99	Nitratos 93	Nitratos 99	Sulfatos 93	Sulfatos 99	Cloruros 93	Cloruros 99
15	52.8	39.3	260.2	264.2	75.39	87.85	1137	1147.2
30	34.5	60.3	257	274.2	71.65	110.28	1089	1089
45	51.3	53.4	262.6	272.6	79.13	85.98	1330.2	986.4
60	53.1	50.4	261.2	277.2	91.59	82.24	1213.8	1119.6
75	58.5	39.3	267.2	270.4	93.46	102.80	1338.6	1086.6
90	40.5	52.2	274.4	262.4	84.12	90.969	1254.6	1298.4
105	42.3	40.8	263.4	251.8	86.61	84.11	1343.4	1346.4
120	34.5	62.7	261.8	263.2	100.94	102.18	1205.4	1285.2
135	42.33	51.9	258.6	266.8	82.87	125.23	1218.6	1207.8
150	48.62	34.8	244.64	263.2	77.52	84.73	1126.07	1194.6
165	57.3	34.5	233.4	261	64.46	81.62	1027.87	1182

**Tabla 63: Correlaciones de iones del Desierto de los Leones 1993**

Correlations

		PHP93	PHR93	MO93	CIC93	CA93	AMONI93	NITRA93	SULFA93	CLORU93
PHP93	Pearson Correlation	1.000	-.934**	-.870**	-.876**	-.757*	-.130	.315	.899**	.528
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.005	.004	.030	.759	.447	.002	.179
	Sum of Squares and Cross-products	8.488E-03	-5.14E-02	-.289	-1.010	-6.646	-9.32E-02	.577	2.833	15.902
	Covariance	1.213E-03	-7.34E-03	-4.13E-02	-.144	-.949	-1.33E-02	8.246E-02	.405	2.272
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PHR93	Pearson Correlation	-.934**	1.000	.966**	.980**	.711*	.377	-.437	-.687	-.740*
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.000	.000	.048	.357	.279	.060	.036
	Sum of Squares and Cross-products	-5.14E-02	.356	2.080	7.314	40.373	1.751	-5.186	-14.022	-144.335
	Covariance	-7.34E-03	5.083E-02	.297	1.045	5.768	.250	-.741	-2.003	-20.619
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
MO93	Pearson Correlation	-.870**	.966**	1.000	.997**	.506	.586	-.286	-.580	-.876**
	Sig. (2-tailed)	.005	.000	.	.000	.201	.127	.493	.132	.004
	Sum of Squares and Cross-products	-.289	2.080	13.023	45.031	173.905	16.464	-20.519	-71.544	-1032.886
	Covariance	-4.13E-02	.297	1.860	6.433	24.844	2.352	-2.931	-10.221	-147.555
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CIC93	Pearson Correlation	-.876**	.980**	.997**	1.000	.559	.553	-.346	-.581	-.858**
	Sig. (2-tailed)	.004	.000	.000	.	.150	.155	.402	.131	.006
