



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
CAMPO 1**

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA Y
SECA DE CIUDAD UNIVERSITARIA (ZONA METROPOLITANA
DE LA CIUDAD DE MÉXICO) Y EL TAJÍN (VERACRUZ)**

**T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
LICENCIADA EN QUÍMICA INDUSTRIAL
P R E S E N T A :
ELIZABETH CRUZ JIMÉNEZ**

ASESORES:

**DR. HUMBERTO BRAVO ALVAREZ
DR. RODOLFO SOSA ECHEVERRIA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO DE MEX.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A MI HIJA KARLITA

*Por su cariño, comprensión y motivación
por la gran fuerza de su amor
que me alienta día con día.*

*Gracias a Dios
por tener una hija tan maravillosa y
le dedico este trabajo.*

A MIS PADRES

MA. LUISA JIMÉNEZ G
JUAN CRUZ RUEDA

*Por su paciencia, gran apoyo
y sobre todo por depositar su confianza en mí.*

Gracias por su amor y bendiciones.

A MIS HERMANOS

PEDRO
ALEJANDRO
ADRIAN
MARIBEL
EDITH

*Por su motivación y apoyo.
Se que siempre contaré con ustedes.*

Los quiero mucho.

A FÉLIX G. G

Por ser un gran profesor y amigo

*Gracias por sus consejos y
ayuda incondicional*

A ARTURO PÉREZ V.

*Por ser un gran cuñado
y por su gran apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto Bravo Álvarez, Jefe de la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, por su asesoría y apoyo en este proyecto.

Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por su asesoría, gran apoyo y recomendaciones en la realización de este proyecto.

A la Q. A. Ana Luisa Alarcón Jiménez, responsable del laboratorio de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, por la realización de los análisis de HPLC.

Al Doctor Rogelio Soto Ayala por su asesoría y valiosas sugerencias para el mejoramiento de este trabajo.

Al Biol. Pablo Sánchez Álvarez por el mantenimiento y operación de los muestreadores de deposición húmeda y seca.

Al custodio Alejandro Santez del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), responsable del muestreo y cuidado del muestreador de deposición húmeda y seca de El Tajín.

Al Programa de Apoyos para Proyectos de Investigación e Innovación Tecnología (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM. Por el apoyo proporcionado en el proyecto denominado: Evaluación de la lluvia ácida y su efecto en la Zona Arqueológica de El Tajín.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
1. INTRODUCCION.....	10
META.....	11
OBJETIVOS.....	11
ALCANCES.....	11
ACTIVIDADES REALIZADAS.....	11
2. ANTECEDENTES.....	13
2.1. La contaminación atmosférica en la ZMCM.....	13
2.2. Investigaciones de la lluvia ácida a nivel internacional.....	14
3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y LLUVIA ÁCIDA.....	17
3.1 Contaminación Atmosférica en la ZMCM.....	17
3.2. Lluvia ácida.....	22
3.3. Los efectos de la lluvia ácida en materiales.....	24
4. DESCRIPCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO DE DEPOSICIÓN HÚMEDA Y SECA.....	25
4.1. Zona Arqueológica “El Tajín”.....	25
4.1.1. Condiciones climatológicas.....	25
4.2. Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).....	26
4.2.1. Factores fisiográficos que afectan la calidad del aire.....	26
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	28
5.1. Muestreo.....	28
5.1.1. Sitios de muestreo.....	28
5.1.2. Colector automático para deposición húmeda/seca.....	29
5.1.3. Deposición húmeda.....	31
5.1.4. Deposición Seca.....	31
5.1.5. Tipo de muestras recolectadas en los diferentes sitios.....	32
5.2. Análisis.....	32
5.2.1. Determinación del pH.....	32
5.2.2. Determinación de conductividad.....	32
5.2.3. Determinación de las concentraciones de los iones en las muestras a través de la ..Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia (HPLC).....	33
5.2.3.1. Preparación del eluyente para aniones.....	33
5.2.3.2. Preparación de eluyente para cationes.....	34
5.2.3.3. Preparación de la solución estándar de aniones (1000 ppm).....	34
5.2.3.4. Preparación de la solución estándar de cationes (1000 ppm).....	34
5.2.3.5. Condiciones cromatográficas experimentales.....	35
5.2.4. Preparación de muestras para su análisis.....	36
6. RESULTADOS.....	37
6.1. Número de muestras obtenidas.....	37
6.2. Deposición Húmeda.....	37
6.2.1. Ciudad Universitaria (CU).....	37
6.2.1.1. Conductividad y pH de las muestras.....	37
6.2.1.2. Concentraciones de aniones y cationes.....	40
6.2.1.3. Balance iónico de las concentraciones de los iones en las muestras de lluvia.....	55
6.2.1.4. Ponderación de parámetros.....	58
6.2.2. Zona Arqueológica de El Tajín.....	60
6.2.2.1. Conductividad y pH de las muestras.....	60
6.2.2.2. Concentraciones de aniones y cationes.....	60
6.2.2.3. Balance iónico de las concentraciones de los iones en las muestras de lluvia.....	77

6.2.2.4. Ponderación de parámetros.....	80
6.3. Deposición Seca.....	82
6.3.1. Ciudad Universitaria.....	82
6.3.2. Zona Arqueológica de El Tajín.....	83
7. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	84
7.1. Deposición húmeda.....	84
7.1.1. Ciudad Universitaria.....	84
7.1.1.1. Variación del pH ponderado.....	84
7.1.1.2. Variación de la conductividad ponderada.....	85
7.1.1.3. Variación de las concentraciones ponderadas de los iones principales en las muestras de lluvia.....	88
7.1.2. Zona Arqueológica de El Tajín.....	95
7.1.2.1. Variación del pH.....	95
7.1.2.2. Variación de la conductividad ponderada.....	96
7.1.2.3. Variación de las concentraciones ponderadas de los iones principales en las muestras de lluvia.....	99
7.2. Deposición seca.....	105
7.2.1. Ciudad Universitaria. (CU).....	105
7.2.1.1. Variación del pH.....	105
7.2.1.2. Variación de la conductividad.....	106
7.2.1.3. Cantidad de partículas sedimentables (Ton/km2/mes).....	107
7.2.2. Zona arqueológica de El Tajín.....	108
7.2.2.1. Variación del pH.....	108
7.2.2.2. Variación de la conductividad.....	109
7.2.2.3. Cantidad de partículas sedimentables (Ton/km2/mes).....	110
7.3. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de precipitación con iones típicos de agua marina.....	111
7.3.1. Deposición Húmeda en CU.....	111
7.3.2. Deposición húmeda en El Tajín.....	113
7.3.3. Comparación entre CU y El Tajín con respecto al balance iónico de las especies cuantificadas.....	116
8. CONCLUSIONES.....	117
8.1. Conclusiones referentes a la deposición húmeda.....	117
8.2. Conclusiones referentes a la deposición seca.....	118
8.3. Conclusiones referentes al análisis comparativo de los iones contenidos en las muestras de precipitación con los iones típicos de agua marina.....	118
8.4. Recomendaciones.....	119
9. BIBLIOGRAFIA.....	120
ANEXO I.....	123

LISTA DE TABLAS

- 6.1. Número de muestras de deposición húmeda y seca.
- 6.2. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2003.
- 6.3. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2004.
- 6.4. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq}/\text{L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2003.
- 6.5. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq}/\text{L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2004.
- 6.6. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en CU del año 2003.
- 6.7. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en CU del año 2004.
- 6.8. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en CU para el año 2003.
- 6.9. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en CU para el año 2004.
- 6.10. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2003.
- 6.11. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2004.
- 6.12. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq}/\text{L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2003.
- 6.13. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq}/\text{L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2004.
- 6.14. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en El Tajín del año 2003.
- 6.15. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en El Tajín del año 2004.
- 6.16. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en El Tajín para el año 2003.
- 6.17. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en El Tajín para el año 2004.

- 6.18. Peso del polvo mensual ($\text{Ton}/\text{km}^2/\text{mes}$), pH y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las muestras de la deposición seca de CU del periodo 2003-2004.
- 6.19. Peso del polvo mensual ($\text{Ton}/\text{km}^2/\text{mes}$), pH y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las muestras de la deposición seca de El Tajín del periodo 2003-2004.
- 7.1. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de CU del año 2003 con iones típicos de agua marina.
- 7.2. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de CU del año 2003.
- 7.3. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de CU del año 2004 con iones típicos de agua marina.
- 7.4. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de CU del año 2004.
- 7.5. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2003 con iones típicos de agua marina.
- 7.6. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2003.
- 7.7. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2004 con iones típicos de agua marina.
- 7.8. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2004.

LISTA DE FIGURAS

- 4.1. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- 5.1. Ubicación de la estación de muestreo automático de deposición ácida en el Estado de Veracruz y Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- 5.2. Estación meteorológica automática y colector automático para deposición húmeda y seca en el Campamento de Arqueólogos de la Zona Arqueológica de El Tajín, Veracruz.
- 5.3. Diagrama de muestreo para la deposición seca y húmeda.
- 6.1. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004.
- 6.2. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004.
- 6.3. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada anión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.
- 6.4. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.
- 6.5. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004.
- 6.6. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004.
- 6.7. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada anión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004.
- 6.8. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004.
- 7.1. Valores ponderados de pH de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.2a. Valores ponderados de la conductividad experimental y teórica de las muestras de deposición húmeda para CU del año 2003.
- 7.2b. Valores ponderados de la conductividad experimental y teórica de las muestras de deposición húmeda para CU del año 2004.
- 7.2c. Valores ponderados de la conductividad experimental de las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.
- 7.3. Concentración de cloruros ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

- 7.4. Concentración de nitratos ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.5. Concentración de sulfatos ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.6. Concentración de sodio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.7. Concentración de amonio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.8. Concentración de potasio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.9. Concentración de magnesio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.10. Concentración de calcio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.
- 7.11. Valores ponderados de pH de las muestras de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.12a. Valores ponderados de la conductividad experimental y teórica de deposición húmeda para El Tajín del año 2003.
- 7.12b. Valores ponderados de la conductividad Experimental y teórica de deposición húmeda para El Tajín del año 2004.
- 7.12c. Valores ponderados de la conductividad experimental de deposición húmeda para El Tajín del periodo 2003-2004.
- 7.13. Concentración de cloruros ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.14. Concentración de nitratos ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.15. Concentración de sulfatos ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.16. Concentración de sodio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.17. Concentración de amonio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.18. Concentración de potasio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.19. Concentración de magnesio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.20. Concentración de calcio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.
- 7.21. pH de las muestras de la deposición seca de CU del periodo 2003-2004.
- 7.22. Conductividad de las muestras de deposición seca en CU del periodo 2003-2004.

- 7.23. Polvo en Ton/km²/mes en las muestras de deposición seca de CU del periodo 2003-2004.
- 7.24. pH de las muestras de la deposición seca de El Tajín del periodo 2003-2004.
- 7.25. Conductividad de las muestras de Tajín del periodo 2003-2004.
- 7.26. Polvo en Ton/km²/mes en las muestras de deposición seca de Tajín del periodo 2003-2004.
- 7.27. Balance iónico de las especies cuantificadas en CU y El Tajín.

RESUMEN EJECUTIVO

Los primeros estudios sobre la precipitación ácida en la Ciudad de México se realizaron en el año 1980 por H. Bravo y en la costa del Golfo de México se iniciaron en 1986. Actualmente se realizan estudios sobre la deposición ácida en El Tajín, La Mancha, San Juan de Ulúa, La Universidad Veracruzana en el Estado de Veracruz y en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

La importancia de la lluvia ácida radica en que se origina por la reacción de sus precursores: óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), participando en estas reacciones la humedad de la atmósfera, además de la influencia de la temperatura y la radiación solar. La Zona Arqueológica de El Tajín (Veracruz) ha sido afectada por la lluvia ácida al igual que la Ciudad Universitaria (ZMCM), presentando estos dos sitios actividades completamente diferentes, lo que determina que los receptores de la deposición ácida muchas veces se localicen a varios kilómetros de la zona en donde las nubes en formación incorporaran las emisiones de los precursores. Por lo anterior el propósito de esta investigación es: determinar y comparar las características de la deposición húmeda y seca en los dos sitios: la Ciudad Universitaria, CU. (ZMCM) y la Zona Arqueológica de El Tajín, (Veracruz)

Con el fin de evaluar la lluvia ácida en El Tajín y Ciudad Universitaria se realizó la presente investigación en la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se efectuó el muestreo de deposición húmeda y seca durante el periodo 2003-2004, en el cual se registraron todos los eventos de lluvia efectuados en ambos años para cada sitio.

Una vez colectadas las muestras de la deposición húmeda y seca se les realizaron las determinaciones analíticas de pH, conductividad, y análisis de aniones y cationes sólo para las primeras a través de la Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia (HPLC).

La metodología de muestreo y análisis que se utiliza corresponde a la señalada por la Agencia de Protección Ambiental (US-EPA) y al Programa Nacional de Deposición Ácida ambos de los Estados Unidos (US-NADP).

Se colectaron 49 muestras de deposición húmeda en el año 2003 y 54 en el año 2004 para el sitio de muestreo en la Ciudad Universitaria, mientras que para la Zona Arqueológica de El Tajín en el 2003 se registraron 51 y 69 en el 2004. Las muestras de deposición seca se colectaron cada mes, por lo que se tienen 12 para cada año y cada sitio de muestreo, a excepción de El Tajín, que en el año 2004, sólo se colectó 10 muestras de este tipo.

Los resultados obtenidos para las muestras de deposición húmeda de pH, conductividad, concentración de aniones y cationes, fueron ponderados para determinar el valor real considerando el volumen de la muestra colectado durante un mes y durante todo el año.

Los valores encontrados de pH ponderados en las muestras de deposición húmeda para CU en el año 2003 fue de 5.02, mientras que en el año 2004 fue de 5.20. En El Tajín durante el año 2003 fue de 4.56, mientras que en 2004 fue de 4.51. Los valores encontrados indican la presencia de lluvia ácida en ambos sitios pero esta más ácida en el sitio de muestreo de la Zona Arqueológica de El Tajín.

Los valores de la deposición seca en Ton/Km²/mes que se encontraron en promedio anual del depósito de polvo por gravedad en las muestras indican que Ciudad Universitaria fue más afectada por la deposición seca ya que los valores fueron mayores en comparación con la Zona Arqueológica de EL Tajín. Además para ambos sitios se muestra una mayor presencia de este tipo de deposición durante la época de secas y su disminución durante la época de lluvias.

1. INTRODUCCION

Actualmente la lluvia ácida se ha convertido en un problema ambiental asociado a la contaminación atmosférica que afecta en mayor o menor grado a materiales y a los ecosistemas a nivel mundial. En esta tesis se investiga la presencia de lluvia ácida entre dos sitios de actividades diferentes: Ciudad Universitaria (ZMCM) y la Zona Arqueológica de El Tajín (Veracruz); así como el análisis comparativo de la deposición ácida en ambos sitios con base a la composición iónica de la precipitación pluvial en los sitios de estudio.

Las muestras de lluvia de los dos sitios antes mencionados son sometidas a un análisis químico que consiste en la determinación de la Conductividad, pH, y cuantificación de la concentración de los iones seleccionados: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- y Cl^- por Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia (CLAE) o del inglés HPLC. A las muestras de deposición seca de ambos sitios se les determinó el pH, la Conductividad y la cantidad de partículas colectadas en $\text{Ton/Km}^2/\text{mes}$.

El agua de lluvia en condiciones normales es ligeramente ácida debido a la formación del ácido carbónico, causado por el equilibrio entre el agua de lluvia y el bióxido de carbono que existe naturalmente en la atmósfera. La lluvia ácida se presenta cuando el pH del agua de lluvia es inferior al de la lluvia normal, es decir, valores de $\text{pH} < 5.6$, el bióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) que mediante una serie de reacciones químicas, en presencia de agua, oxígeno y oxidantes, son transformados total o parcialmente en ácidos, con la consecuente disminución de pH del agua de lluvia.

La deposición húmeda, que se refiere a la lluvia, niebla y a la nieve ácidas, es producida por el transporte de los contaminantes primarios que entran en contacto con zonas de la atmósfera con alta humedad en donde se produce su oxidación. En la deposición seca, partículas como cenizas, o gases, tales como el bióxido de azufre (SO_2) o el óxido nítrico (NO), se depositan o se adsorben sobre las superficies de los materiales.

Los efectos de la lluvia ácida son diversos y pueden afectar a la vegetación, a los ecosistemas, a los monumentos y a la salud. Así también puede acelerar el deterioro de materiales de construcción y pintura con el consecuente daño a edificios, estatuas y esculturas, entre otros, que constituyen el patrimonio histórico y cultural.

La lluvia actúa como un mecanismo natural de limpieza de la atmósfera, ya que remueve parte de los gases atmosféricos, aerosoles, partículas y todos aquellos compuestos que han sido emitidos a la atmósfera por diferentes tipos de fuentes naturales o antropogénicas. La composición de la lluvia es un indicador de los niveles de contaminación ambiental, que aportan datos valiosos acerca de entradas de nutrientes y compuestos tóxicos a los ecosistemas terrestres y acuáticos.

META

Determinar y comparar las características de la deposición húmeda y seca en los sitios de Ciudad Universitaria, CU. (ZMCM) y la Zona Arqueológica de El Tajín, (Veracruz).

OBJETIVOS

- Verificar la información de las muestras de deposición húmeda y seca obtenidas en campo tanto en Ciudad Universitaria, CU. (ZMCM) como en la Zona Arqueológica de El Tajín, (Veracruz).
- Realizar las determinaciones analíticas de pH y conductividad en las muestras de deposición húmeda y seca.
- Realizar la determinación y cuantificación de las concentraciones de aniones y cationes de las muestras de deposición húmeda.
- Comparar las concentraciones de los iones presentes en las muestras de la deposición húmeda de los sitios de interés.
- Realizar el análisis comparativo entre los iones presentes en las muestras de lluvia de los sitios de interés en estudio y los iones típicos de agua marina.

ALCANCES.

Al término de este estudio, se dispondrá de la caracterización completa de los siguientes iones: Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , presentes en la deposición húmeda de la Zona Arqueológica de El Tajín (Veracruz) y en la Ciudad Universitaria (ZMCM). Así como la cantidad de partículas sedimentables colectadas en las muestras de deposición seca de ambos sitios. Además, del pH y la conductividad para los dos tipos de deposición

Se dispondrá de un análisis comparativo de los parámetros mencionados, el cual permitirá comparar a los sitios de El Tajín (Veracruz) y Ciudad Universitaria (ZMCM), ya que son zonas con características climáticas, fisiográficas y actividades completamente diferentes.

ACTIVIDADES REALIZADAS

El desarrollo del trabajo se llevó a cabo conforme a las actividades que a continuación se presentan:

a) Recopilación de información:

Investigación bibliográfica y procesamiento de esta información.

b) Selección y aplicación de la metodología de muestreo y análisis:

Selección de la metodología de muestreo y análisis de la lluvia. Entrenamiento en el manejo de equipos y técnicas de muestreo y análisis.

c) Diseño experimental:

Selección de sitios y periodos de muestreo. Determinación del número de muestras. Establecimiento de procedimiento de colección y custodia de las muestras. Análisis de las muestras.

d) Muestreo de la deposición húmeda y seca en la Zona Arqueológica de El Tajín y Ciudad Universitaria:

Preparación del material para el muestreo. Realización de los muestreos.

e) Análisis de pH, conductividad, aniones y cationes:

Preparación y acondicionamiento del equipo de análisis. Realización del análisis de pH, conductividad y concentraciones de cationes y aniones. Los análisis se realizaron en la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

f) Análisis de resultados:

Procesamiento de resultados obtenidos.

g) Discusión de la información:

Discusión sobre las variaciones en las concentraciones encontradas en las muestras de deposición húmeda y la cantidad de partículas colectadas en la deposición seca de los sitios de muestreo, así como pH y conductividad.

h) Conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones y recomendaciones con respecto a la aplicación de la metodología de muestreo y análisis de las muestras obtenidas en CU y El Tajín. Conclusiones y recomendaciones con respecto a las concentraciones encontradas en la atmósfera de los sitios antes mencionados.

2. ANTECEDENTES

2.1. La contaminación atmosférica en la ZMCM.

El problema de la contaminación atmosférica en la ZMCM se hizo evidente en la década de los sesenta y ha alcanzado en la actualidad dimensiones considerables.

Desde los años setenta se han venido dando algunas acciones para atender este problema. En 1978, el Departamento del Distrito Federal, en coordinación con la extinta Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, llevó a cabo la Primera Reunión de Expertos, invitando a especialistas de diversos países, a fin de evaluar los programas y acciones que debían llevarse a cabo para controlar el problema del deterioro atmosférico originado por oxidantes fotoquímicos y otros contaminantes.

En 1979, en una reunión del gabinete presidencial organizada por el Jefe del Ejecutivo Federal, se firma el acuerdo que establece el Programa Coordinado Para El Mejoramiento de la Calidad del Aire en el Valle de México 1979-1982.

En 1986, debido a los altos valores de ozono que se presentaron en la ZMCM, posible resultado de la modificación en la composición de la gasolina, la recién creada Subsecretaría de Ecología, propone a través de un Acuerdo presidencial, las Veintiún Medidas para Controlar la Contaminación en el Valle de México, mismas que meses después se ven ampliadas en el Programa de Cien Acciones Necesarias en Ecología de alcance nacional y cubriendo además otros problemas ambientales.

Para 1989, se logra la participación de expertos mexicanos y extranjeros y se presenta a la opinión pública el Programa integral contra la Contaminación Atmosférica en la zona metropolitana del Valle de México (PICCA), contando con un apoyo económico de diversas agencias internacionales (DDF 1989).

En 1987 en que se rebasó la norma de calidad del aire para ozono en un promedio de 330 días al año (PROAIRE 1996, Bravo et al 1998), se señaló una tendencia a rebasar la norma anual de partículas, tanto como partículas suspendidas totales (PST) como fracción respirable (PM10) (INE 1996).

Para hacer frente a este problema, en marzo de 1996 se presentó a la opinión pública, el Programa para el Mejoramiento de la Calidad de Aire en el Valle de México, 1995-2000 (PROAIRE). Preparado por la comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México. (PROAIRE 1996).

2.2. Investigaciones de la lluvia ácida a nivel internacional.

Mark E. Peden, *et al*, (1978) realizaron un estudio de la precipitación en el Estado de Illinois (USA) con tres tipos de colectores, cuyas muestras fueron almacenadas bajo cinco condiciones diferentes y analizados por un periodo de seis semanas, encontraron cambios en la composición química, los constituyentes observados fueron: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- y Cl^- . Las variaciones dramáticas de las concentraciones de algunas especies fueron atribuidas a partículas. La refrigeración retardada puede provocar cambios en la composición iónica, filtraron inmediatamente después de la colección, fue el medio más efectivo para el mantenimiento e integridad de las muestras previniendo así las reacciones de adsorción, desorción y neutralización.

Los primeros estudios sobre la precipitación ácida en la Ciudad de México se realizaron en el año 1980 por H. Bravo *et al* (1987). Estos estudios indicaron la necesidad de modificar el sistema de colección de las muestras de precipitación que se usaba, ya que inicialmente se usaron jarras abiertas, tanto para la colección de lluvia como de la deposición seca, generando resultados poco representativos de la situación real de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En 1984, se instaló el primer colector automático de precipitación ácida, en la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, permitiendo hasta la fecha la separación de la deposición húmeda y seca. Actualmente se realizan estudios sobre la deposición ácida en El Tajín, La Mancha, San Juan de Ulúa, La Universidad Veracruzana en el Estado de Veracruz y en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), en estas regiones se encuentran localizados los colectores automáticos de precipitación ácida del programa de Sección de Contaminación Ambiental (SCA), Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

En el Informe sobre lluvia ácida, encargado por el gobernador de Ohio en 1980 (Scientific Advisory Task Force, 1980), el comité afirma que "la lluvia ácida es motivo de preocupación especial a causa de sus efectos en estructuras de importancia arqueológica o histórica". La desfiguración y disolución de famosas estatuas y monumentos, como la Acrópolis de Atenas y tesoros artísticos de Italia se ha acelerado considerablemente en los últimos 30 años, en muchos casos en obras que han estado en pie por siglos. Esto es una tragedia de la cual no es posible hacer un análisis de impacto total económico, cultural e histórico.

Cheng y Castillo (1984), realizaron algunos estudios referentes al impacto que causa la lluvia ácida en algunos materiales, llevaron a cabo un estudio sobre el deterioro del mármol del City Hall, en Schenectady, New York. Ellos encontraron que la conversión de mármol en cristales de yeso se debe a la existencia de Fe^{++} que actúa como catalizador.

Peleg *et al*. (1989), elaboraron un estudio sobre el deterioro que causan los contaminantes del aire sobre roca caliza de Jerusalén. Para ello, estos materiales se expusieron a altos niveles de contaminantes (SO_2 , NO_x) en la presencia y ausencia de hidrocarburos, vapor de agua y luz ultravioleta. Después de la exposición, las capas externas de las muestras se rasparon y se analizaron para determinar la concentración de sulfatos y nitratos. Posteriormente, los resultados revelaron que en un día de exposición se encontraron concentraciones significativas de CaSO_4 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ hasta una profundidad de 40 μm de las muestras.

Baedecker *et al.* (1992), realizaron pruebas de deposición ácida en cinco sitios de los Estados Unidos para llevar a cabo investigaciones sobre efectos en metales, pinturas y material calizo.

En México, H. Bravo *et al.* (1994), llevaron a cabo un estudio sobre el efecto de la lluvia ácida en el material constituyente de los monumentos mayas mexicanos de la zona arqueológica de Tulum, Quintana Roo. Mediante el uso de una cámara de intemperismo acelerado, encontraron que la roca caliza, material constituyente de los monumentos, sufre una disolución provocada por la lluvia ácida, debido a la reacción de la lluvia ácida con el carbonato de calcio propio de la roca caliza.

H. Bravo *et al.* (1998). Realizaron un trabajo en donde se discute la aplicación práctica de las determinaciones analíticas de aniones y cationes contenidos en las muestras de precipitación pluvial, en relación, al posible origen de la lluvia ácida, mediante la aplicación de procedimientos de comparación sencillos con relaciones conocidas de iones presentes en el ambiente marino.

W. Z. De Mello, (2000) estudió la precipitación química en la Región Metropolitana del Río de Janeiro, Brasil. Su estudio reveló que la lluvia en este lugar es afectado por las emisiones de los contaminantes en el aire y son datos provistos esencialmente para estimaciones futuras de la región biogeoquímica por los impactos de la deposición ácida en los ecosistemas tropicales.

Kazuhiko Tanaka, *et al.* (2001) estudiaron, en Japón, un nuevo método para la determinación simultánea de aniones (sulfato, nitrato y cloruro) y cationes (amonio, potasio, magnesio y calcio) en agua de lluvia ácida con un alto rendimiento en la cromatografía por exclusión de iones/intercambio de cationes con detección conductimétrica en una columna de separación empacada con una resina de intercambio catiónico de polimetacrilato y una base derivada de un ácido débil y un eluyente compuesto por ácido sulfosalicílico operado a 1.5 ml/min. Es una separación efectiva y de alta sensibilidad con detección conductimétrica para aniones y cationes, fue llevada a cabo en aproximadamente 14 min. El balance iónico tuvo un resultado de 0.94 a 0.97 (relación entre equivalentes de cationes/equivalentes de aniones) por lo que fue posible la evaluación de la calidad del agua de lluvia.

En Turquía, Sema Topco, (2002), realizó un estudio de la composición química de la lluvia en una estación en Ankara, durante el periodo de Sep 1994 a Dic de 1996, analizó el pH, la conductividad y las concentraciones de los iones principales. Las concentraciones de los iones Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} se determinaron por cromatografía de iones y las concentraciones de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ fueron medidas por medio de la Espectrofotometría de Absorción Atómica por Flama. Generalmente las concentraciones máximas aparecen en el invierno y otoño y las concentraciones mínimas en primavera y verano.

G.p. Hu, *et al.* (2002) en Singapore hicieron un estudio a corto plazo de la composición química de la lluvia en el periodo de noviembre 1999 a octubre 2000. Encontraron que la lluvia fue típicamente ácida con un pH promedio de 4.2, el sulfato fue el ion más abundante. Las concentraciones de los principales iones (NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCOO^- , CH_3COO^-) variaron mensualmente.

En 2003, Jaime Ruiz Barrios realizó en la SCA su tesis profesional de licenciatura sobre la investigación del efecto que causa la lluvia ácida en monumentos construidos de material en el cual el CaCO_3 es uno de los principales constituyentes de la Zona Arqueológica de El Tajín, Veracruz, con el objeto de determinar el deterioro que sufre parte del material pétreo de construcción de las pirámides de El Tajín por la lluvia ácida de la región, simulando los parámetros atmosféricos de la zona. Para la realización de este experimento se utilizó una cámara de intemperismo acelerado. Con el muestreo de la precipitación en la zona, se llevo acabo la caracterización química de estas muestras y un monitoreo de los parámetros atmosféricos de precipitación, humedad y temperatura. El experimento que se llevó acabo fue la simulación del deterioro sufrido en un periodo de 10 años a muestras pétreas obtenidas del sitio con el permiso del INAH, se les efectuó una irrigación de lluvia con características ácidas similares al agua de lluvia que precipita en el sitio de estudio ($\text{pH} = 4.4$) que se preparó en el laboratorio. Al agua incidente y al efluente se les realizó un análisis por Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia (HPLC) considerando todos los iones de interés contenidos en el agua. De acuerdo a sus resultados concluyó que el componente principal de la roca caliza, proveniente de El Tajín, es el carbonato de calcio que sufrió una disolución con la lluvia ácida.

U.C. Kulshrestha, *et al.* (2003), estudiaron las variaciones de pH y las características químicas del agua de lluvia durante los monzones de 1999 al 2001 en Hyderabad, una ciudad del centro-sur de la India. De 28 eventos de lluvia sólo dos fueron observados en un intervalo ácido, es decir, en un pH menor a 5.6, lo cual ocurrió después de las lluvias continuas, la concentración equivalente de los componentes en orden de magnitud: $\text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Las concentraciones de los diferentes componentes con respecto a las concentraciones en el agua de mar se observó que son mayores lo que indica una influencia significativa de las fuentes no marinas en este sitio.

A fin de comprender las causas y efectos de la deposición ácida y observar los cambios que ocurren en el medio ambiente, los científicos de la EPA, los gobiernos estatales y las universidades estudian los procesos de acidificación. Obtienen muestras de aire y de agua y miden sus diferentes características, entre ellas su pH y composición química, e investigan los efectos de la deposición ácida en materiales trabajados por el hombre, tales como el mármol y el bronce. Por último, los científicos tratan de comprender los efectos del bióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) como los contaminantes precursores de la deposición ácida.

3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y LLUVIA ÁCIDA

La contaminación del aire, se puede definir como la presencia en la atmósfera de una o más sustancias, en cantidad suficiente, que alteran la composición natural del aire.

3.1 Contaminación Atmosférica en la ZMCM

En la atmósfera de la ZMCM se encuentran presentes una amplia variedad de sustancias. Entre éstas, las más importantes para evaluar la calidad del aire son las siguientes:

- Partículas suspendidas (PST, PM₁₀, PM_{2.5})
- Plomo
- Monóxido de carbono
- Bióxido de azufre
- Óxidos de nitrógeno
- Hidrocarburos
- Ozono y otros oxidantes fotoquímicos

En los primeros seis casos se trata de sustancias emitidas en forma directa por la combustión y otros procesos industriales, así como por erosión, los incendios y otros fenómenos naturales; por ello se les conoce como contaminantes primarios debido a que son procedentes directamente de las fuentes de emisión. Por su lado, el ozono pertenece a la categoría de los contaminantes secundarios, estos son originados principalmente por la interacción química entre los contaminantes primarios, factores meteorológicos y componentes normales de la atmósfera.

Por partículas entendemos cualquier sustancia a excepción del agua pura, presente en la atmósfera en estado sólido o líquido bajo condiciones normales y cuyo tamaño es microscópico o submicroscópico, pero siempre superior a las dimensiones moleculares (alrededor de 2 Å). Se utilizan varios términos en relación con las partículas en el aire:

1. Polvos: partículas sólidas dispersas en un gas, originadas por la desintegración mecánica de algún material.
2. Aerosoles: pequeñas partículas originadas por condensación de un vapor supersaturado, conteniendo concentraciones elevadas de sustancias con baja presión de vapor. Ejemplo: las suspensiones de partículas resultantes de una combustión. Emanación es otro término semejante a humo; se refiere a las partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química, y de las cuales una parte predominante en peso posee un diámetro inferior a 1 micrómetro (10^{-6}). Dos ejemplos son el humo de tabaco y los óxidos metálicos condensados.
3. Nieblas: suspensión de pequeñas gotas líquidas formadas por la condensación de un vapor. Se compone de partículas bastante grandes, con un diámetro superior a 10 micrómetros (μm) y cuyas concentraciones son relativamente bajas.

- **Partículas suspendidas totales (PST)**

Las PST pueden estar constituidas por una gran diversidad de sustancias. Las partículas de origen natural se componen de suelos y por partículas de origen biológico. Las de combustión están integradas por partículas atomizadas y cenizas del combustible. Las PST son dispersadas y depositadas de nuevo en la superficie de acuerdo con sus propiedades sedimentables y con los patrones meteorológicos que prevalecen en un momento determinado.

Entre las partículas suspendidas que presentan un mayor interés se encuentran las siguientes:

Partículas menores a 10 micrómetros (PM 10)

Debido a su tamaño, éstas se sedimentan a una velocidad lenta y que pueden ser respiradas, lo cual incrementa el potencial tóxico y/o patógeno de sus componentes. Las PM 10 se adoptaron en los Estados Unidos como un parámetro de evaluación y regulación de la calidad del aire en sustitución de las PST. La combustión de combustibles fósiles representa el proceso más relevante en la emisión de este tipo de partículas, si bien una fracción importante también procede de la reacción entre contaminantes primarios (principalmente SO₂ y NO_x) y de fuentes naturales.

Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM 2.5)

En esta categoría se incluyen las partículas inhaladas de mayor penetración en el sistema respiratorio y, por tanto, las más dañinas a la salud y las que por su tamaño (situado en el rango de longitudes de onda de la luz) interfieren con la dispersión de la luz contribuyendo a la disminución de la visibilidad.

Partículas aerobiológicas

Entre las partículas suspendidas en la atmósfera se presentan las que mantienen actividad microbiana; por ejemplo, bacterias, hongos, virus y protozoarios, presentándose como células vegetativas. Por su tamaño (aproximadamente 1 a 100 micrómetros), algunas de estas partículas aerobiológicas pueden quedar suspendidas en el aire durante largos periodos. Su importancia radica en el potencial infeccioso y alérgico que depende a la vez de las características del agente patológico, las condiciones ambientales y la resistencia de los posibles huéspedes.

En el deterioro de los monumentos pueden intervenir en el fenómeno identificado como biodeterioro.

- **Plomo (Pb)**

El plomo es nocivo para la salud debido a que los compuestos de plomo inorgánico son absorbidos primariamente a través de los tractos gastrointestinales y respiratorios; los compuestos de plomo orgánico son absorbidos rápidamente a través de la piel o las membranas mucosas. En el aire, el plomo se encuentra en estado sólido (PbO y PbSO₄) y forma parte de las partículas suspendidas. Proviene

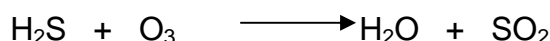
principalmente del tetraetilo de plomo contenido en la gasolina, que debido a su toxicidad a partir de 1986 se redujo paulatinamente en la ZMCM. Hasta en 1997 se deja de distribuir gasolina con plomo en la ZMCM.

- **Monóxido de carbono**

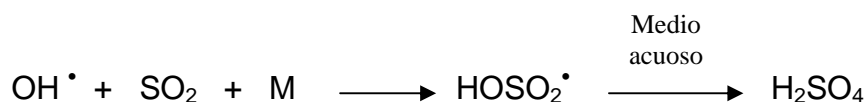
Éste es el más abundante y más distribuido de todos los contaminantes del aire, representa un subproducto de la combustión incompleta. Idealmente, los únicos productos finales de una combustión completa de combustibles fósiles son el bióxido de carbono (CO₂) y el agua (H₂O). Sin embargo en las máquinas de combustión interna y en la mayoría de los quemadores estacionarios, la dinámica de la proporción de aire empleado como comburente en la mezcla con el combustible y la misma operación de estos sistemas impiden la oxidación total. Como resultado se emite una mezcla de combustible no quemado, hidrocarburos de menor orden producidos en la flama, hidrocarburos parcialmente oxidados a través de la corriente de extracción, monóxido de carbono, bióxido de carbono y agua.

- **Óxidos de azufre (SO_x)**

Bajo condiciones ambientales, los óxidos de azufre gaseosos se presentan como bióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃). Las emisiones de estos compuestos provienen principalmente de la combustión, como resultado de la oxidación de azufre inorgánico y orgánico contenido en los combustibles. También se emiten cantidades significativas de estas sustancias en los procesos de transformación de plomo y zinc, así como de algunos procesos de refinación del petróleo. Por otra parte, el ácido sulfhídrico (H₂S) emitido por algunos procesos de decaimiento biológico y procesos industriales se oxida en el aire produciendo SO₂ como contaminante secundario. La reacción de oxidación de H₂S más importante parece involucrar la participación del ozono:



Los SO_x contribuyen a incrementar los problemas de partículas respirables y de visibilidad por medio de la formación de sulfatos y la aglomeración de otros gases y partículas con los que interactúan. Por otra, parte estos compuestos actúan como precursores en la formación de lluvia ácida a través de reacciones químicas en las que pueden intervenir compuestos fotoquímicos. El trióxido de azufre es un intermediario importante en la cadena de oxidación del azufre que conlleva a la producción tanto de ácido sulfúrico como de sulfatos. A continuación se resumen las reacciones de oxidación atmosférica que explican la producción del ácido sulfúrico causante de la lluvia ácida.



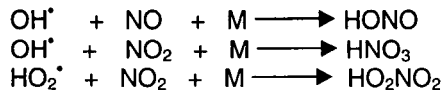
Donde:

- OH[•] = Radical oxhidrilo
- SO₂ = Bióxido de azufre
- M = Cualquier molécula aceptora de energía
- HOSO₂[•] = Radical HSO₂
- H₂O = Agua
- H₂SO₄ = Ácido sulfúrico

• Óxidos de nitrógeno (NOx)

El nitrógeno forma siete diferentes óxidos, de los cuales sólo el ácido nítrico (NO) y el bióxido de nitrógeno (NO₂) se presentan como contaminantes importantes del aire, aunque otras cuatro variedades pueden también participar en el conjunto de reacciones que provocan los oxidantes fotoquímicos. Los NOx que se forman durante la combustión son el producto de la oxidación de nitrógeno atmosférico, o bien de la oxidación del nitrógeno orgánico combustible. En el primer caso, la producción de NOx se favorece a medida que aumenta la temperatura y, como resultado de esta dependencia, la producción de NO y NO₂ es función también de la relación aire-combustible.