	Sum of Squares and Cross-products	-1.010	7.314	45.031	156.630	665.912	53.811	-86.038	-248.790	-3509.594
	Covariance	-.144	1.045	6.433	22.376	95.130	7.687	-12.291	-35.541	-501.371
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CA93	Pearson Correlation	-.757*	.711*	.506	.559	1.000	-.342	-.681	-.726*	-.086
	Sig. (2-tailed)	.030	.048	.201	.150	.	.407	.063	.711	.840
	Sum of Squares and Cross-products	-6.646	40.373	173.905	665.912	9072.948	-253.379	-1290.606	-2363.848	-2662.542
	Covariance	-.949	5.768	24.844	95.130	1296.135	-36.197	-184.372	-337.693	-380.363
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
AMONI93	Pearson Correlation	-.130	.377	.586	.553	-.342	1.000	.128	.242	-.902**
	Sig. (2-tailed)	.759	.357	.127	.155	.407	.	.762	.563	.002
	Sum of Squares and Cross-products	-9.32E-02	1.751	16.464	53.811	-253.379	60.543	19.866	64.530	-2293.344
	Covariance	-1.33E-02	.250	2.352	7.687	-36.197	8.649	2.838	9.219	-327.621
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
NITRA93	Pearson Correlation	.315	-.437	-.286	-.346	-.681	.128	1.000	.157	.116
	Sig. (2-tailed)	.447	.279	.493	.402	.063	.762	.	.711	.785
	Sum of Squares and Cross-products	.577	-5.186	-20.519	-86.038	-1290.606	19.866	395.832	106.680	752.352
	Covariance	8.246E-02	-.741	-2.931	-12.291	-184.372	2.838	56.547	15.240	107.479
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SULFA93	Pearson Correlation	.899**	-.687	-.580	-.581	-.726*	.242	.157	1.000	.141
	Sig. (2-tailed)	.002	.060	.132	.131	.042	.563	.711	.	.740
	Sum of Squares and Cross-products	2.833	-14.022	-71.544	-248.790	-2363.848	64.530	106.680	1169.820	1573.380
	Covariance	.405	-2.003	-10.221	-35.541	-337.693	9.219	15.240	167.117	224.769
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CLORU93	Pearson Correlation	.528	-.740*	-.876**	-.858**	-.086	-.902**	.116	.141	1.000
	Sig. (2-tailed)	.179	.036	.004	.006	.840	.002	.785	.740	.
	Sum of Squares and Cross-products	15.902	-144.335	-1032.886	-3509.594	-2662.542	-2293.344	752.352	1573.380	106828.0
	Covariance	2.272	-20.619	-147.555	-501.371	-380.363	-327.621	107.479	224.769	15261.140
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8