A parte de actuar como elementos centrales en los procesos de generación de ozono y otros oxidantes fotoquímicos, las emisiones de NOx pueden ser convertidas a nitratos que son partículas finas que incrementan los problemas de partículas respirables, o bien generar ácidos y, por tanto, lluvia ácida, a partir de las siguientes reacciones:



Donde:

- OH[•] = Radical oxhidrilo
- NO = Monóxido de nitrógeno
- M = Cualquier molécula receptora de energía
- HONO = Ácido nitroso
- NO₂ = Bióxido de nitrógeno
- HNO₃ = Ácido nítrico
- HO₂[•] = Radical HO₂
- HO₂NO₂ = Ácido pernitríco

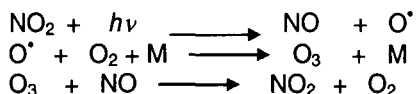
Hidrocarburos no metano (HCNM)

La existencia de hidrocarburos en la atmósfera incluyen hidrocarburos no quemados y otras especies formadas durante la combustión, así como los compuestos orgánicos volátiles (COV) derivados de la fabricación, almacenamiento y aplicación de solventes y pinturas. Otros procesos donde se emiten son la manufactura química, la refinación del petróleo y la operación metalúrgica. Para fines de evaluación de la

contaminación del aire, de este grupo se excluye el metano porque a pesar de que su concentración en áreas urbanas es usualmente cinco veces mayor que la del resto de los hidrocarburos en conjunto, éste no es un contaminante importante en virtud que no es tóxico ni reactivo bajo condiciones normales.

- **Oxidantes fotoquímicos [ozono (O₃), peroxiacetilnitrato (PAN), etc.]**

Los oxidantes fotoquímicos son contaminantes secundarios; es decir, no son descargados directamente a la atmósfera sino se forman a través de una serie de reacciones químicas catalizadas por la radiación solar. De éstos, el ozono es el compuesto más abundante en las atmósferas urbanas. La interacción del monóxido y bióxido de nitrógeno con moléculas disociadas de oxígeno se muestran en las siguientes reacciones:

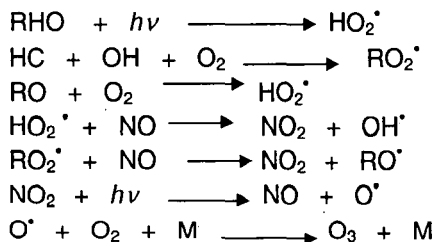


Donde:

- NO = Monóxido de nitrógeno
- NO₂ = Bióxido de nitrógeno
- hν = Energía radiante solar
- M = Cualquier molécula receptora de energía
- O* = Átomo libre de oxígeno
- O₂ = Oxígeno
- O₃ = Ozono

En ausencia de HCNM, el NO₂ es disociado mediante fotólisis por la luz del sol para producir NO y un átomo de oxígeno. Éste se combina con el oxígeno molecular (O₂) del aire para producir ozono, que luego puede reaccionar con N o NO para generar NO₂; en consecuencia, el proceso comienza de nuevo hasta alcanzar un equilibrio dinámico.

Las concentraciones de ozono y de otros oxidantes fotoquímicos se incrementan cuando los HCNM y productos secundarios de éstos reaccionan con el NO. Los HCNM también reaccionan con el oxígeno atómico para generar compuestos oxidantes y radicales libres que interactúan con el NO. Las reacciones típicas de los HC que explican la formación de NO₂ y la de otros compuestos precursores del ciclo son:



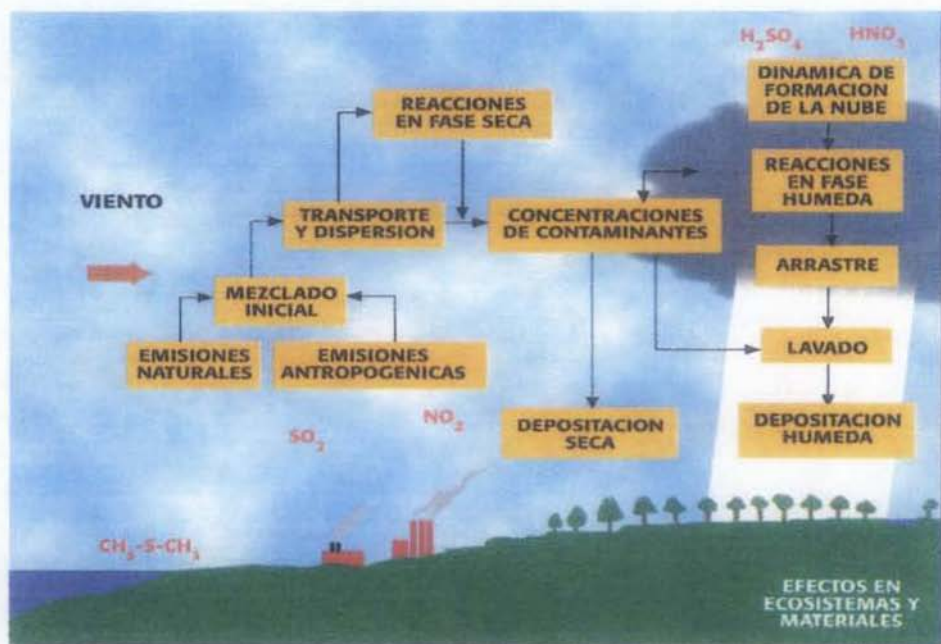
Donde:

- RHO = Cualquier aldehído
- HC = Cualquier hidrocarburo, excepto metano
- $h\nu$ = Energía radiante solar
- R = Cualquier radical derivado de un hidrocarburo
- OH^{*} = Radical oxhídrido
- RO₂^{*} = Peróxido derivado de un radical
- HO₂^{*} = Radical HO₂

Estas ecuaciones representan las formas generales de cientos de posibles reacciones, en la formación del smog fotoquímico que se ha detectado con la participación de más de cien especies de hidrocarburos.

3.2. Lluvia ácida

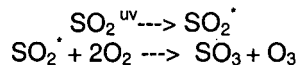
La lluvia o la precipitación atmosférica en condiciones normales es ligeramente ácida con un pH = 5.6, debido a la formación del ácido carbónico, causado por el equilibrio entre el agua de lluvia y el bióxido de carbono que existe naturalmente en la atmósfera, sin embargo, por la reacción con emisiones de bióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) descargados a la atmósfera por determinadas actividades humanas, reducen el pH de la lluvia por debajo de 5.6, aumentando de esta forma su acidez. A la lluvia con estas características se le denomina lluvia ácida.



1. **DEPOSICIÓN SECA:** se refiere a las partículas ácidas y gases. Las partículas tales como cenizas, o gases, como el bióxido de azufre (SO₂) o el óxido nítrico (NO), se depositan o se adsorben sobre las superficies de los materiales. Aproximadamente la mitad de la acidez que hay en la atmósfera vuelve a la tierra en forma de deposición ácida.

2. **DEPOSICIÓN HÚMEDA:** se refiere a la lluvia, la niebla y la nieve ácidas. Suele producirse por el transporte de los contaminantes primarios a zonas bastante alejadas de la fuente de emisión, siguiendo la dirección de los vientos dominantes. Durante el transporte de estas sustancias, entran en contacto con zonas de la atmósfera con alta humedad, se produce su oxidación, que sigue al parecer dos etapas:

- *Etapa fotoquímica:* Ocurre en fase gaseosa. El dióxido de azufre (SO₂) se oxida a trióxido de azufre SO₃ gracias a la energía proporcionada por la radiación ultravioleta del sol.



- *Etapa catalítica:* Tiene lugar en fase líquida, consiste en la transformación del SO₂ original en ácido sulfúrico (H₂SO₄), por disolución acuosa, siendo catalizada la reacción por las sales de hierro y de manganeso presentes en las gotas de agua de lluvia. Parte de este ácido es neutralizado en la atmósfera por el amoníaco, originándose iones amonio (NH₄⁺). El resto aparece disuelto en forma iónica (iones sulfato SO₄⁻ e iones de hidrógeno H⁺) en las gotas de lluvia, acidificando a ésta.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) sufren un proceso similar al descrito, formándose ácido nítrico (HNO₃) que también aparece disociado en forma iónica en las gotas de lluvia, confiriéndole (como el anterior contaminante secundario) acidez a la misma.

La lluvia ácida ocurre cuando estos gases reaccionan en la atmósfera con el agua, el oxígeno y otras sustancias químicas y forman diversos compuestos ácidos. La luz solar aumenta la rapidez de dichas reacciones. El resultado consiste en una solución diluida de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

La lluvia ácida se identifica mediante la concentración de iones hidrógeno (H⁺) presentes en el medio (expresada como pH). Las precipitaciones naturales tienen un valor de pH que oscila entre 5 y 6.4. Se considera que una precipitación (lluvia, niebla, rocío, nieve) es ácida cuando sus valores de pH son inferiores a 5,6 (valor del agua en equilibrio con el CO₂ atmosférico).

La lluvia está constituida por vapor de agua condensado y, en el momento de su formación, es prácticamente neutra. Sin embargo, en la atmósfera una pequeña cantidad de bióxido de carbono se disuelve en las gotas de lluvia, formando ácido carbónico (H₂CO₃). Éste es un ácido débil; es decir, sus átomos de hidrógeno, son dos, presentan muy poca tendencia a separarse como iones positivos. Por consiguiente, el pH natural de la lluvia tiene un valor de pH alrededor de 5.6.

3.3. Los efectos de la lluvia ácida en materiales.

La lluvia ácida puede acelerar el deterioro de los materiales de construcción y las pinturas, incluidos aquellos edificios, estatuas y esculturas irremplazables que forman parte de la herencia cultural de nuestro país. El mecanismo no es sencillo: el mármol, que está constituido en parte por carbonato de calcio, se transforma en sulfato de calcio por acción del ácido sulfúrico. El sulfato es mucho más soluble en agua (solubilidad 0.20) que el carbonato y, en consecuencia, las sucesivas lluvias disuelven literalmente el monumento, capa por capa. También el ácido nítrico causa deterioro; a igualdad de peso, los nitratos ocupan un volumen mayor que los carbonatos y, así, se comportan como unas verdaderas cuñas, que originan agrietamiento progresivo.

Los metales que quedan sometidos a un proceso de corrosión con formación de carbonatos y sulfatos básicos; en el caso del cobre, este, fenómeno se manifiesta como una típica pátina verdusca.

Antes de depositarse al suelo, los gases de SO_2 y NO_x y sus derivados, sulfatos y nitratos, contribuyen a degradar la visibilidad y afectan la salud pública.

4. DESCRIPCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO DE DEPOSICIÓN HÚMEDA Y SECA

4.1. Zona Arqueológica “El Tajín”

La Zona Arqueológica de El Tajín, se localiza en el municipio de Papantla de Olarte, Veracruz, sus coordenadas geográficas son 20° 28' 35" latitud norte y 97° 22' 39" longitud oeste, tiene una altitud sobre el nivel del mar de 100 m y su superficie abarca una extensión de 1056 hectáreas.

El municipio se localiza en la zona central del Estado de Veracruz, sobre el área de un conjunto montañoso de la Sierra Madre Oriental, conocido localmente como Sierra de Papantla, donde la topografía es irregular, con cerros de poca altura. Se ubica entre dos cimas y dos ríos: Cazones y Tecolutla.

El Tajín fué una de las ciudades más importantes y más vistosas que existieron en la zona Golfo de Mesoamérica. Su fundación se remota al año 1000 A.C., cuando la zona empieza a ser habitada por sus primeros pobladores, tal vez de descendencia olmeca.

Los ecosistemas que coexisten en el municipio son de bosque tipo subtropical perennifolio, con especies de árboles como el jonote, laurel, palo de mula, cedro y ceiba. Su fauna es variada, compuesta principalmente por conejos, ardillas, armadillos, tlacuaches, tejones, mapaches, palomas, codornices, gavilanes, víboras de cascabel, coralillos, nauyacac y otras especies.

4.1.1. Condiciones climatológicas.

Debido a la ubicación geográfica el estado de Veracruz tiene características tropicales, pero la influencia de sus serranías las modifican, sobre todo en el centro oeste, lo cual da como resultado que los climas se distribuyan paralelos a la costa de la manera siguiente: cálidos, semicálidos, templados, fríos y semisecos.

El clima de Veracruz se ve afectado por dos fenómenos meteorológicos:

El primero son los ciclones que se presentan principalmente en otoño, aunque los hay también en verano. Su presencia después de la temporada lluviosa, en verano, hace que esta se prolongue, causando eventuales inundaciones, ya que los ríos se desbordan.

El segundo fenómeno son los frentes fríos o "nortes" que son frecuentes en invierno y algunas veces se prolongan hasta la primavera. Se trata de masas de aire frío, provenientes de las regiones polares, que al ponerse en contacto con las cálidas del Golfo, las elevan, formando así nubes que se precipitan de manera tempestuosa.

La cabecera municipal de Papantla de Olarte tiene un clima cálido húmedo. La temperatura media anual de esta región es 24 °C, mientras que la más baja es 18 °C en el mes más frío. En cuanto a lluvias, pueden ser abundantes durante todo el año, especialmente durante el verano.

4.2. Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)

Entre las mayores metrópolis latinoamericanas la ZMCM está situada a una altitud de 2240 m sobre el nivel del mar. Su extensión es de 9560 km² y está enclavada sobre la porción suroeste de una cuenca lacustre de fondo plano limitada por grandes complejos montañosos de origen volcánico; al oriente por la Sierra Nevada, cuyas cimas más elevadas sobrepasan los 5000 m; al sur por las serranías del Ajusco y Chichinautzin, que virtualmente llegan a los 4000 m; al poniente, por la Sierra de las Cruces, donde se superan los 3000 m. La parte media de la Cuenca queda bloqueada por la Sierra de Guadalupe, donde los cerros más altos alcanzan los 2600m.(Fig. 4.1).

Si bien el clima de la ZMCM es benigno, algunos factores son desfavorables para la dispersión de los contaminantes. Por ejemplo durante el año se presenta una alta incidencia de calmas, sobre todo en la temporada seca. Por otro lado ocurren aproximadamente 240 inversiones térmicas por año que provoca estancamientos temporales de las capas bajas de la atmósfera, sobre todo en las mañanas, lo cual dificulta la dilución y dispersión de los contaminantes hasta que ocurre el rompimiento térmico de la inversión.

En la actualidad la cuenca de México presenta severas alteraciones hidrológicas y ecológicas; prácticamente tres cuartas partes de sus bosques de coníferas y

encinos han desaparecido y se han desecado casi la totalidad de sus lagos originales, mientras que dos tercios de sus tierras no urbanizadas presentan un avanzado proceso de erosión. Esta situación ha traído como consecuencia cambios en las condiciones climáticas a nivel regional y microregional; por ejemplo menor humedad y un incremento en las variaciones diarias y estacionales de temperatura (Jáuregui, 1988, 1991).

4.2.1. Factores fisiográficos que afectan la calidad del aire.

El área urbana se extiende en una cuenca semicerrada, en la porción suroeste de la Ciudad de México, la cual esta sujeta de manera natural a condiciones que no favorecen una adecuada ventilación de la atmósfera. Entre los principales factores fisiográficos que afectan la calidad del aire destacan los siguientes:

- El entorno montañoso que rodea la cuenca constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes. Por ello, es un medio propicio para la acumulación de los contaminantes atmosféricos. Las montañas que delimitan la cuenca alcanzan una altitud promedio de 3,200 metros, con elevaciones que superan los 5,400 metros.
- Las frecuentes inversiones térmicas que ocurren en el valle, en más del 70% de los días del año, son un fenómeno natural que causa un estancamiento temporal de las masas de aire en la atmósfera. Ello inhibe la capacidad de autodepuración de ésta y favorece la acumulación de los contaminantes. El estancamiento perdura hasta que, al transcurrir el día y de manera gradual, la inversión térmica se rompe debido al calentamiento de la atmósfera, entonces los contaminantes se dispersan.
- La intensa radiación solar que se registra en la ciudad de México a lo largo de todo el año, favorece la formación de ozono, ello es resultado de las complejas reacciones que la luz ultravioleta del sol desencadena entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos emitidos en la atmósfera, los cuales son precursores del ozono.
- La altitud a la que se ubica la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (2,240 metros sobre el nivel del mar), determina que el contenido de oxígeno sea 23% menor que a nivel del mar, lo cual tiende a hacer más contaminantes los procesos de combustión.



Figura 4.1. Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación se describen los tipos y sitios de muestreo, así como los procedimientos que permitieron cuantificar las concentraciones de los iones de interés (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) en las muestras de deposición húmeda, además del pH y la conductividad de las muestras tanto de deposición húmeda como seca, así como la cantidad de partículas sedimentables colectadas mensualmente en este último tipo de deposición.

5.1. Muestreo

5.1.1. Sitios de muestreo

En el periodo comprendido de 2003-2004 se registraron todos los eventos de lluvia efectuados tanto en Ciudad Universitaria, (CU) (ZMCM) como en El Tajín (Veracruz), los muestreos fueron llevados a cabo por el personal capacitado de la UNAM y de la Zona Arqueológica de El Tajín, Veracruz. Los análisis fueron realizados en las instalaciones de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera (SCA-CCA-UNAM).

Los sitios de muestreo seleccionados son:

1. Zona suroeste de la Ciudad de México en la azotea del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) CU. UNAM, localizada en Ciudad Universitaria.
2. Zona central del estado de Veracruz en la Zona Arqueológica de El Tajín en el Municipio de Papantla de Olarte. (Figura 5.1)



Figura 5.1 Ubicación de la estación de muestreo automático de deposición ácida en el Estado de Veracruz y Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

5.1.2. Colector automático para deposición húmeda/seca

El sistema de colección de lluvia (colector automático) recomendado por la National Acidic Deposition Program (NAD, 2000), consiste en un dispositivo de dos cubetas de polipropileno de alta densidad en las que se colecta la deposición húmeda y seca.

En ambos sitios de muestreo se instalaron los colectores automáticos de precipitación húmeda/seca (marca Aerochem-Metrics), proporcionados por la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de ciencias de la Atmósfera. En La Figura 5.2 se muestra el colector automático utilizado en el Tajín.



Figura 5.2. Estación meteorológica automática y colector automático para deposición húmeda y seca en el Campamento de Arqueólogos de la Zona Arqueológica de El Tajín, Veracruz.

El colector automático cuenta con un mecanismo de tapado y destapado de cada una de las cubetas para evitar el mezclado de las partículas con la lluvia. El activador de este dispositivo es un sensor que al detectar la ocurrencia de lluvia, envía una señal al motor para desplazar la tapa de la cubeta de colección de lluvia descubierta y cubriendo la cubeta seca. Al término del evento de lluvia el sensor envía otra señal a este mecanismo para desplazar la tapa de la cubeta "seca" hacia la "húmeda", quedando la cubeta "seca" en posición de muestreo de partículas. Con este sistema es fácil separar los dos tipos de muestra, ya que si se mezclaran, no sería factible distinguir que proceso atmosférico incorporó las diferentes especies químicas, si la deposición seca o la húmeda.

Los procedimientos establecidos para recolectar, conservar y analizar las muestras de la deposición húmeda y seca, están avalados por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) (USEPA, 1994) y por el Programa Nacional de Deposition Ácida (National Acidic Deposition Program) (NADP, 2000), de los Estados Unidos.

En la figura 5.3 se muestran las actividades de muestreo y análisis de la deposición húmeda y seca.

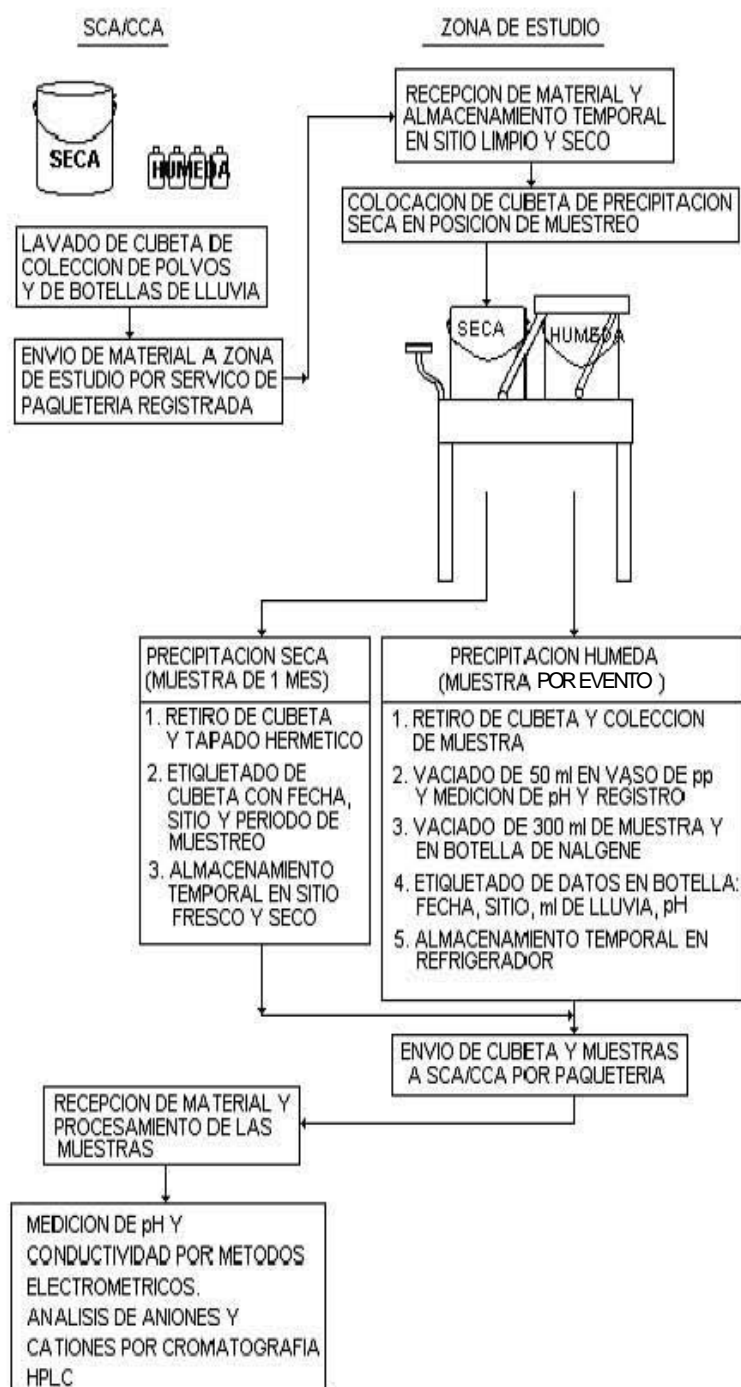


Figura 5.3. Diagrama de muestreo para la deposición seca y húmeda. (Bravo et al. 2005)

5.1.3. Deposición húmeda.

Lo primero que se efectúa es destapar la cubeta húmeda del colector automático de lluvia, para esto se dejó gotear agua en el sensor localizado a un lado del colector, esto hace que momentáneamente se desplace la tapa hacia la cubeta seca y permite sacar la cubeta húmeda de su posición para obtener la muestra y realizar su limpieza. Se transfiere el agua colectada a una botella de Nalgene evitando que se mezcle el asiento contenido en el agua. Se descarta el agua sobrante de la cubeta y se procedió a la limpieza de la misma utilizando guantes de latex. Se lavó la cubeta mediante frotación con una esponja enjuagando con agua desionizada. Se anotó la cantidad de precipitación registrada en el pluviómetro inmediatamente que el evento finalizó. Se limpia el pluviómetro y se coloca nuevamente en la posición de muestreo. La botella de la muestra se etiqueta con fecha de recolección, cantidad de precipitación (pulgadas o milímetros de lluvia colectados en el pluviómetro) en el evento y lugar del evento. De inmediato se mide el pH y la conductividad de la muestra de la lluvia colectada por el método recomendado por la USEPA. (Ver procedimiento). Se debe guardar la botella en el refrigerador a $4^{\circ}\text{C}\pm$, y a través de la cadena de custodia se transporta la muestra obtenida al laboratorio de SCA, CCA para su tratamiento previo a su análisis en el cromatógrafo de líquidos y la determinación de las concentraciones de sulfato, nitrato, amonio, cloro, calcio, magnesio, potasio y sodio, de acuerdo a la técnica analítica recomendada por la USEPA. (Ver procedimiento)

5.1.4. Deposición Seca

La cubeta de deposición seca del colector automático, se retira y se tapa para evitar que se contamine. Se etiqueta con la fecha de inicio y termino del muestreo y lugar de muestreo. Para iniciar otro muestreo se coloca otra cubeta limpia y seca en la posición de la cubeta anterior. (La cubeta se cambia cada mes). Ya en el laboratorio del SCA-CCA-UNAM se procede a obtener la muestra para lo cual, utilizando guantes de látex, se lava la cubeta con la muestra mediante frotación con una esponja especial (es una varilla de vidrio de 15 cm aproximadamente de longitud y cubierta con látex) se enjuaga con agua desionizada. Se realizan varios lavados a la cubeta de modo que se recolecte perfectamente la muestra, cuidando de no exceder el volumen de 250 ml durante el lavado. Una vez limpia y enjuagada la cubeta se seca con aire limpio para eliminar el exceso de agua, se coloca sobre un papel limpio para que escurra el máximo de agua y evitar secar con trapo u otro material. Después se prosiguió a la determinación del pH y conductividad de la muestra en solución mediante el método recomendado por la USEPA. (Ver procedimiento). Se acondicionó la cápsula en la estufa a 110°C durante 2 horas para después ponerse a peso constante en el desecador, este peso se consideró como el inicial (P_i). Enseguida se puso a sequedad la muestra (por pasos) en solución (aproximadamente a 80°C para prevenir pérdidas del Cl), se arrastra toda muestra del matraz que lo contiene. Una vez secado y enfriado la cápsula, se transfiere al desecador, luego se pesó teniendo así el peso final (P_f). Por diferencia de pesos se determinó la cantidad de partículas colectadas ($P_{col} = P_f - P_i$). Por último se calculó la cantidad de la deposición seca en $\text{Ton}/\text{km}^2/\text{mes}$ a través de la ecuación:

$$X = M/A \times 10$$

Donde:

X = cantidad de deposición seca (Ton/km²)

M = masa de las partículas colectada por mes (mg)

A = área de la superficie de la cubeta (cm²)

10 = factor de conversión

El factor es el resultado de las siguientes conversiones para obtener las unidades señaladas:

$$\frac{mg}{cm^2} \times \frac{1g}{10^3 mg} \times \frac{1Ton}{10^6 g} \times \frac{10^4 cm^2}{1m^2} \times \frac{10^2 m^2}{1km^2} = Ton/km^2$$

5.1.5. Tipo de muestras recolectadas en los diferentes sitios.

El tipo de muestras que se colectan tanto en Ciudad Universitaria (CU) como en la Zona Arqueológica de El Tajín se describen a continuación:

- a) **Deposición Húmeda:** involucra solamente el agua de lluvia. Se llevó a cabo tanto en CU como en El Tajín.
- b) **Deposición Seca:** en ésta sólo se consideran las partículas depositadas. Se llevó a cabo tanto en CU como en El Tajín.

5.2. Análisis

5.2.1. Determinación del pH

Para determinar el pH de las muestras se utilizó un potenciómetro con electrodo de Ag/AgCl modelo No. 9172 BN. (Corning)

El procedimiento consiste en calibrar el equipo con soluciones amortiguadoras a temperatura ambiente, primero con la solución amortiguadora de pH 7.0 y después con la solución de pH 4.0. Es necesario confirmar que el potenciómetro este bien calibrado con una solución amortiguadora de pH 6.8 para así poder determinar el pH de las muestras adecuadamente.

5.2.2 Determinación de conductividad

Para medir la conductividad de las muestras se utilizó un conductímetro YSI, modelo 32 (Scientific División. Yellow Springs Instrument Co; Inc.), tiene incorporado un termistor y una celda de conductividad (K=1.0 cm⁻¹). Este aparato permite medir conductividades que van desde 0.1 μS - 200 μS, (μS: microsiemens) y las muestras pueden ser leídas en un intervalo de temperatura de entre -5°C a 50°C.

Antes de medir la conductividad se calibra el equipo con una solución de KCl 0.01M. La conductividad teórica de esta solución es 1.498 μS . Es necesario que la muestra en solución de la deposición húmeda y seca y la solución de KCl se mantengan a temperatura de 25 $^{\circ}\text{C}$

La conductividad de las muestras (C) se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1.498\mu\text{S}}{CE_{\text{KCl}}} \times CE_M$$

Donde CE_{KCl} es la conductividad experimental de la solución estándar de KCl y CE_M es la conductividad experimental de la muestra .

5.2.3. Determinación de las concentraciones de los iones en las muestras a través de la Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia (HPLC)

El análisis por Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia se lleva a cabo de la siguiente manera: la muestra previamente filtrada a través de un filtro de membrana de 0.2 y 0.4 μm se introduce a través de un inyector cuyo "loop" tiene una capacidad de 100 μL , la muestra es llevada con presión mediante una corriente o fase móvil (FM) hacia el interior de la columna o fase estacionaria (FE) , ahí los constituyentes de la muestra se distribuyen entre la FM y la FE, los analitos que presenten mayor afinidad por la FE requerirán de mayor tiempo para eluir. La medición de la respuesta se realiza a través de un detector de conductividad cuyo principio se basa en la medición de la diferencia de conductividad de la FM y la FM más la muestra, esta diferencia se registra, amplifica y se envía como señal a un registrador, la señal eléctrica es registrada como un pico en el recorrido del dispositivo. Los analitos son identificados cualitativamente por el tiempo de retención del pico y la cuantificación es obtenida por la medida de la altura del pico o por el área del pico que es comparado con estándares conocidos. El tiempo de retención se define como el tiempo que tarda un analito en recorrer la columna cromatográfica desde su inyección hasta alcanzar el punto máximo de su elución.

5.2.3.1. Preparación del eluyente para aniones

Ácido ftálico 2 mM al 10 % con acetona.

Disolver 0.3322 g de ácido ftálico en 100 ml de acetona (grado HPLC), posteriormente se agregaron 900 ml de agua grado miliQ (conductividad 0.05 μS) y se mezcla con el ácido ftálico disuelto en acetona, finalmente se ajusta a un pH 5 con NaOH.

5.2.3.2. Preparación de eluyente para cationes

Disolver 0.0292 g de EDTA con agua miliQ, se adicionan 175 L de HNO₃ Ultrex y se afora a 1L con agua miliQ.

5.2.3.3. Preparación de la solución estándar de aniones (1000 ppm)

Para la preparación de los estándares las sales a utilizar deben estar secas a peso constante a 100-110 °C, con excepción del nitrato de sodio (NaNO₃) con peso constante en el desecador. Los estándares de la lista de abajo en la cantidad indicada se disuelven y se aforan a 100 ml cada uno de ellos para obtener una solución de concentración de 1000 ppm.

Lista de sales para los estándares

ANION	COMPUESTO	PESO (mg)
Cl ⁻	NaCl	164.88
NO ₃ ⁻	NaNO ₃	137.08
SO ₄ ²⁻	Na ₂ SO ₄	148.76

Con 1 mL de cada uno de los estándares previamente preparados se afora a 100 ml para obtener una mezcla de aniones de 10 ppm, de esta solución como patrón se utiliza una cantidad predeterminada para obtener una nueva concentración deseada.

Es importante considerar que en la inyección de los estándares de aniones no debe exceder la concentración de 20 ppm, para evitar la saturación de la columna del cromatógrafo.

5.2.3.4. Preparación de la solución estándar de cationes (1000 ppm)

Las sales para la preparación de los estándares de la solución de cationes deben estar secas (110 °C durante una hora en la estufa) y a peso constante. Los estándares de la lista con la cantidad indicada se disuelven y se aforan a 100 ml cada uno de ellos para obtener una solución de concentración de 1000 ppm de cada catión.

Lista de sales para los estándares

CATION	COMPUESTO	PESO (mg)
Na ⁺	NaCl	255.3
NH ₄ ⁺	NH ₄ Cl	297.0
K ⁺	KCl	192.1
Mg ²⁺	MgSO ₄ .7H ₂ O	835.3
Ca ²⁺	CaCl ₂ .2H ₂ O	385.7

Se usa 1 mL de cada uno de los estándares y se afora a 100 ml para obtener una mezcla de cationes de 10 ppm, de esta solución se usa una cantidad para una nueva concentración.

Es importante considerar que en la inyección de los estándares de cationes no deben exceder la concentración de 10 ppm, para evitar la saturación de la columna del cromatógrafo.

5.2.3.5. Condiciones cromatográficas experimentales

Para cuantificar los iones en las muestras de agua de lluvia se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alta presión (HPLC) (Waters, modelo 515). Las características de algunos componentes básicos del cromatógrafo utilizado en la investigación son:

- Bomba Waters, modelo 510 HPLC Pump, de doble pistón, con un intervalo de presión de 0-600 psig.
- Detector de conductividad Waters 431.
- Integrador de datos Waters 746.

Para tener un mejor resultado de la determinación de las concentraciones de los iones principales de las muestras, es necesario mantener las condiciones cromatográficas del equipo que a continuación se presentan.

	CATIONES	ANIONES
Fase móvil.	EDTA/HNO ₃	Ácido ftálico al 10% con acetona
Columna	Catiónica M/D Marca Warters de 15 cm de longitud.	Aniónica RP-X100 de 15 cm de longitud.
Flujo de la columna	1 mL/min	2mL/min

5.2.4. Preparación de muestras para su análisis.

Es recomendable que todas las muestras sean filtradas a través de un filtro de membrana de 0.2 y 0.4 μm de antes de introducirse en el cromatógrafo de iones para prevenir que las partículas vayan aumentando en la cabeza de la columna analítica.

Análisis de las muestras:

- Preparar las disoluciones de las diferentes concentraciones de los estándares de los componentes a cuantificar.
- Inyectar y obtener la respuesta (área o altura del pico) y tiempo de retención.
- Construir una curva de calibración.
- Inyectar la muestra y obtener la respuesta (área o altura del pico).
- Cuantificar la muestra de concentración desconocida a través de la ecuación de la línea recta : $y = mX + b$

Donde

y = respuesta (área o altura del pico).

X = concentración desconocida

m = pendiente

b = ordenada al origen

6. RESULTADOS

1.0. Número de muestras obtenidas.

En la tabla 6.1 se presenta el número de muestreos de la deposición húmeda y seca en cada periodo para los diferentes sitios.

Tabla 6.1. Número de muestras de deposición húmeda y seca

Deposición	Sitio	Año	Muestras
Húmeda	CU	2003	49
	El Tajín		51
	CU	2004	54
	El Tajín		69
Seca	CU	2003	12
	El Tajín		12
	CU	2004	12
	El Tajín		10

2.0. Deposición Húmeda.

1.0.0. Ciudad Universitaria (CU).

1.0.0.0. Conductividad y pH de las muestras.

En la tabla 6.2 y 6.3 se presentan los resultados correspondientes de todas las muestras de deposición húmeda de CU. En las tablas se presenta para cada muestra la fecha, el volumen total en milímetros (mm) de la precipitación pluvial que fue medido mediante un pluviómetro, el pH, la conductividad experimental expresada en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la conductividad teórica de cada uno de los muestreos, el valor de esta se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\lambda_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i [M]_i \times 10^3 \text{ -----(1)}$$

Donde λ_T es la conductividad teórica expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$, λ es la conductividad específica de cada ion (Scm^2/mol), $[M]$ es la concentración molar de cada ion (mol/L) y 10^3 es un factor que transforma Scm^2/mol a $\mu\text{S}/\text{cm}$, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Scm}^2}{\text{mol}} \times \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{10^3 \text{cm}^3} \times \frac{10^6 \mu\text{S}}{1\text{S}} = 10^3 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$$

Los iones considerados para obtener la conductividad teórica son: H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , OH^- .

Tabla 6.2. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2003.

Muestreo	Precipitación (mm)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad Teórica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
30-31 Mar	17.02	4.41	33.24	42.03
7-8 Abr	7.62	5.69	34.98	34.31
8-9 Abr	7.62	6.2	74.46	70.92
10-11 Abr	10.16	4.35	31.40	33.79
10-11 May	6.35	6.8	62.49	55.94
1-Jun	10.16	6.97	41.48	40.62
2-3 Jun	12.7	4.71	14.65	17.29
3-4 Jun	19.05	5.71	5.28	4.62
4-5 Jun	6.35	4.37	52.94	52.31
5-6 Jun	2.794	5.2	48.23	----
9-10 Jun	5.08	4.72	18.26	20.14
16-17 Jun	20.32	6.51	14.56	----
17-18 Jun	35.56	6.46	14.27	8.75
24-25 Jun	10.16	6.72	12.86	19.51
25-26 Jun	96.52	6.93	29.85	9.35
26-27 Jun	2.54	7.07	29.00	----
27-30 Jun	2.54	6.13	16.15	11.92
1-2 Jul	25.4	5.78	18.51	14.66
5-7 Jul	7.62	5.08	25.64	----
7-8 Jul	7.62	5.47	24.74	18.58
9-Jul	2.54	6.78	56.36	13.09
16-Jul	25.4	6.2	10.33	6.55
21-Jul	48.26	5.67	28.29	----
22-Jul	2.54	7.13	57.16	42.50
24-Jul	2.54	6.85	25.94	16.03
26-30 Jul	58.42	6.12	36.22	20.01
1-Ago	15.24	6.48	36.78	26.72
2-11 Ago	22.86	6.73	27.74	8.90
14-Ago	5.08	6.44	24.32	12.96
15-18 Ago	2.54	6.06	47.91	38.77
20-Ago	5.08	6.46	13.62	7.31
21-Ago	15.24	5.45	18.88	19.36
23-25 Ago	7.62	7.19	23.70	----
26-Ago	7.62	6.05	23.60	13.69
27-Ago	10.16	3.97	38.12	70.9
28-Ago	7.62	5.94	12.36	24.67
29-Ago	7.62	6.92	25.17	11.42
30 Ago-1 Sep	2.54	6.14	8.48	5.91
2-Sep	38.1	6.25	7.15	4.76
4-Sep	2.54	6.38	14.90	11.26
6-8 Sep	53.34	4.24	38.55	36.61
11-Sep	2.54	6.39	----	27.23
26-Sep	5.08	4.38	31.79	21.61
29-Sep	2.54	4.66	20.30	15.51
30-Sep	2.54	----	14.34	----
6-7 Oct	10.16	5.23	19.80	13.66
10-11 Oct	5.08	6.45	15.22	12.14
14-15 Oct	22.86	5.14	17.65	12.83
1-3 Nov	6.35	6.02	34.19	----

---- Datos no determinados.

Tabla 6.3. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2004.