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

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



**Tabla 64: Correlaciones de iones de la zona del Desierto de los Leones 1999**

		Correlations									
		PHP99	PHR99	MO99	CIC99	CA99	AMONI99	NITRA99	SULFA99	CLOORU99	
PHP99	Pearson Correlation	1.000	.963**	-.968**	-.813*	.348	-.219	.813*	.830*	-.823*	
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.014	.398	.602	.014	.011	.012	
	Sum of Squares and Cross-products	1.041	.701	-6.123	-16.095	18.763	-5.096	28.483	35.840	-127.811	
	Covariance	.149	.100	-.875	-2.299	2.680	-.728	4.069	5.120	-18.259	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
PHR99	Pearson Correlation	.963**	1.000	-.908**	-.798*	.424	-.233	.795*	.840**	-.889**	
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.002	.018	.295	.579	.018	.009	.003	
	Sum of Squares and Cross-products	.701	.508	-4.011	-11.028	15.984	-3.778	19.441	25.354	-96.445	
	Covariance	.100	7.260E-02	-.573	-1.575	2.283	-.540	2.777	3.622	-13.778	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
MO99	Pearson Correlation	-.968**	-.908**	1.000	.723*	-.145	.362	-.766*	-.742*	.826*	
	Sig. (2-tailed)	.000	.002	.	.043	.732	.378	.027	.035	.012	
	Sum of Squares and Cross-products	-6.123	-4.011	38.432	86.957	-47.507	51.128	-162.919	-194.797	779.293	
	Covariance	-.875	-.573	5.490	12.422	-6.787	7.304	-23.274	-27.828	111.328	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
CIC99	Pearson Correlation	-.813*	-.798*	.723*	1.000	-.345	.244	-.795*	-.910**	.710*	
	Sig. (2-tailed)	.014	.018	.043	.	.402	.560	.018	.002	.049	
	Sum of Squares and Cross-products	-16.095	-11.028	86.957	376.181	-353.996	107.783	-529.447	-747.260	2095.853	
	Covariance	-2.299	-1.575	12.422	53.740	-50.571	15.398	-75.635	-106.751	299.408	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
CA99	Pearson Correlation	.348	.424	-.145	-.345	1.000	.679	.152	.264	-.289	
	Sig. (2-tailed)	.398	.295	.732	.402	.	.064	.719	.528	.488	
	Sum of Squares and Cross-products	18.763	15.984	-47.507	-353.996	2793.668	817.143	275.918	589.813	-2323.900	
	Covariance	2.680	2.283	-6.787	-50.571	399.095	116.735	39.417	84.259	-331.986	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
AMONI99	Pearson Correlation	-.219	-.233	.362	.244	.679	1.000	-.377	-.339	.433	
	Sig. (2-tailed)	.602	.579	.378	.560	.064	.	.358	.411	.284	
	Sum of Squares and Cross-products	-5.096	-3.778	51.128	107.783	817.143	517.939	-294.232	-326.543	1500.233	
	Covariance	-.728	-.540	7.304	15.398	116.735	73.991	-42.033	-46.649	214.319	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
NITRA99	Pearson Correlation	.813*	.795*	-.766*	-.795*	.152	-.377	1.000	.745*	-.648	
	Sig. (2-tailed)	.014	.018	.027	.018	.719	.358	.	.034	.082	
	Sum of Squares and Cross-products	28.483	19.441	-162.919	-529.447	275.918	-294.232	1177.875	1081.815	-3386.235	
	Covariance	4.069	2.777	-23.274	-75.635	39.417	-42.033	168.268	154.545	-483.748	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
SULFA99	Pearson Correlation	.830*	.840**	-.742*	-.910**	.264	-.339	.745*	1.000	-.687	
	Sig. (2-tailed)	.011	.009	.035	.002	.528	.411	.034	.	.060	
	Sum of Squares and Cross-products	35.840	25.354	-194.797	-747.260	589.813	-326.543	1081.815	1790.955	-4426.695	
	Covariance	5.120	3.622	-27.828	-106.751	84.259	-46.649	154.545	255.851	-632.385	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
CLOORU99	Pearson Correlation	-.823*	-.889**	.826*	.710*	-.289	.433	-.648	-.687	1.000	
	Sig. (2-tailed)	.012	.003	.012	.049	.488	.284	.082	.060	.	
	Sum of Squares and Cross-products	-127.811	-96.445	779.293	2095.853	-2323.900	1500.233	-3386.235	-4426.695	23175.315	
	Covariance	-18.259	-13.778	111.328	299.408	-331.986	214.319	-483.748	-632.385	3310.759	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	