Muestreo	Precipitación (mm)	pH	Conductividad Experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad Teórica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
9-12 Ene	25.4	5.98	35.80	33.92
29-Mar	10.16	5.64	58.00	54.10
30-Mar	25.4	5.1	21.01	19.17
31-Mar	2.54	6.17	77.00	72.91
1-3 May	7.62	5.08	49.70	39.09
6-May	2.54	4.68	156.0	154.32
10,11 May	7.62	4.99	58.90	50.89
13,14 May	2.54	5.6	42.30	40.16
30-May	2.54	6.34	----	164.11
7,8 Jun	38.1	6.73	36.25	7.36
9-Jun	5.08	5.14	19.70	28.96
10-Jun	7.62	6.45	26.30	13.18
11-13 Jun	7.62	6.34	46.70	27.00
16-Jun	7.62	6.73	----	----
18,19 Jun	12.7	----	19.60	----
22-Jun	10.16	----	----	----
23-Jun	12.7	4.18	33.70	54.61
25-Jun	30.48	5.3	13.80	15.28
29-Jun	5.08	5.3	29.86	19.48
2-5 Jul	7.62	6.53	27.53	54.12
7,8 Jul	38.1	6.73	37.07	12.59
8,9 Jul	5.08	6.12	27.00	11.53
19,20 Jul	38.1	6.56	----	8.34
27,28 Jul	38.1	6.65	----	2.41
30-Jul	20.32	6.4	37.19	23.11
3,4 Ago	20.32	4.71	19.16	19.84
9,10 Ago	7.62	6.62	35.16	26.19
7,8 Ago	2.54	----	32.20	----
10,11 Ago	2.54	5.7	15.49	20.60
13-17 Ago	35.56	6.72	24.21	19.38
17,18 Ago	38.1	6.65	----	16.65
18,19 Ago	7.62	6.48	40.57	35.68
19,20 Ago	2.54	----	----	----
20-23 Ago	7.62	5.89	9.71	6.51
25-Ago	5.08	5.75	29.42	14.99
26,27 Ago	5.08	6.58	32.33	31.63
27,28 Ago	17.78	5.89	----	54.43
28-30 Ago	20.32	5.97	11.20	9.23
1,2 Sep	10.16	5.87	34.70	14.62
2,3 Sep	7.62	6.32	----	21.82
3-6 Sep	50.8	4.56	35.87	24.03
10-13 Sep	22.86	6.51	10.80	7.41
13,14 Sep	2.54	----	30.10	----
15-17 Sep	2.54	6.72	31.30	33.33
20,21 Sep	2.54	6.64	35.80	13.46
21,22 Sep	17.78	6.9	17.48	22.49
27,28 Sep	17.78	5.90	----	11.31
28,29 Sep	7.62	5.09	19.87	12.57
29,30 Sep	7.62	5.65	----	7.68
4-Oct	5.08	6.07	----	8.18
5-Oct	5.08	6.51	14.90	9.94
8-11 Oct	5.08	4.52	44.90	43.22
11,12 Oct	7.62	5.84	----	9.01
14,15 Oct	2.54	6.49	----	30.65

---- Datos no determinados.

2.0.0.0. Concentraciones de aniones y cationes.

Se realizó la especiación del agua de lluvia del periodo 2003 y 2004 basado en el análisis de cationes y aniones. Los resultados referentes a las concentraciones en $\mu\text{eq/L}$ de los iones principales en las muestras de lluvia se presentan en la tabla 6.4 y 6.5. Las concentraciones que son demasiado pequeñas para ser detectadas o cuantificadas en el cromatógrafo de líquidos de alta presión (HPLC) son representadas como valores menores al límite de detección (<L.D.), esto indica que existe la presencia del ion pero no pudo ser cuantificada su concentración.

En la figura 6.1, 6.2 se representan las concentraciones de los iones agrupadas por mes de las tablas antes mencionadas. Para tener un mejor comparativo se acomodaron las figuras en dos columnas, del lado izquierdo se encuentran las figuras del año 2003 y del lado derecho las del año 2004. Los espacios vacíos indican que no se tienen muestras en el mes del año correspondiente. Por ser diferentes las ordenes de magnitud de las concentraciones de los iones en la atmósfera de cada sitio de muestreo, las figuras antes mencionadas aparecen en escala logarítmica con el propósito de que todas las gráficas presenten los mismos límites inferior y superior.

En la figura 6.3 y 6.4 se pueden apreciar la variación de las concentraciones de cada anión y catión durante todo el año de muestreo de los años 2003 y 2004

Tabla 6.4. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq/L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2003.

Muestreo i	OH^- $\mu\text{eq/L}$	Cl^- $\mu\text{eq/L}$	NO_3^- $\mu\text{eq/L}$	SO_4^{2-} $\mu\text{eq/L}$	H^+ $\mu\text{eq/L}$	Na^+ $\mu\text{eq/L}$	NH_4^+ $\mu\text{eq/L}$	K^+ $\mu\text{eq/L}$	Mg^{2+} $\mu\text{eq/L}$	Ca^{2+} $\mu\text{eq/L}$
30-31 Mar	2.57E-04	11.67	90.05	106.87	38.90	<L.D.	127.20	5.89	11.77	70.31
7-8 Abr	4.90E-03	6.51	83.08	105.56	2.04	<L.D.	180.83	18.66	33.00	136.03
8-9 Abr	1.58E-02	16.58	145.82	302.79	0.63	<L.D.	394.06	19.12	38.02	319.61
10-11 Abr	2.24E-04	12.61	74.16	75.59	44.67	<L.D.	91.02	9.60	12.10	33.08
10-11 May	6.31E-02	32.99	139.27	193.73	0.16	<L.D.	325.20	16.21	0.57	225.27
1-Jun	9.33E-02	21.94	98.37	153.50	0.11	7.31	110.14	14.23	54.07	262.72
2-3 Jun	5.13E-10	12.10	32.72	52.86	19.50	1.70	46.31	<L.D.	17.45	24.65
3-4 Jun	5.13E-03	6.01	10.42	11.23	1.95	<L.D.	13.85	<L.D.	11.60	13.67
4-5 Jun	2.34E-04	19.04	113.10	211.87	42.66	<L.D.	198.33	2.10	28.48	105.69
9-10 Jun	5.25E-04	21.35	37.22	77.54	19.05	7.09	49.31	<L.D.	23.21	34.13
16-17 Jun	3.24E-02	<L.D.	36.39	54.29	0.31	----	----	----	----	----
17-18 Jun	2.88E-02	<L.D.	15.50	41.60	0.35	<L.D.	84.65	<L.D.	4.28	0.40
24-25 Jun	5.25E-02	14.64	46.37	40.56	0.19	<L.D.	92.63	0.92	32.10	90.72
25-26 Jun	8.51E-02	0.93	17.71	34.11	0.12	<L.D.	74.79	<L.D.	1.48	25.55
26-27 Jun	1.17E-01	11.00	26.89	46.80	0.09	----	----	----	----	----
27-30 Jun	1.35E-02	6.66	36.23	33.70	0.74	<L.D.	75.33	<L.D.	6.40	30.86
1-2 Jul	6.03E-03	3.69	42.83	57.20	1.66	<L.D.	111.08	<L.D.	<L.D.	18.96
7-8 Jul	2.95E-03	7.05	54.26	60.53	3.39	<L.D.	99.38	<L.D.	11.52	59.52
9-Jul	6.03E-02	1.52	40.41	36.40	0.17	<L.D.	107.04	<L.D.	<L.D.	20.72
16-Jul	1.58E-02	7.33	11.24	27.04	0.63	<L.D.	34.66	<L.D.	3.99	25.61
21-Jul	4.68E-03	4.73	63.43	64.27	2.14	----	----	----	----	----
22-Jul	1.35E-01	29.69	119.68	127.69	0.07	31.88	206.60	8.28	45.85	144.39
24-Jul	7.08E-02	4.06	38.52	49.76	0.14	0.08	106.79	3.92	8.11	51.72
26-30 Jul	1.32E-02	62.80	10.19	81.89	0.76	1.62	115.96	2.91	10.88	46.38
1-Ago	3.02E-02	14.28	77.65	81.44	0.33	10.97	155.72	4.07	17.69	78.59
2-11 Ago	5.37E-02	20.84	46.46	67.24	0.19	3.44	9.43	3.09	18.93	2.10
14-Ago	2.75E-02	3.84	32.86	111.73	0.36	<L.D.	78.28	2.24	4.41	20.75
15-18 Ago	1.15E-02	19.10	138.19	148.54	0.87	2.22	166.72	6.47	22.77	157.12
20-Ago	2.88E-02	0.98	21.78	25.94	0.35	<L.D.	53.14	0.40	<L.D.	16.11
21-Ago	2.82E-03	6.80	86.84	37.44	3.55	<L.D.	100.18	4.37	10.77	36.82
23-25 Ago	1.55E-01	----	----	----	0.06	<L.D.	108.45	5.52	23.15	54.05
26-Ago	1.12E-02	0.61	38.53	73.26	0.89	14.71	80.55	1.50	4.54	29.09
27-Ago	9.33E-05	7.35	208.58	92.81	107.15	<L.D.	144.45	4.15	5.42	74.02
28-Ago	8.71E-03	2.85	86.23	59.00	1.15	<L.D.	145.98	9.59	6.89	77.22
29-Ago	8.32E-02	0.98	24.72	85.01	0.12	<L.D.	51.78	3.05	3.44	53.33
30 Ago-1 Sep	1.38E-02	<L.D.	22.47	8.74	0.72	<L.D.	33.72	0.83	<L.D.	21.67
2-Sep	1.78E-02	4.16	11.07	18.33	0.56	<L.D.	36.20	4.42	<L.D.	7.81
4-Sep	2.40E-02	0.35	48.49	34.80	0.42	<L.D.	63.22	4.10	5.97	39.32
6-8 Sep	1.74E-04	4.50	114.27	62.40	57.54	24.34	32.36	7.36	50.26	19.39
11-Sep	2.45E-02	8.69	58.86	40.73	0.41	34.39	94.29	30.91	189.29	20.96
26-Sep	2.40E-04	2.66	25.18	78.31	41.69	<L.D.	51.30	1.98	<L.D.	18.71
29-Sep	4.57E-04	<L.D.	31.85	46.15	21.88	<L.D.	48.51	2.34	18.62	14.28
30-Sep	----	2.54	14.75	35.99	----	<L.D.	78.71	2.80	19.05	28.97
6-7 Oct	1.70E-03	12.25	16.97	78.95	5.89	10.02	60.58	3.85	5.55	32.58
10-11 Oct	2.82E-02	31.24	7.59	51.91	0.35	5.47	80.57	7.49	<L.D.	17.26
14-15 Oct	1.38E-03	8.56	25.25	49.77	7.24	33.80	9.19	7.37	20.00	15.61
1-3 Nov	1.05E-02	50.76	1.26	114.12	0.95	----	----	----	----	----

---- Datos no determinados

Tabla 6.5. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq/L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU del año 2004.

Muestreo	OH ⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	Cl ⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	NO ₃ ⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	SO ₄ ²⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	H ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	Na ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	NH ₄ ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	K ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	Mg ²⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	Ca ²⁺ ($\mu\text{eq/L}$)
9-12 Ene	9.55E-03	40.89	39.28	58.24	1.05	63.08	125.76	13.57	55.14	165.17
29-Mar	4.37E-03	38.07	122.36	416.00	2.29	9.31	224.92	13.57	24.69	200.10
30-Mar	1.26E-03	9.87	53.61	44.30	7.94	2.18	108.58	3.07	20.58	21.46
31-Mar	1.48E-02	159.89	210.91	457.39	0.68	<L.D.	258.16	6.32	172.01	89.82
1-3 May	1.20E-03	12.41	94.83	149.97	8.32	8.27	192.24	11.78	14.81	142.71
6-May	4.79E-04	58.66	742.05	703.25	20.89	41.06	81.99	—	130.03	955.59
10,11 May	9.77E-04	53.02	229.43	129.17	10.23	3.39	238.77	4.86	15.64	78.84
13,14 May	3.98E-03	19.74	141.68	117.10	2.51	<L.D.	236.00	13.31	25.51	84.33
30-May	2.19E-02	47.94	531.46	689.94	0.46	—	522.98	37.89	130.03	955.59
7,8Jun	5.37E-02	5.92	31.88	105.87	0.19	<L.D.	21.61	—	0.82	4.49
9-Jun	1.38E-03	21.15	97.57	309.71	7.24	<L.D.	81.44	5.12	13.99	49.90
10-Jun	2.82E-02	10.72	51.36	66.56	0.35	0.44	60.39	7.42	13.17	19.96
11-13Jun	2.19E-02	8.74	61.50	47.42	0.46	22.62	140.16	9.73	50.20	96.81
16-Jun	5.37E-02	—	—	—	0.19	—	—	—	—	—
18,19 Jun	—	10.72	0.81	15.18	—	0.44	58.17	0.26	0.82	0.50
22-Jun	—	<L.D.	151.02	93.60	—	0.44	173.96	0.26	0.82	59.38
23-Jun	1.51E-04	19.74	151.34	98.59	66.07	0.44	177.28	0.77	0.82	59.38
25-Jun	2.00E-03	2.26	34.45	45.34	5.01	0.44	96.95	5.89	15.64	22.46
29-Jun	2.00E-03	<L.D.	54.90	95.68	5.01	0.44	132.96	0.26	0.82	25.95
2-5 Jul	3.39E-02	84.60	44.28	95.68	0.30	47.85	118.00	4.61	53.50	466.07
7,8 Jul	5.37E-02	4.23	25.60	93.60	0.19	2.18	75.34	1.02	5.76	33.43
8,9 Jul	1.32E-02	6.49	47.98	77.79	0.76	0.44	6.65	0.26	0.82	80.84
19,20 Jul	3.63E-02	0.28	23.51	9.15	0.28	—	39.89	1.28	0.82	54.39
27,28 Jul	4.47E-02	—	6.44	9.15	0.22	0.87	16.95	0.51	0.82	4.34
30-Jul	2.51E-02	0.28	34.13	23.92	0.40	—	197.78	3.84	10.70	75.85
3,4 Ago	5.13E-04	<L.D.	45.56	54.29	19.50	—	90.30	0.26	0.82	28.44
7,8 Ago	—	1.97	46.53	45.34	—	0.44	162.88	7.88	0.82	131.74
9,10 Ago	4.17E-02	9.02	26.57	45.55	0.24	20.88	202.76	8.19	13.17	85.83
10,11 Ago	5.01E-03	5.36	123.97	90.06	2.00	2.61	54.29	2.82	13.99	55.39
13-17 Ago	5.25E-02	19.74	25.76	34.32	0.19	0.44	130.74	3.33	0.82	86.83
17,18 Ago	4.47E-02	1.97	46.53	45.34	0.22	4.35	99.72	6.66	8.23	58.38
18,19 Ago	3.02E-02	119.00	47.01	29.95	0.33	—	221.60	2.56	9.88	89.82
19,20 Ago	—	108.57	36.06	28.08	—	0.44	162.88	9.73	5.76	91.82
20-23 Ago	7.76E-03	—	18.52	—	1.29	0.44	44.87	2.05	0.82	20.46
25-Ago	5.62E-03	1.41	76.15	47.22	1.78	0.44	23.82	9.22	2.47	84.83
26,27 Ago	3.80E-02	19.74	151.34	98.59	0.26	0.44	177.28	0.77	0.82	59.88
27,28 Ago	7.76E-03	4.51	52.81	77.17	1.29	0.44	631.56	6.14	4.94	12.48
28-30 Ago	9.33E-03	1.97	18.35	24.54	1.07	0.44	68.14	7.17	4.94	15.97
1,2 Sep	7.41E-03	0.28	40.57	29.54	1.35	0.44	105.26	2.05	0.82	42.42
2,3 Sep	2.09E-02	0.85	21.25	61.15	0.48	—	172.85	2.30	9.05	86.83
3-6 Sep	3.63E-04	42.02	8.69	20.18	27.54	5.22	94.18	6.14	7.49	33.93
10-13 Sep	3.24E-02	3.10	17.55	22.46	0.31	3.05	47.64	0.26	6.58	20.46
13,14 Sep	—	9.02	24.47	35.78	—	0.44	37.67	3.84	3.29	18.46
15-17 Sep	5.25E-02	7.61	55.38	115.65	0.19	0.44	192.24	1.28	0.82	193.61
20,21 Sep	4.37E-02	6.77	72.77	56.16	0.23	0.44	57.06	0.26	0.82	32.93
21,22 Sep	7.94E-02	56.96	24.47	49.30	0.13	0.44	130.74	3.33	0.82	86.83
27,28 Sep	7.91E-03	—	38.32	71.55	1.26	0.44	39.89	1.28	0.82	54.39
28,29 Sep	1.23E-03	13.82	18.19	13.31	8.13	0.44	67.59	3.84	5.76	24.45
29,30 Sep	4.47E-03	0.28	19.48	25.38	2.24	0.44	57.62	1.54	—	7.98
4-Oct	1.17E-02	0.28	20.93	31.62	0.85	3.05	19.39	5.63	9.88	51.40
5-Oct	3.24E-02	0.28	20.93	31.62	0.31	0.44	52.08	—	0.82	60.88
8-11 Oct	3.31E-04	6.20	55.87	94.22	30.20	—	170.63	0.26	0.82	222.06
11,12 Oct	6.92E-03	0.28	20.93	31.62	1.45	—	19.39	4.86	8.72	66.37
14,15 Oct	3.09E-02	62.89	55.55	103.17	0.32	0.44	138.50	9.73	29.63	112.28

---- Datos no determinados

— Datos no detectados

Figura 6.1. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004.

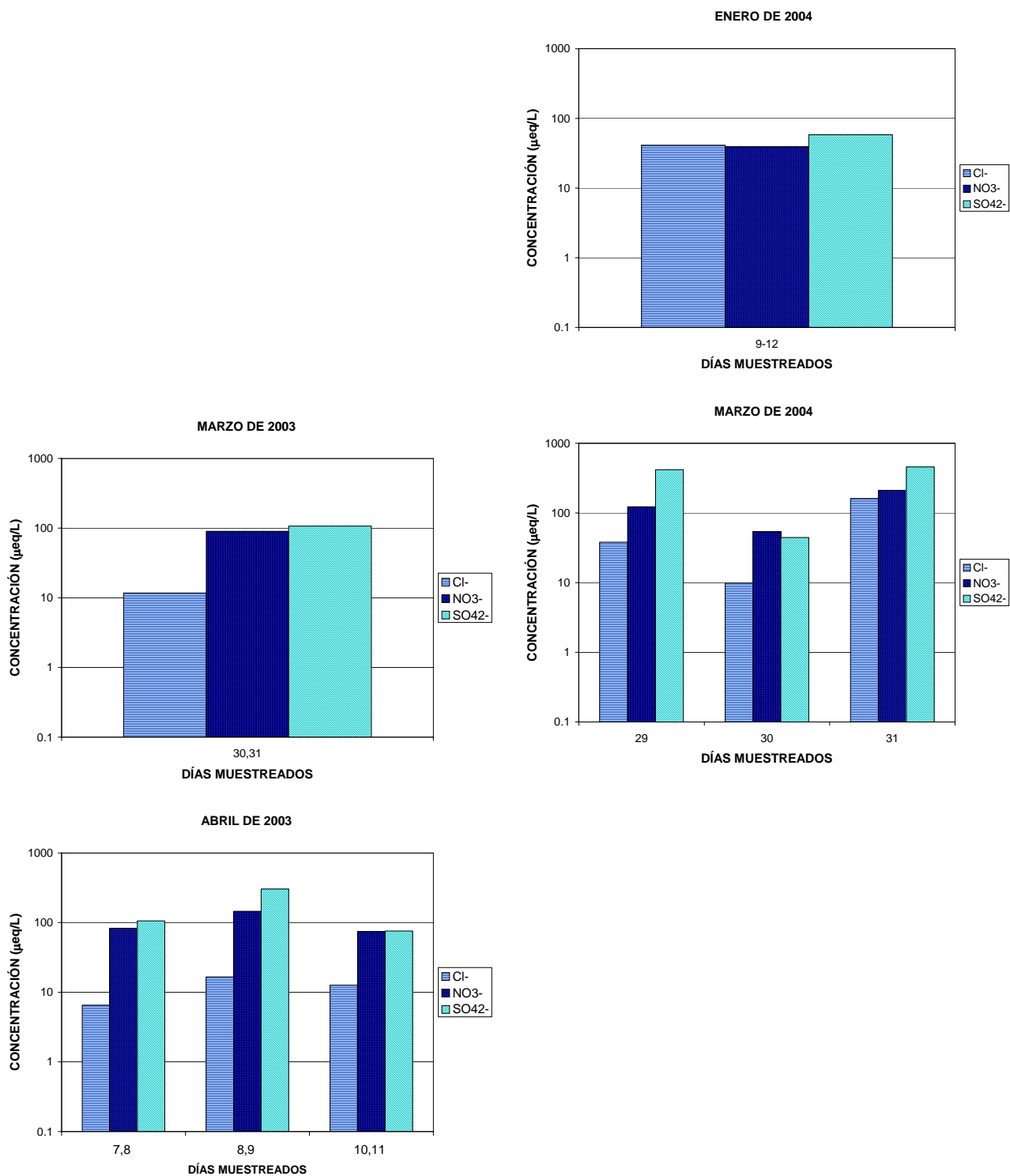


Figura 6.1. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

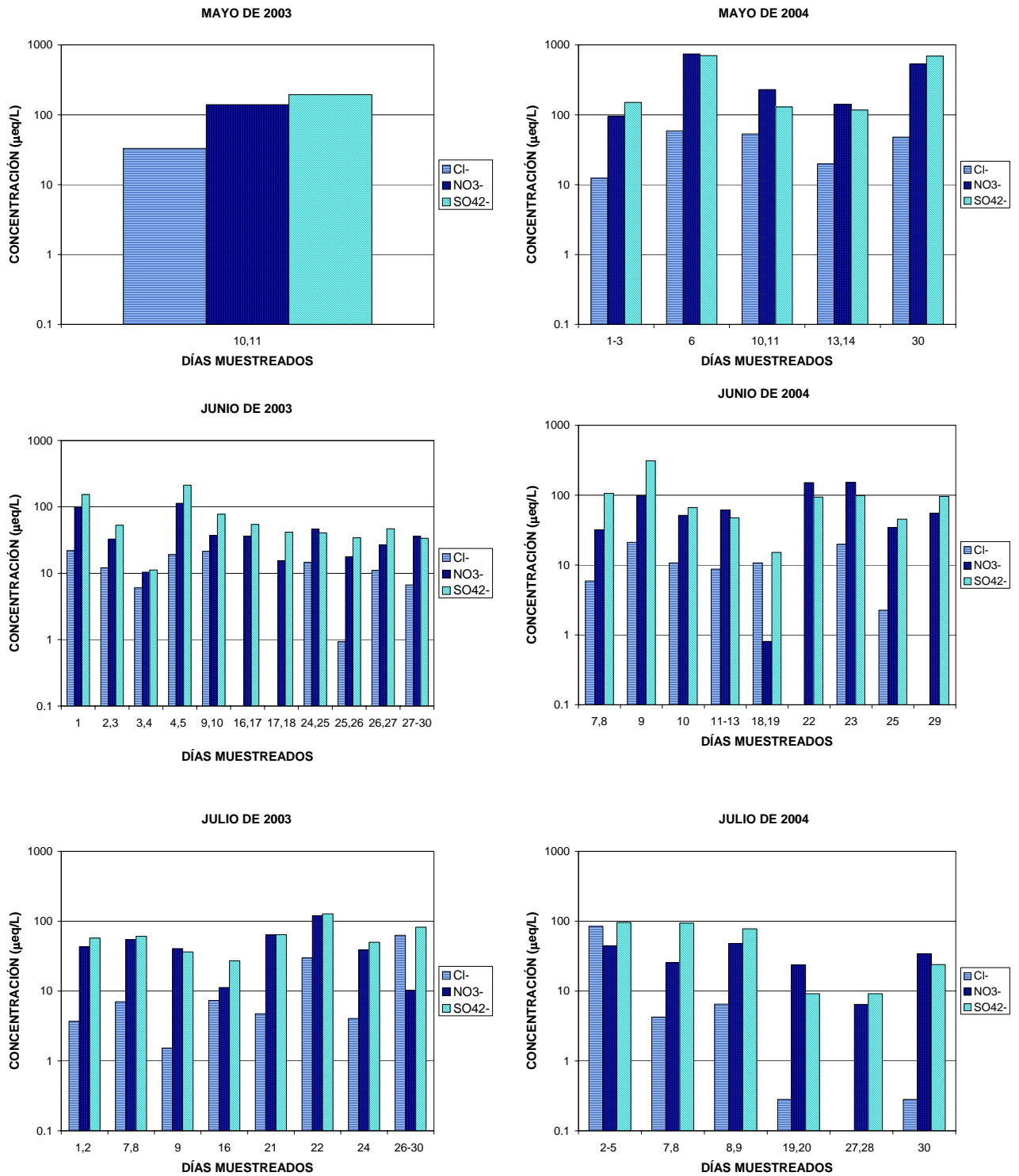


Figura 6.1. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

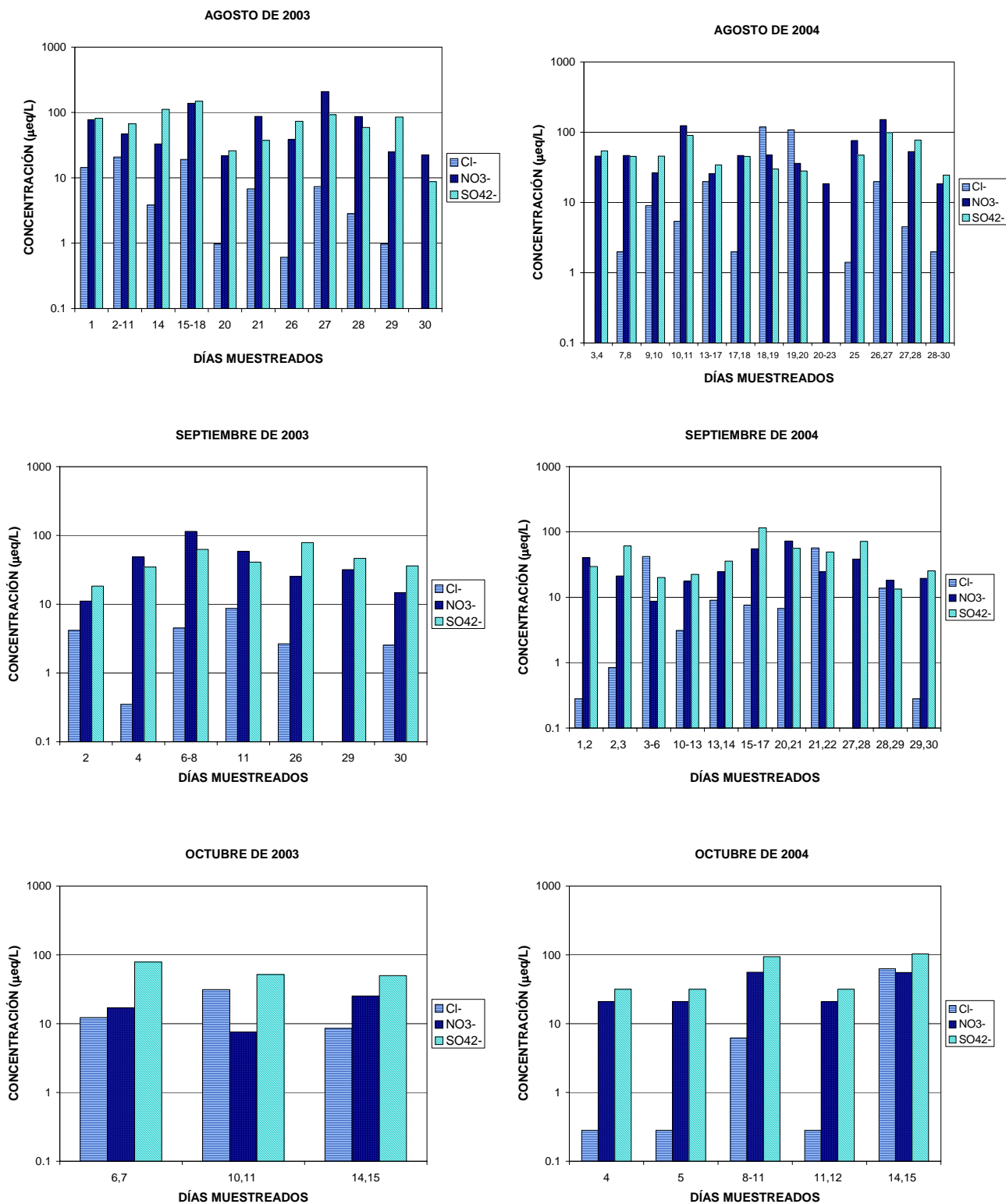


Figura 6.1. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

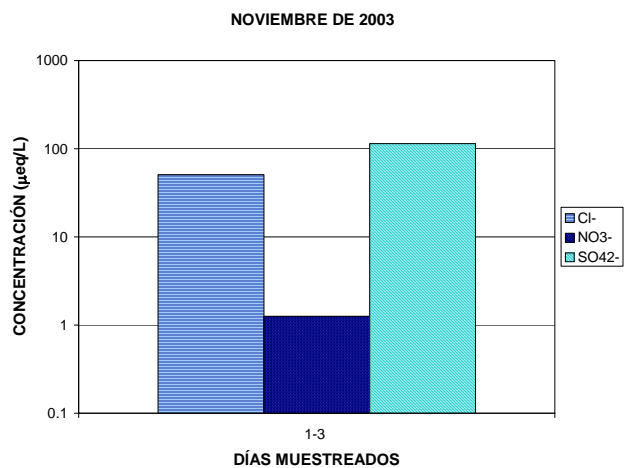


Figura 6.2. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004.

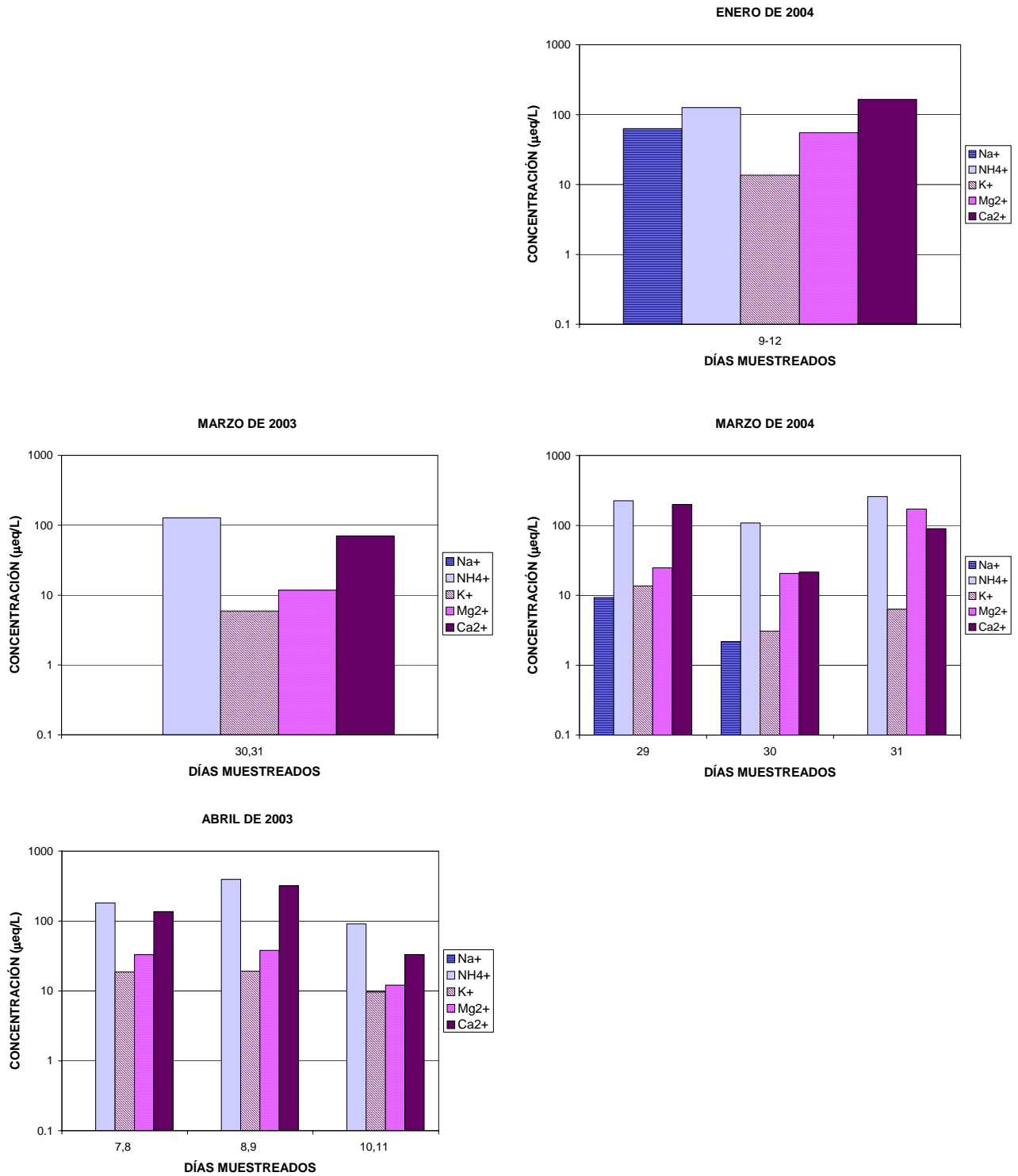


Figura 6.2. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

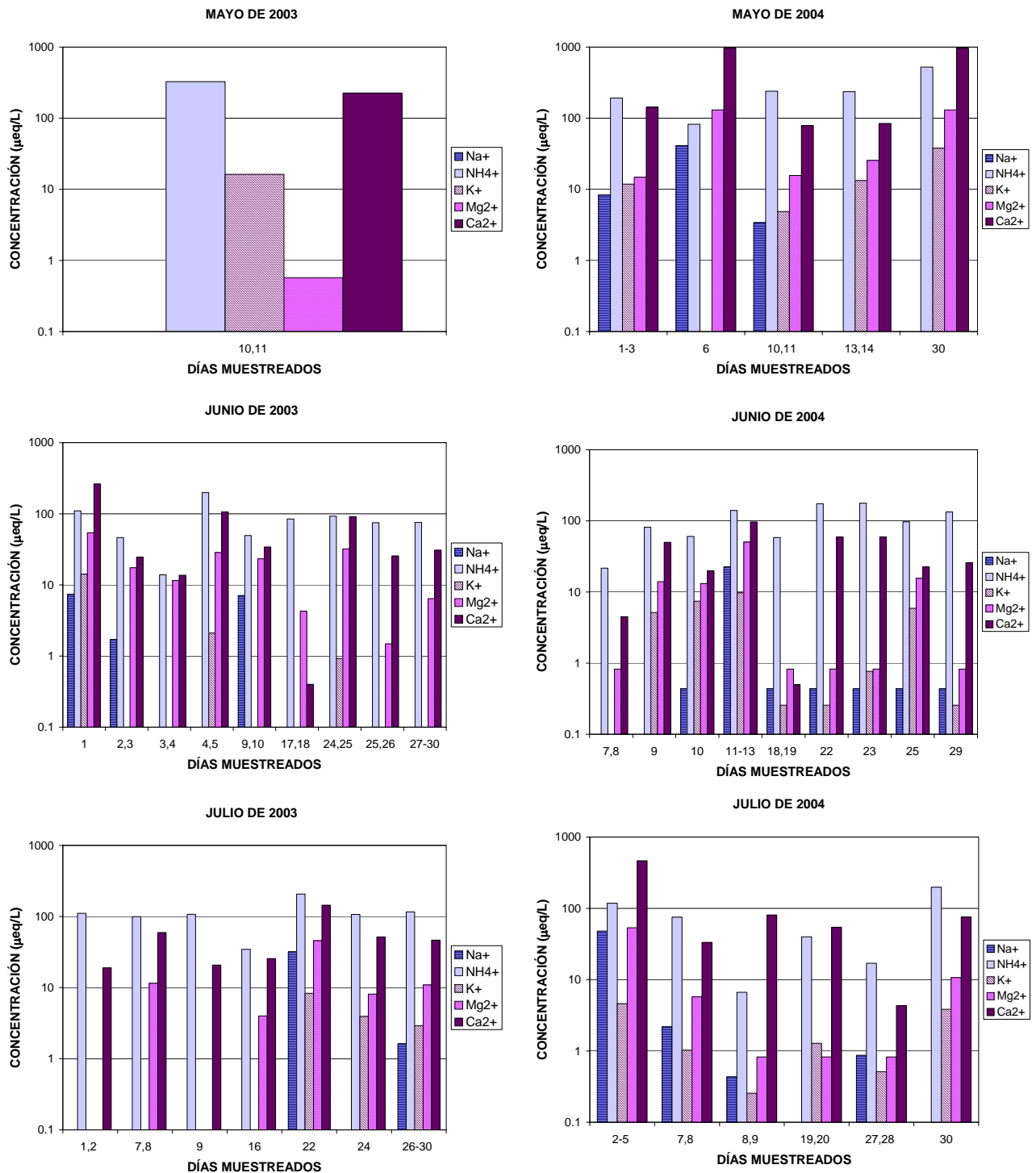


Figura 6.2. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en CU para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

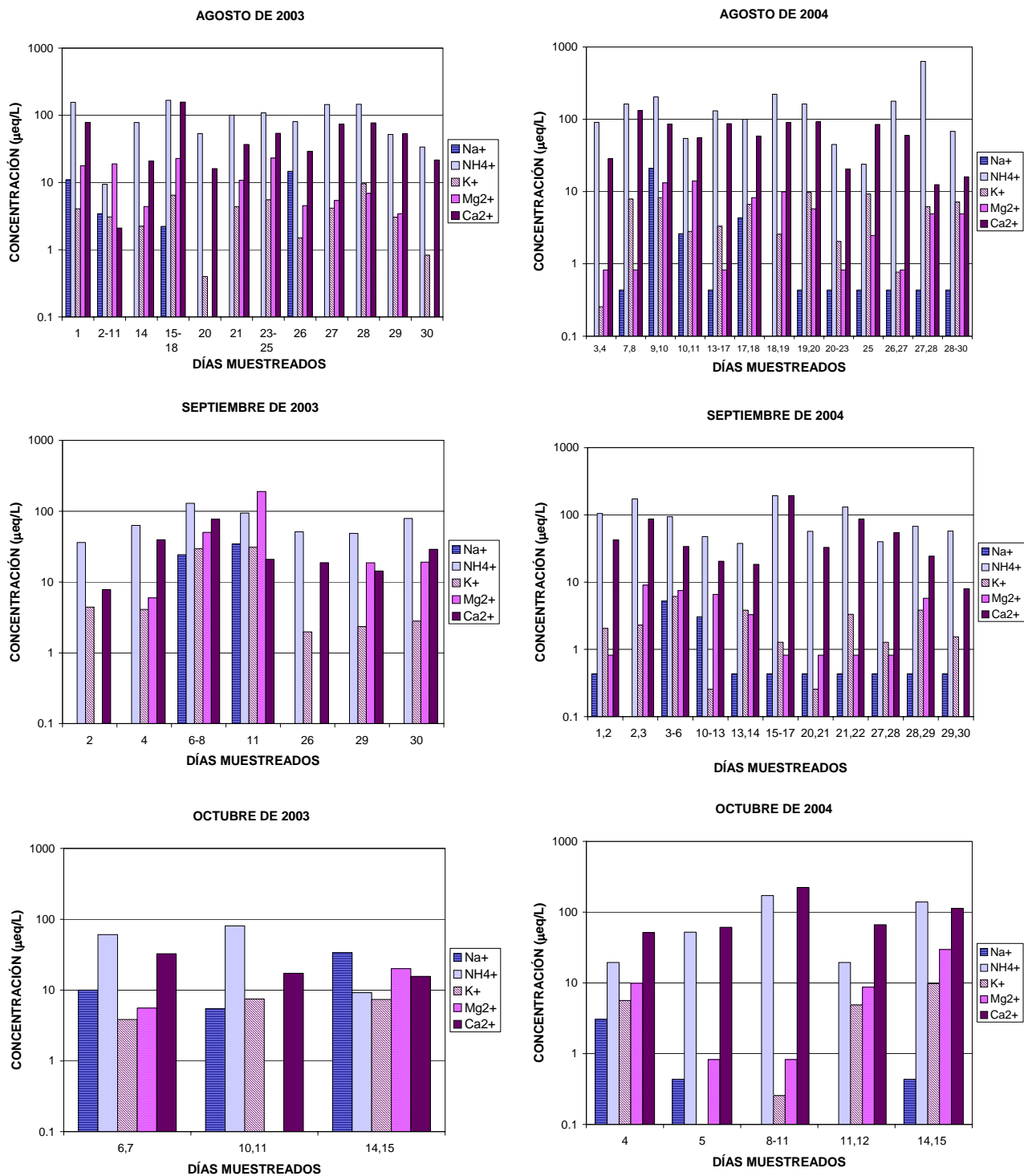


Figura 6.3. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada anión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.