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

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

**Tabla 65: Correlaciones de iones de la zona de Iztacihuatl-Popocatepetl 1993.**

		Correlations								
		PHP93	PHR93	MO93	CIC93	CA99	AMONI93	NITRA93	SULFA93	CLORU93
PHP93	Pearson Correlation	1.000	-.698*	.747**	-.533	-.198	.126	.289	-.249	.061
	Sig. (2-tailed)	.	.017	.008	.091	.560	.711	.389	.461	.858
	Sum of Squares and Cross-products	1.160	-1.266	4.413	-16.341	-187.860	3.673	10.847	-8.855	21.964
	Covariance	.116	-.127	.441	-1.634	-18.786	.367	1.085	-.885	2.196
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
PHR93	Pearson Correlation	-.698*	1.000	-.820**	.528	.773**	.102	-.828**	-.446	-.582
	Sig. (2-tailed)	.017	.	.002	.095	.005	.765	.002	.169	.060
	Sum of Squares and Cross-products	-1.266	2.831	-7.565	25.276	1147.955	4.639	-48.585	-24.786	-326.135
	Covariance	-.127	.283	-.757	2.528	114.795	.464	-4.858	-2.479	-32.613
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
MO93	Pearson Correlation	.747**	-.820**	1.000	-.322	-.564	-.213	.709*	.251	.340
	Sig. (2-tailed)	.008	.002	.	.334	.070	.529	.015	.457	.306
	Sum of Squares and Cross-products	4.413	-7.565	30.072	-50.215	-2730.321	-31.562	135.543	45.466	621.930
	Covariance	.441	-.757	3.007	-5.021	-273.032	-3.156	13.554	4.547	62.193
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
CIC93	Pearson Correlation	-.533	.528	-.322	1.000	.153	-.208	-.310	.014	.017
	Sig. (2-tailed)	.091	.095	.334	.	.654	.540	.354	.966	.960
	Sum of Squares and Cross-products	-16.341	25.276	-50.215	809.408	3836.137	-159.641	-307.040	13.627	162.804
	Covariance	-1.634	2.528	-5.021	80.941	383.614	-15.964	-30.704	1.363	16.280
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
CA99	Pearson Correlation	-.198	.773**	-.564	.153	1.000	.473	-.852**	-.714*	-.719*
	Sig. (2-tailed)	.560	.005	.070	.654	.	.142	.001	.014	.013
	Sum of Squares and Cross-products	-187.860	1147.955	-2730.321	3836.137	778073.0	11263.483	-26194.4	-20807.4	-211242.7
	Covariance	-18.786	114.795	-273.032	383.614	77807.299	1126.348	-2619.444	-2080.743	-21124.27
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
AMONI93	Pearson Correlation	.126	.102	-.213	-.208	.473	1.000	-.304	-.218	.022
	Sig. (2-tailed)	.711	.765	.529	.540	.142	.	.363	.520	.950
	Sum of Squares and Cross-products	3.673	4.639	-31.562	-159.641	11263.483	728.811	-286.213	-194.542	193.699
	Covariance	.367	.464	-3.156	-15.964	1126.348	72.881	-28.621	-19.454	19.370
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
NITRA93	Pearson Correlation	.289	-.828**	.709*	-.310	-.852**	-.304	1.000	.641*	.755**
	Sig. (2-tailed)	.389	.002	.015	.354	.001	.363	.	.033	.007
	Sum of Squares and Cross-products	10.847	-48.585	135.543	-307.040	-26194.4	-286.213	1214.679	738.858	8764.688
	Covariance	1.085	-4.858	13.554	-30.704	-2619.444	-28.621	121.468	73.886	876.469
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SULFA93	Pearson Correlation	-.249	-.446	.251	.014	-.714*	-.218	.641*	1.000	.646*
	Sig. (2-tailed)	.461	.169	.457	.966	.014	.520	.033	.	.032
	Sum of Squares and Cross-products	-8.855	-24.786	45.466	13.627	-20807.4	-194.542	738.858	1092.305	7113.840
	Covariance	-.885	-2.479	4.547	1.363	-2080.743	-19.454	73.886	109.230	711.384
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
CLORU93	Pearson Correlation	.061	-.582	.340	.017	-.719*	.022	.755**	.646*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.858	.060	.306	.960	.013	.950	.007	.032	.
	Sum of Squares and Cross-products	21.964	-326.135	621.930	162.804	-211243	193.699	8764.688	7113.840	111006.9
	Covariance	2.196	-32.613	62.193	16.280	-21124.3	19.370	876.469	711.384	11100.693
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11