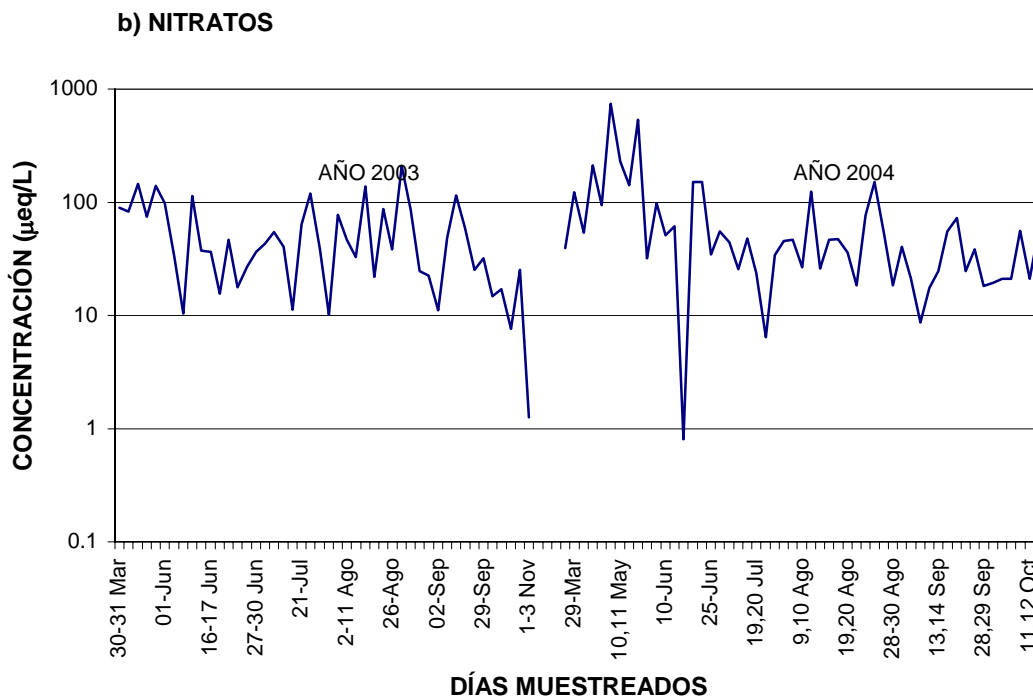
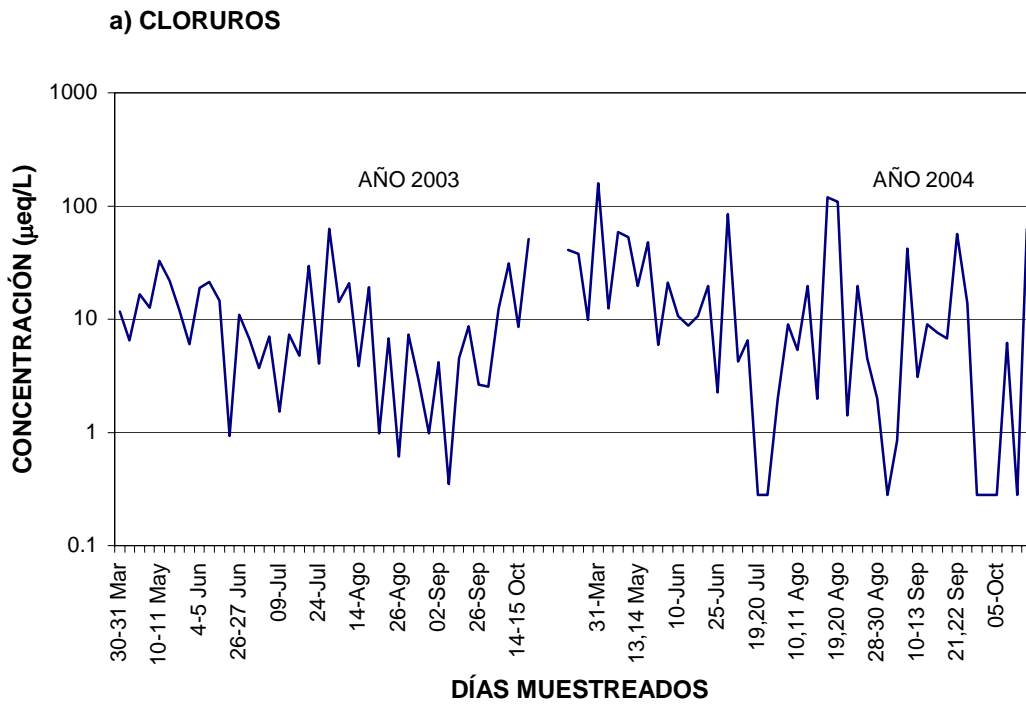


Figura 6.3. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada anión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.(Continuación)

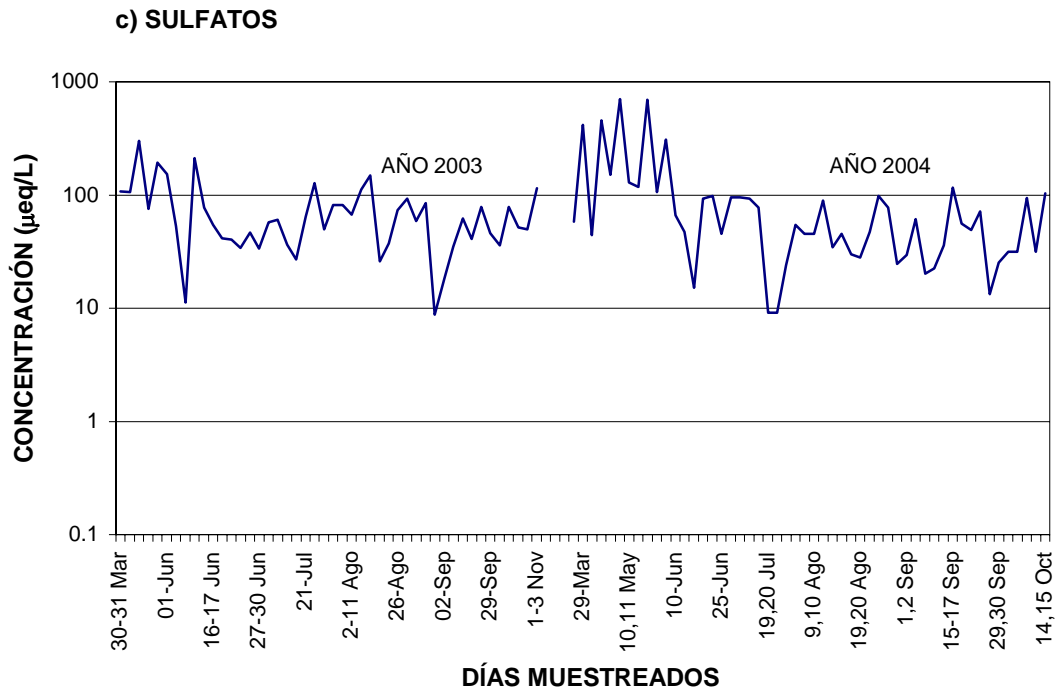


Figura 6.4. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.

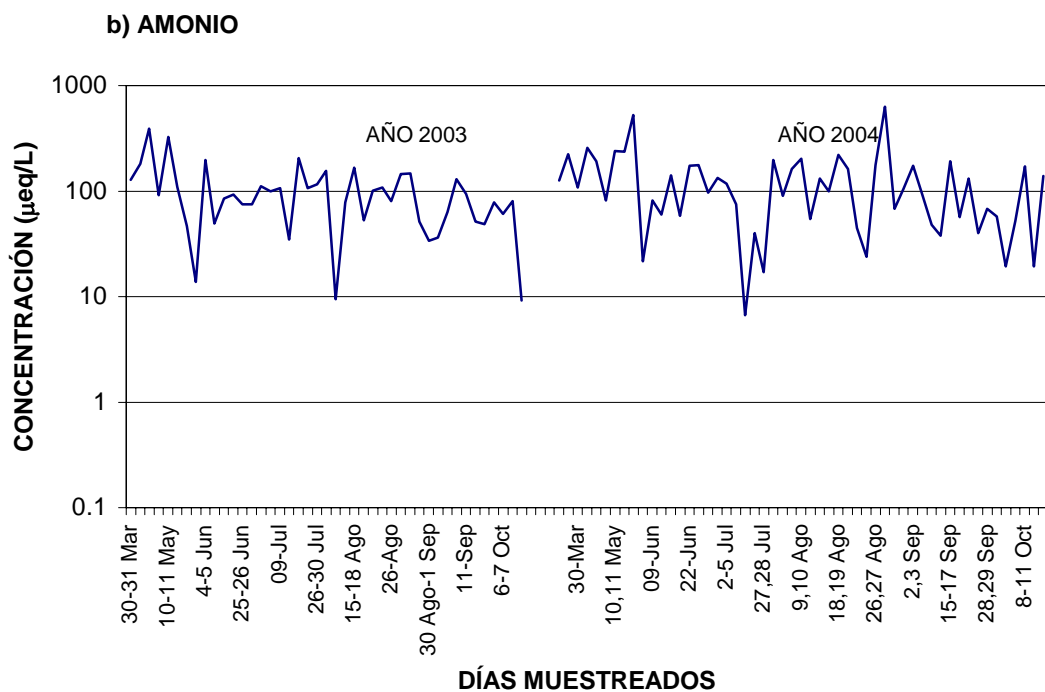
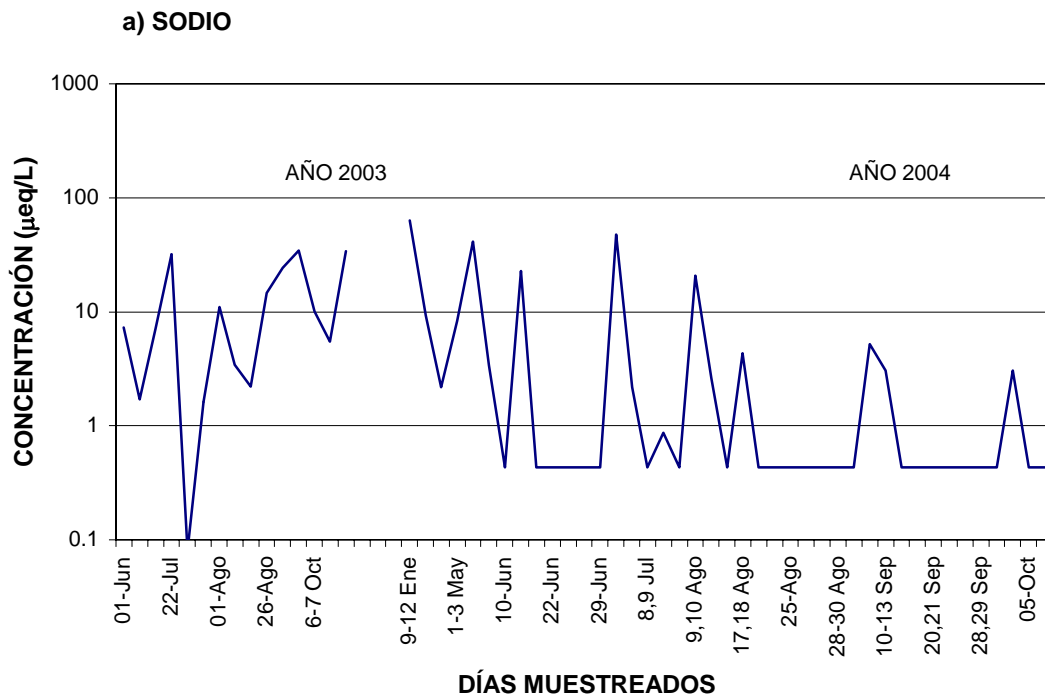


Figura 6.4. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.(Continuación)

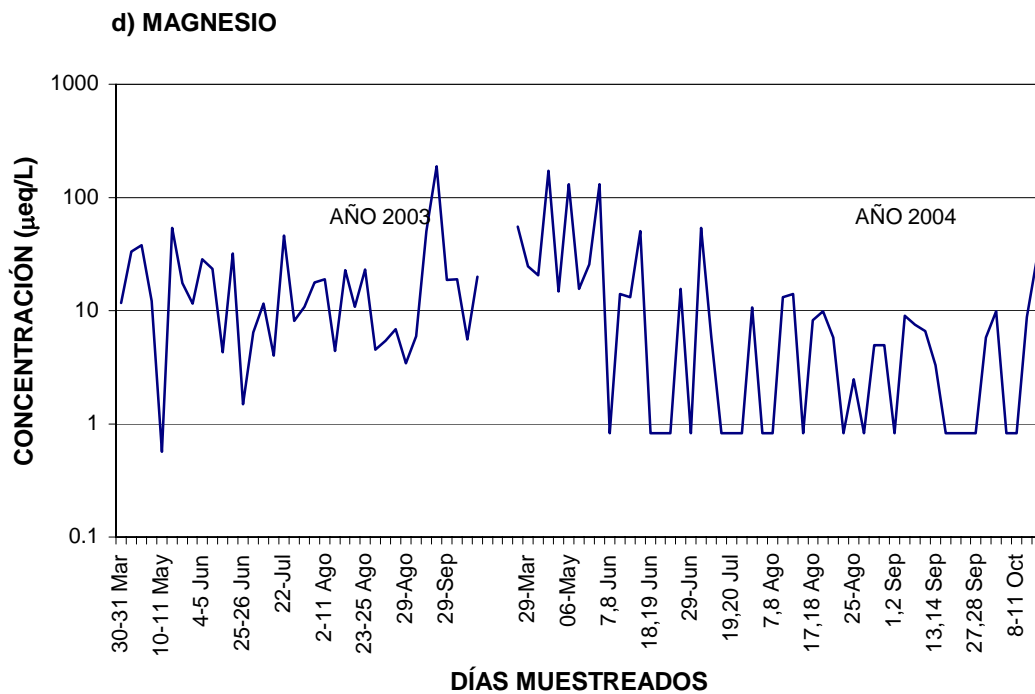
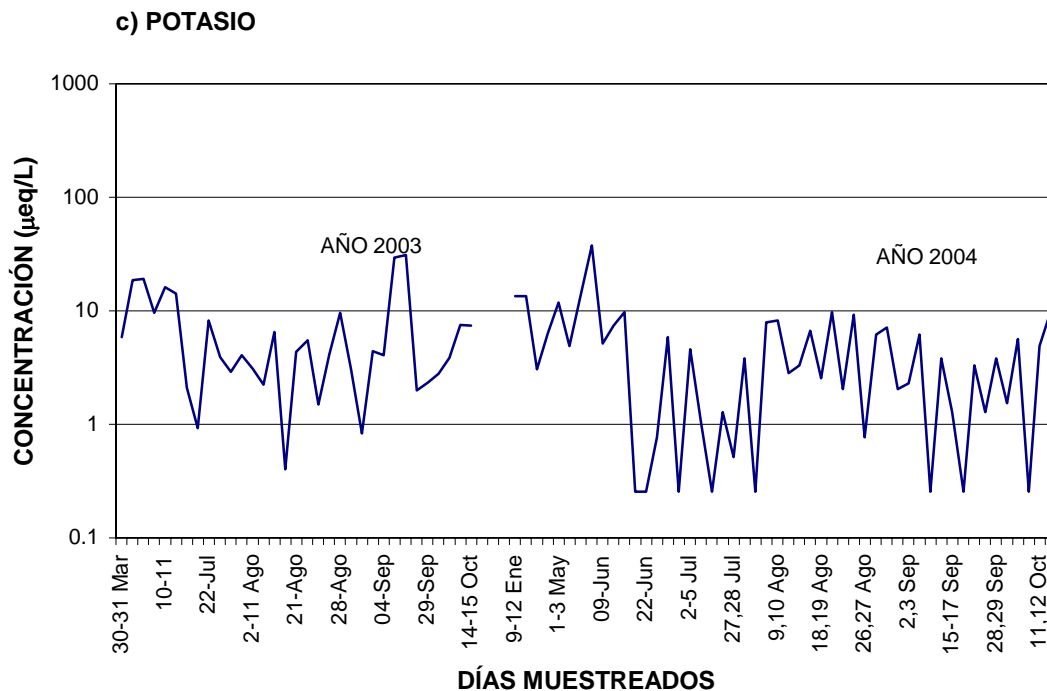
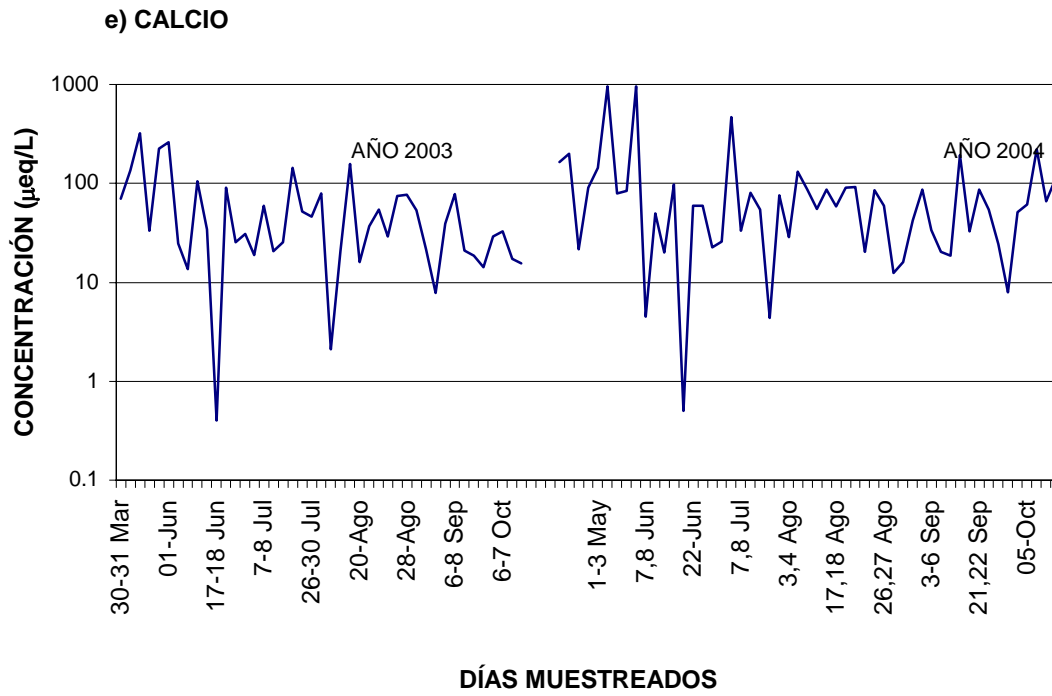


Figura 6.4. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.(Continuación)



1.0.0.0. Balance iónico de las concentraciones de los iones en las muestras de lluvia.

Con el propósito de evaluar la cuantificación de los iones obtenidos mediante la técnica de HPLC. Se efectuó un balance iónico entre las concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de aniones y cationes presentes en las muestras de lluvia correspondientes a la deposición húmeda en CU de cada año para tener una relación entre los equivalentes de cationes y aniones, en la tabla 6.6 y 6.7 se muestran los resultados de éste. El balance se efectuó con las concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de las tablas 6.4 y 6.5 para obtener éste se sumaron las concentraciones de los cationes considerando su carga y se dividen entre la sumatoria de las concentraciones de los aniones considerando también la carga, la ecuación empleada es:

$$\frac{\Sigma +}{\Sigma -} = \frac{[Na^+] + [NH_4^+] + [K^+] + 2([Mg^{2+}] + [Ca^{2+}]) + [H^+]}{[Cl^-] + [NO_3^-] + 2[SO_4^{2-}] + [OH^-]} \dots\dots\dots(2)$$

Si el valor resultante para el cociente es 1 indicaría que todas las especies existentes en la muestra han sido determinadas. Un valor mayor a 1 indicaría en este caso que las concentraciones de aniones son menores con respecto a las concentraciones de los cationes y en caso contrario si el cociente es menor a 1 indicaría que las concentraciones de los aniones son mayores con respecto a las concentraciones de los cationes. En los dos últimos casos se indicaría la falta de especies por cuantificar. Lo anterior puede confirmarse comparando la conductividad obtenida experimentalmente con la conductividad calculada teóricamente. Si la conductividad calculada es menor que la conductividad experimental confirmaría que hacen falta iones por cuantificar.