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

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

**Tabla 66: Correlaciones de iones de la zona de Iztaccihuatl-Popocatepetl 1999.**

		Correlations								
		PHP99	PHR99	MO99	CIC99	CA99	AMONI99	NITRA99	SULFA99	CLORU99
PHP99	Pearson Correlation	1.000	-.387	.569	.020	.311	.033	.322	-.522	-.270
	Sig. (2-tailed)	.	.240	.068	.954	.352	.924	.334	.100	.422
	Sum of Squares and Cross-products	.400	-.412	1.338	.358	5036.053	.648	4.618	-14.655	-57.342
	Covariance	4.000E-02	-4.12E-02	.134	3.580E-02	503.605	6.480E-02	.462	-1.465	-5.734
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
PHR99	Pearson Correlation	-.387	1.000	-.589	-.417	-.241	-.469	-.515	-.074	.339
	Sig. (2-tailed)	.240	.	.057	.202	.475	.146	.105	.828	.308
	Sum of Squares and Cross-products	-.412	2.831	-3.683	-20.037	-10379.3	-24.788	-19.641	-5.549	191.431
	Covariance	-4.12E-02	.283	-.368	-2.004	-1037.926	-2.479	-1.964	-.555	19.143
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
MO99	Pearson Correlation	.569	-.589	1.000	.571	.701*	.131	.368	-.070	-.472
	Sig. (2-tailed)	.068	.057	.	.067	.016	.701	.266	.837	.143
	Sum of Squares and Cross-products	1.338	-3.683	13.820	60.619	66682.076	15.311	31.005	-11.618	-589.248
	Covariance	.134	-.368	1.382	6.062	6668.208	1.531	3.100	-1.162	-58.925
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
CIC99	Pearson Correlation	.020	-.417	.571	1.000	.334	.071	.484	-.019	-.769**
	Sig. (2-tailed)	.954	.202	.067	.	.316	.835	.131	.955	.006
	Sum of Squares and Cross-products	.358	-20.037	60.619	816.167	244132.9	64.118	313.945	-24.470	-7379.193
	Covariance	3.580E-02	-2.004	6.062	81.617	24413.292	6.412	31.395	-2.447	-737.919
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
CA99	Pearson Correlation	.311	-.241	.701*	.334	1.000	-.107	-.287	-.266	.055
	Sig. (2-tailed)	.352	.475	.016	.316	.	.754	.392	.429	.872
	Sum of Squares and Cross-products	5036.053	-10379.3	66682.076	244132.9	6.6E+08	-86152.1	-166875	-302180	475253.9
	Covariance	503.605	-1037.926	6668.208	24413.292	6.6E+07	-8615.208	-16687.5	-30218.0	47525.394
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
AMONI99	Pearson Correlation	.033	-.469	.131	.071	-.107	1.000	.414	.501	-.048
	Sig. (2-tailed)	.924	.146	.701	.835	.754	.	.206	.117	.889
	Sum of Squares and Cross-products	.648	-24.788	15.311	64.118	-86152.1	988.445	295.064	698.668	-505.522
	Covariance	6.480E-02	-2.479	1.531	6.412	-8615.208	98.845	29.506	69.867	-50.552
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
NITRA99	Pearson Correlation	.322	-.515	.368	.484	-.287	.414	1.000	.238	-.808**
	Sig. (2-tailed)	.334	.105	.266	.131	.392	.206	.	.481	.003
	Sum of Squares and Cross-products	4.618	-19.641	31.005	313.945	-166875	295.064	514.669	239.601	-6161.335
	Covariance	.462	-1.964	3.100	31.395	-16687.5	29.506	51.467	23.960	-616.133
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SULFA99	Pearson Correlation	-.522	-.074	-.070	-.019	-.266	.501	.238	1.000	-.018
	Sig. (2-tailed)	.100	.828	.837	.955	.429	.117	.481	.	.959
	Sum of Squares and Cross-products	-14.655	-5.549	-11.618	-24.470	-302180	698.668	239.601	1970.135	-261.864
	Covariance	-1.465	-.555	-1.162	-2.447	-30218.0	69.867	23.960	197.014	-26.186
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11
CLORU99	Pearson Correlation	-.270	.339	-.472	-.769**	.055	-.048	-.808**	-.018	1.000
	Sig. (2-tailed)	.422	.308	.143	.006	.872	.889	.003	.959	.
	Sum of Squares and Cross-products	-57.342	191.431	-589.248	-7379.193	475253.9	-505.522	-6161.335	-261.864	112851.0
	Covariance	-5.734	19.143	-58.925	-737.919	47525.394	-50.552	-616.133	-26.186	11285.097
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11

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

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

**Tabla 67: Correlación de iones de la zona Zoquiapan y Anexas 1993.**

		Correlations									
		PHP93	PHR93	MO93	CICI93	CA93	AMONI93	NITRA93	SULFA93	CLORU93	
PHP93	Pearson Correlation	1.000	.621	-.489	-.587	.126	-.170	-.173	-.746	.842*	
	Sig. (2-tailed)	.	.137	.266	.166	.787	.715	.711	.054	.018	
	Sum of Squares and Cross-products	.134	7.731E-02	-.758	-4.258	2.980	-2.332	-145.037	-28.222	8.801	
	Covariance	2.230E-02	1.289E-02	-.126	-.710	.497	-.389	-24.173	-4.704	1.467	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
PHR93	Pearson Correlation	.621	1.000	-.474	-.743	-.320	.134	-.118	-.837*	.602	
	Sig. (2-tailed)	.137	.	.282	.056	.484	.775	.802	.019	.153	
	Sum of Squares and Cross-products	7.731E-02	.116	-.685	-5.013	-7.028	1.707	-91.911	-29.501	5.859	
	Covariance	1.289E-02	1.932E-02	-.114	-.835	-1.171	.285	-15.319	-4.917	.977	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
MO93	Pearson Correlation	-.489	-.474	1.000	.676	.219	.505	-.627	.363	-.360	
	Sig. (2-tailed)	.266	.282	.	.095	.638	.247	.132	.423	.428	
	Sum of Squares and Cross-products	-.758	-.685	17.992	56.862	59.739	80.208	-6102.449	159.381	-43.630	
	Covariance	-.126	-.114	2.999	9.477	9.956	13.368	-1017.075	26.564	-7.272	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
CICI93	Pearson Correlation	-.587	-.743	.676	1.000	.546	.201	-.281	.472	-.679	
	Sig. (2-tailed)	.166	.056	.095	.	.204	.666	.542	.285	.093	
	Sum of Squares and Cross-products	-4.258	-5.013	56.862	393.014	698.185	148.804	-12759.5	968.249	-384.926	
	Covariance	-.710	-.835	9.477	65.502	116.364	24.801	-2126.586	161.375	-64.154	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
CA93	Pearson Correlation	.126	-.320	.219	.546	1.000	.433	-.001	-.160	-.026	
	Sig. (2-tailed)	.787	.484	.638	.204	.	.332	.998	.731	.956	
	Sum of Squares and Cross-products	2.980	-7.028	59.739	698.185	4153.105	1043.652	-190.441	-1069.436	-47.669	
	Covariance	.497	-1.171	9.956	116.364	692.184	173.942	-31.740	-178.239	-7.945	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
AMONI93	Pearson Correlation	-.170	.134	.505	.201	.433	1.000	-.154	-.230	.046	
	Sig. (2-tailed)	.715	.775	.247	.666	.332	.	.742	.620	.921	
	Sum of Squares and Cross-products	-2.332	1.707	80.208	148.804	1043.652	1400.554	-13225.1	-889.071	49.654	
	Covariance	-.389	.285	13.368	24.801	173.942	233.426	-2204.186	-148.179	8.276	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
NITRA93	Pearson Correlation	-.173	-.118	-.627	-.281	-.001	-.154	1.000	.182	-.133	
	Sig. (2-tailed)	.711	.802	.132	.542	.998	.742	.	.697	.777	
	Sum of Squares and Cross-products	-145.037	-91.911	-6102.449	-12759.5	-190.441	-13225.1	5260742	43108.971	-8694.514	
	Covariance	-24.173	-15.319	-1017.075	-2126.586	-31.740	-2204.186	876790.3	7184.829	-1449.086	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
SULFA93	Pearson Correlation	-.746	-.837*	.363	.472	-.160	-.230	.182	1.000	-.511	
	Sig. (2-tailed)	.054	.019	.423	.285	.731	.620	.697	.	.241	
	Sum of Squares and Cross-products	-28.222	-29.501	159.381	968.249	-1069.436	-889.071	43108.971	10704.297	-1511.451	
	Covariance	-4.704	-4.917	26.564	161.375	-178.239	-148.179	7184.829	1784.050	-251.909	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
CLORU93	Pearson Correlation	.842*	.602	-.360	-.679	-.026	.046	-.133	-.511	1.000	
	Sig. (2-tailed)	.018	.153	.428	.093	.956	.921	.777	.241	.	
	Sum of Squares and Cross-products	8.801	5.859	-43.630	-384.926	-47.669	49.654	-8694.514	-1511.451	816.994	
	Covariance	1.467	.977	-7.272	-64.154	-7.945	8.276	-1449.086	-251.909	136.166	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	

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

**Tabla 68: Correlación de iones de zona de Zoquiapan y Anexas 1999**

		Correlations								
		PHP99	PHR99	MO99	CIC99	CA99	AMONI99	NITRA99	SULFA99	CLORU99
PHP99	Pearson Correlation	1.000	.296	-.483	-.179	.155	.517	-.346	-.612	-.312
	Sig. (2-tailed)	.	.519	.272	.701	.740	.235	.447	.144	.496
	Sum of Squares and Cross-products	.374	.117	-.901	-1.524	8.216	13.602	-707.957	-48.660	-5.129
	Covariance	6.226E-02	1.942E-02	-.150	-.254	1.369	2.267	-117.993	-8.110	-.855
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
PHR99	Pearson Correlation	.296	1.000	-.426	.364	-.134	.071	.145	.185	.216
	Sig. (2-tailed)	.519	.	.341	.422	.774	.880	.757	.691	.641
	Sum of Squares and Cross-products	.117	.415	-.837	3.263	-7.503	1.970	312.009	15.493	3.753
	Covariance	1.942E-02	6.915E-02	-.139	.544	-1.251	.328	52.001	2.582	.625
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
MO99	Pearson Correlation	-.483	-.426	1.000	.318	.357	.038	.235	-.188	.744
	Sig. (2-tailed)	.272	.341	.	.488	.432	.935	.611	.686	.055
	Sum of Squares and Cross-products	-.901	-.837	9.303	13.486	94.398	5.010	2401.431	-74.582	61.122
	Covariance	-.150	-.139	1.550	2.248	15.733	.835	400.239	-12.430	10.187
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
CIC99	Pearson Correlation	-.179	.364	.318	1.000	.444	.107	.242	.102	.685
	Sig. (2-tailed)	.701	.422	.488	.	.318	.819	.601	.827	.090
	Sum of Squares and Cross-products	-1.524	3.263	13.486	193.919	536.838	64.312	11264.991	185.581	256.809
	Covariance	-.254	.544	2.248	32.320	89.473	10.719	1877.499	30.930	42.802
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
CA99	Pearson Correlation	.155	-.134	.357	.444	1.000	.838*	.137	-.244	.197
	Sig. (2-tailed)	.740	.774	.432	.318	.	.018	.770	.599	.672
	Sum of Squares and Cross-products	8.216	-7.503	94.398	536.838	7526.873	3133.093	39656.581	-2748.639	460.805
	Covariance	1.369	-1.251	15.733	89.473	1254.479	522.182	6609.430	-458.107	76.801
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
AMONI99	Pearson Correlation	.517	.071	.038	.107	.838*	1.000	.214	-.258	-.095
	Sig. (2-tailed)	.235	.880	.935	.819	.018	.	.645	.576	.839
	Sum of Squares and Cross-products	13.602	1.970	5.010	64.312	3133.093	1855.054	30836.571	-1446.283	-110.289
	Covariance	2.267	.328	.835	10.719	522.182	309.176	5139.429	-241.047	-18.381
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
NITRA99	Pearson Correlation	-.346	.145	.235	.242	.137	.214	1.000	.695	.142
	Sig. (2-tailed)	.447	.757	.611	.601	.770	.645	.	.083	.762
	Sum of Squares and Cross-products	-707.957	312.009	2401.431	11264.991	39656.581	30836.571	1.1E+07	302452.3	12753.257
	Covariance	-117.993	52.001	400.239	1877.499	6609.430	5139.429	1864277	50408.714	2125.543
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SULFA99	Pearson Correlation	-.612	.185	-.188	.102	-.244	-.258	.695	1.000	-.176
	Sig. (2-tailed)	.144	.691	.686	.827	.599	.576	.083	.	.706
	Sum of Squares and Cross-products	-48.660	15.493	-74.582	185.581	-2748.639	-1446.283	302452.3	16908.629	-616.714
	Covariance	-8.110	2.582	-12.430	30.930	-458.107	-241.047	50408.714	2818.105	-102.786
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
CLORU99	Pearson Correlation	-.312	.216	.744	.685	.197	-.095	.142	-.176	1.000
	Sig. (2-tailed)	.496	.641	.055	.090	.672	.839	.762	.706	.
	Sum of Squares and Cross-products	-5.129	3.753	61.122	256.809	460.805	-110.289	12753.257	-616.714	724.937
	Covariance	-.855	.625	10.187	42.802	76.801	-18.381	2125.543	-102.786	120.823
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7

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

## RECOMENDACIONES

- Para hacer representativo este estudio es necesario realizar por lo menos cinco muestreos de suelo por zona.
- Realizar el muestro de suelo en diferentes temporadas (lluvias y secas), para observar las concentraciones en ambas estaciones.
- Complementar este trabajo con análisis de dendroanálisis, para determinar si existe una relación directa o indirecta con la comunidad forestal
- Se recomienda el uso de PIXE y RBS para la cuantificación Multielemental en el suelo.