En las tablas no se presentan todos los balances iónicos debido a que algunas muestras no tienen los datos completos de aniones o cationes.

Tabla 6.6. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en CU del año 2003.

Muestras	Σ^-	Σ^+	Σ^+/Σ^-
30-31 Mar	208.59	254.07	1.22
7-8 Abr	195.16	370.56	1.90
8-9 Abr	465.18	771.45	1.66
10-11 Abr	162.35	190.47	1.17
10-11 May	366.05	567.41	1.55
1-Jun	273.91	448.58	1.64
2-3 Jun	97.68	109.61	1.12
3-4 Jun	27.66	41.08	1.49
4-5 Jun	344.01	377.25	1.10
9-10 Jun	136.11	132.79	0.98
17-18 Jun	57.13	89.68	1.57
24-25 Jun	101.62	216.56	2.13
25-26 Jun	52.84	101.94	1.93
27-30 Jun	76.59	113.33	1.48
1-2 Jul	103.73	131.70	1.27
7-8 Jul	121.84	173.82	1.43
9-Jul	78.39	127.92	1.63
16-Jul	45.63	64.89	1.42
22-Jul	277.20	437.07	1.58
24-Jul	92.41	170.76	1.85
26-30 Jul	154.88	178.51	1.15
1-Ago	173.40	267.37	1.54
2-11 Ago	134.60	37.17	0.28
14-Ago	148.45	106.04	0.71
15-18 Ago	305.84	356.18	1.16
20-Ago	48.70	69.99	1.44
21-Ago	131.09	155.69	1.19
26-Ago	112.39	131.28	1.17
27-Ago	308.74	335.19	1.09
28-Ago	148.09	240.83	1.63
29-Ago	110.80	111.71	1.01
30 Ago-1 Sep	31.22	56.94	1.82
2-Sep	33.58	48.99	1.46
4-Sep	83.67	113.04	1.35
6-8 Sep	181.17	191.26	1.06
11-Sep	108.30	370.25	3.42
26-Sep	106.15	113.68	1.07
29-Sep	78.00	105.63	1.35
6-7 Oct	108.18	118.48	1.10
10-11 Oct	90.73	111.14	1.22
14-15 Oct	83.58	93.21	1.12

Tabla 6.7. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en CU del año 2004.

Muestras	Σ^-	Σ^+	Σ^+/Σ^-
9-12 Ene	138.42	423.76	3.06
29-Mar	576.43	474.88	0.82
30-Mar	107.79	163.81	1.52
31-Mar	828.21	526.99	0.64
1-3 May	257.21	378.12	1.47
6-May	1503.95	1229.57	0.82
10,11 May	411.61	351.74	0.85
13,14 May	278.53	361.67	1.30
30-May	1269.36	1646.94	1.30
7,8Jun	143.73	27.11	0.19
9-Jun	428.43	157.69	0.37
10-Jun	128.66	101.73	0.79
11-13Jun	117.69	319.98	2.72
23-Jun	269.67	304.76	1.13
25-Jun	82.06	146.38	1.78
29-Jun	150.58	165.43	1.10
2-5 Jul	224.59	690.32	3.07
8,9 Jul	132.27	89.76	0.68
30-Jul	58.36	288.56	4.94
3,4 Ago	99.85	139.32	1.40
7,8 Ago	93.85	303.75	3.24
9,10 Ago	81.18	331.07	4.08
10,11 Ago	219.40	131.09	0.60
13-17 Ago	79.87	222.35	2.78
17,18 Ago	93.89	177.56	1.89
18,19 Ago	196.00	324.19	1.65
19,20 Ago	172.71	270.62	1.57
20-23 Ago	18.52	69.93	3.78
25-Ago	124.78	122.55	0.98
26,27 Ago	269.71	239.45	0.89
27,28 Ago	134.50	656.84	4.88
28-30 Ago	44.88	97.72	2.18
1,2 Sep	70.40	152.33	2.16
2,3 Sep	83.27	271.51	3.26
3-6 Sep	70.89	174.51	2.46
10-13 Sep	43.15	78.30	1.81
15-17 Sep	178.70	388.58	2.17
20,21 Sep	135.74	91.74	0.68
21,22 Sep	130.81	222.28	1.70
27,28 Sep	109.88	98.08	0.89
28,29 Sep	45.32	110.20	2.43
29,30 Sep	45.14	69.81	1.55
4-Oct	52.84	90.19	1.71
5-Oct	52.86	114.52	2.17
8-11 Oct	156.30	423.97	2.71
11,12 Oct	52.83	100.79	1.91
14,15 Oct	221.63	290.89	1.31

2.0.0.0. Ponderación de parámetros.

Los resultados obtenidos de pH, conductividad, concentración de aniones y cationes fueron ponderados para determinar el valor real considerando el volumen de la muestra colectado durante un mes y durante todo el año. El valor ponderado para cada especie se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$[X_p] = \sum_{i=1}^n \left([X_i] \times \frac{V_i}{V_t} \right) \text{-----(3)}$$

Donde X_i : especie a ponderar

V_i : volumen del evento

V_t : volumen total recolectado durante un mes y/o año de muestreo

En las tablas 6.8 y 6.9 se presentan los resultados de los datos ponderados de cada especie del periodo de muestreo 2003-2004 de la deposición húmeda en CU.

Tabla 6.8. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en CU para el año 2003.

Muestras	pH Ponderado	Conductividad Teórica Ponderada (μS/cm)	Conductividad Experimental Ponderada (μS/cm)	Cl ⁻ Ponderado (μeq/L)	NO ₃ ⁻ Ponderado (μeq/L)	SO ₄ ²⁻ Ponderado (μeq/L)	OH ⁻ Ponderado (μeq/L)	Na ⁺ Ponderado (μeq/L)	NH ₄ ⁺ Ponderado (μeq/L)	K ⁺ Ponderado (μeq/L)	Mg ²⁺ Ponderado (μeq/L)	Ca ²⁺ Ponderado (μeq/L)	H ⁺ Ponderado (μeq/L)
Marzo	4.41	38.21	42.03	11.67	90.05	106.87	2.57E-04	---	127.20	5.89	11.77	70.31	38.90
Abril	4.73	45.09	45.39	11.97	98.33	152.74	6.31E-03	---	208.87	15.18	26.15	149.92	18.67
Mayo	6.80	55.94	62.49	32.99	139.27	193.73	6.31E-02	---	325.20	16.21	0.57	225.27	0.16
Junio	5.50	13.11	22.92	4.54	27.84	48.31	5.28E-02	0.67	74.92	0.84	9.73	38.20	3.15
Julio	5.79	16.32	27.46	25.01	34.43	63.86	1.25E-02	1.41	98.84	1.62	7.73	38.94	1.64
Agosto	4.97	21.87	26.11	9.64	73.38	69.13	3.71E-02	3.33	88.88	3.87	11.83	44.21	10.77
Septiembre	4.49	22.86	25.12	4.14	65.95	45.23	7.80E-03	12.99	38.33	6.31	30.68	15.84	32.27
Octubre	5.22	11.94	17.90	12.57	20.69	57.84	5.04E-03	23.68	32.41	6.45	13.48	20.36	5.96
Noviembre	6.02	----	34.19	50.76	1.26	114.12	1.05E-02	----	----	----	----	----	0.95
AÑO	5.02	19.24	26.33	11.88	46.55	62.48	2.77E-02	4.73	82.69	3.68	14.13	41.80	9.61

---- No fueron determinadas

— No ponderados por tener valores menores al limite de detección (<L.D.)

Tabla 6.9. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en CU para el año 2004.

Muestras	pH Ponderado	Conductividad Teórica Ponderada (μS/cm)	Conductividad Experimental Ponderada (μS/cm)	Cl ⁻ Ponderado (μeq/L)	NO ₃ ⁻ Ponderado (μeq/L)	SO ₄ ²⁻ Ponderado (μeq/L)	OH ⁻ Ponderado (μeq/L)	Na ⁺ Ponderado (μeq/L)	NH ₄ ⁺ Ponderado (μeq/L)	K ⁺ Ponderado (μeq/L)	Mg ²⁺ Ponderado (μeq/L)	Ca ²⁺ Ponderado (μeq/L)	H ⁺ Ponderado (μeq/L)
Enero	5.98	33.92	35.80	40.89	39.28	58.24	9.55E-03	63.08	125.76	13.57	55.14	165.17	1.05
Marzo	5.23	32.06	34.61	27.39	82.43	170.96	2.00E-03	3.93	149.58	6.09	31.77	73.65	5.91
Mayo	5.05	69.84	65.51	35.85	265.33	260.86	3.65E-03	8.45	237.11	11.24	41.88	295.57	8.83
Junio	5.03	18.25	27.53	7.23	56.86	82.91	2.55E-02	1.60	86.10	2.73	8.46	26.98	9.35
Julio	5.34	12.42	35.36	5.81	23.02	39.87	4.58E-02	3.28	67.80	1.51	6.19	61.19	4.60
Agosto	5.54	22.19	22.43	13.17	42.31	44.31	2.83E-02	2.16	164.77	4.82	4.62	54.27	2.90
Septiembre	4.98	17.34	26.79	22.65	21.41	35.20	1.92E-02	2.43	86.59	3.29	4.63	44.47	10.37
Octubre	5.17	18.04	29.90	7.73	31.38	51.29	1.41E-02	0.74	68.09	3.61	7.88	98.00	6.74
Año	5.20	20.76	29.79	14.85	45.38	62.99	1.14E-01	4.77	110.55	3.97	10.22	62.99	6.37

2.0.0. Zona Arqueológica de El Tajín.

1.0.0.0. Conductividad y pH de las muestras

A las muestras de agua de lluvia de la deposición húmeda de la Zona Arqueológica de El Tajín colectadas durante el periodo 2003-2004 también se les determinó el pH y la conductividad. En las tablas 6.10 y 6.11 se muestra la fecha, el volumen (mm) de la precipitación pluvial, el pH, la conductividad experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la conductividad teórica de cada uno de los muestreos, el valor de esta última se determinó con la ecuación (1) de la sección 6.2.1.1.

En la tabla 6.11 se encuentran dos muestras sin lectura del pluviómetro correspondientes al 15 de octubre y 30 de noviembre del año 2004.

2.0.0.0. Concentraciones de aniones y cationes

Los resultados referentes a las concentraciones de los iones principales en las muestras colectadas de lluvia de la deposición Húmeda de la Zona Arqueológica de El Tajín se presentan en la tabla 6.12 y 6.13. Hay muestras que tienen concentraciones demasiado pequeñas que no pueden ser detectadas o cuantificadas en el cromatógrafo de líquidos de alta presión (HPLC) y son representadas como valores menores al límite de detección (<L.D.), esto indica que existe la presencia del ion pero no pudo ser cuantificada su concentración.

En la figura 6.5 y 6.6 se representan las concentraciones de los iones de las tablas antes mencionadas. Para tener un mejor comparativo se acomodaron las figuras en dos columnas, del lado izquierdo se encuentran las figuras del año 2003 y del lado derecho las del año 2004. Los espacios vacíos indican que no se tienen muestras en el mes del año correspondiente.

En la figura 6.7 y 6.8 se muestran las concentraciones de cada anión y catión presentes en el sitio de muestreo El Tajín del periodo 2003-2004.

Por ser diferentes las ordenes de magnitud de las concentraciones de los iones en la atmósfera de cada sitio de muestreo, las figuras antes mencionadas aparecen en escala logarítmica con el propósito de que todas las gráficas presenten los mismos límites inferior y superior.

Tabla 6.10. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2003.

Muestras	Precipitación (mm)	pH	Conductividad Experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad Teórica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
6-7 Ene	1.18	4.48	24.91	20.34
14-15 Ene	1.60	5.80	14.74	11.09
23-24 Ene	2.20	4.38	24.26	20.40
26-27 Ene	2.39	4.26	26.12	25.40
7-Feb	2.40	4.49	31.20	30.05
10-Feb	3.60	4.43	42.53	34.20
16-Feb	2.80	5.79	30.73	14.00
27-Feb	2.20	3.65	115.30	110.32
15-Mar	4.60	4.18	77.25	71.66
29-Mar	16.40	4.39	42.43	44.24
9-Abr	12	5.12	56.22	54.35
2-Jun	25.40	4.67	24.79	15.93
4-Jun	22.86	5.11	14.43	9.82
14-Jun	3.81	5.90	41.97	----
16-Jun	8.89	4.68	19.34	12.84
17-Jun	2.54	4.50	30.71	----
25-27 Jun	7.11	5.09	16.22	12.75
29-Jun	6.35	5.47	12.58	7.84
6-Jul	11.43	5.47	14.46	10.36
7-Jul	15.24	5.50	8.04	5.64
8-9 Jul	20.32	4.79	15.59	12.38
12-14 Jul	5.08	4.28	44.26	38.53
15-16 Jul	13.97	5.33	16.93	16.25
18-20 Jul	12.7	5.20	9.51	10.87
23-25 Jul	6.35	4.95	20.15	15.99
26-27 Jul	31.75	5.68	8.65	10.48
28-Jul	5.08	4.87	12.34	----
1-15 Ago	65.02	4.64	17.01	16.43
19-Ago	5.08	5.58	6.36	7.48
20-25 Ago	12.70	4.97	12.26	14.93
26-31 Ago	6.35	5.62	15.96	11.70
1-2 Sep	5.08	5.43	11.89	7.60
3-6 Sep	58.42	4.22	28.48	26.16
14-15 Sep	45.72	5.20	7.96	2.79
16-Sep	7.62	4.36	26.96	28.45
18-21 Sep	8.89	6.37	17.47	4.86
22-23 Sep	10.16	4.50	18.70	16.61
28-Sep	13.97	4.06	41.01	48.01
29-Sep	46.99	4.93	8.45	6.61
1-2 Oct	2.54	4.35	23.83	23.91
3-5 Oct	16.51	4.73	10.06	7.50
7-8 Oct	13.97	4.68	12.06	10.47
13-19 Oct	95.25	4.13	56.77	29.64
21-22 Oct	2.54	4.92	13.76	11.17
31-Oct	16.51	5.47	13.95	11.00
8-11 Nov	31.75	4.59	13.48	11.00
12-14 Nov	26.67	4.71	14.05	16.48
15-23 Nov	15.24	4.75	38.16	23.16
2-Dic	5.08	4.63	18.59	14.65
6-Dic	6.35	4.49	18.45	15.32
15-Dic	10.16	5.75	8.68	8.22

---- Datos no determinados.

Tabla 6.11. Precipitación (mm), conductividad teórica y experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2004.

Muestras	Precipitación (mm)	pH	Conductividad Experimental ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad Teórica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
16-18 Ene	2.54	4.46	30.39	66.76
19-Ene	2.54	4.3	33.58	80.08
22-Ene	3.81	4.38	84.67	65.46
23-Ene	2.54	4.23	79.24	80.74
28,29 Ene	15.24	3.93	85.75	----
9-Feb	6.35	4.69	17.20	14.59
12-Feb	3.81	4.64	18.20	36.04
16-Feb	8.89	4.14	19.20	46.66
27-Feb	1.27	4.13	21.20	55.78
28-Feb	6.35	4.26	22.20	33.25
6-Mar	2.54	4.03	91.10	62.09
8-Mar	3.81	4.89	34.90	26.92
12-14 Mar	3.81	3.82	106.60	77.30
14-Mar	6.35	4.97	40.10	26.15
14,15 Mar	5.08	3.89	96.60	68.66
16,17 Mar	3.81	4.25	56.90	41.14
27-Mar	8.89	5.04	21.30	18.74
29-Mar	8.89	4.69	18.70	16.73
30-Mar	21.59	4.7	20.40	15.19
31-Mar	5.08	4.22	40.50	30.67
3,4 Abr	5.08	5.22	28.70	21.02
5,6 Abr	2.54	5.7	36.40	7.60
8-Abr	2.54	5.13	26.40	16.62
11,12 Abr	5.08	4.26	54.60	41.82
13-Abr	6.35	4.32	53.70	41.12
26,27Abr	6.35	5.42	8.74	16.41
28-Abr	2.54	4.28	77.20	67.35
2-May	6.35	----	----	----
7,8 May	8.89	5.69	29.10	----
9,10 May	3.81	5.88	28.50	----
14-May	21.59	4.65	21.40	----
15-May	13.97	4.59	19.50	16.77
15,16 May	5.08	3.98	54.30	48.58
2-Jun	2.54	4.78	37.50	14.25
3-Jun	7.62	5.29	5.55	5.59
5-Jun	16.51	4.82	17.60	18.25
7-Jun	3.81	5.03	12.30	11.82
8-Jun	6.35	4.47	16.50	----
10-Jun	45.72	5.29	12.40	5.73
17-Jun	6.35	5.26	13.00	10.17
26-Jun	5.08	5.69	22.90	17.16
10,11 Jul	13.97	4.89	10.10	8.74
23-Jul	3.81	4.74	21.60	16.44
10-Ago	12.7	4.6	19.70	12.58
12-Ago	2.54	4.68	33.00	23.71
14-Ago	15.24	5.75	22.95	20.25
17-Ago	19.05	4.76	11.39	13.52
30-Ago	11.43	4.76	13.80	9.00
1-Sep	35.56	4.85	47.85	22.95
6-Sep	30.48	4.2	70.60	31.46
8-Sep	6.35	4.76	10.20	15.37
10-Sep	12.7	3.99	81.10	----
11-Sep	8.89	4.67	13.40	9.11
12-Sep	8.89	4.12	41.18	49.26
20-Sep	8.89	4.4	22.82	18.87
24-Sep	12.7	4.2	38.66	36.13
27-Sep	21.54	4.66	19.42	20.69
28-Sep	16.51	4.2	14.66	25.30
3-Oct	25.4	4.63	13.23	11.65
4-Oct	5.08	4.66	14.67	10.94
4,5 Oct	53.34	4.82	33.15	30.14
5,6 Oct	33.02	4.98	5.25	5.72
15-Oct	Sin lectura	4.25	28.60	22.57
30-Nov	Sin lectura	4.53	20.38	17.92
11-Dic	8.89	4.9	38.81	42.67
15-Dic	5.08	5.96	42.94	23.31
19-Dic	5.08	4.2	45.15	43.54
23-Dic	5.08	4.2	73.21	54.65
25-Dic	5.08	4	32.95	45.61

— Datos no determinados.

Tabla 6.12. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq/L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2003.

Muestras	OH ⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	Cl ⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	NO ₃ ⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	SO ₄ ²⁻ ($\mu\text{eq/L}$)	H ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	Na ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	NH ₄ ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	K ⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	Mg ²⁺ ($\mu\text{eq/L}$)	Ca ²⁺ ($\mu\text{eq/L}$)
6-7 Ene	3.02E-04	34.57	9.64	58.86	33.11	26.23	17.56	8.32	8.73	4.64
14-15 Ene	6.31E-03	23.27	—	52.58	1.58	20.71	6.20	11.57	20.98	67.02
23-24 Ene	2.40E-04	10.26	14.20	64.25	41.69	<L.D.	18.45	4.84	0.32	11.43
26-27 Ene	1.82E-04	10.94	15.54	60.59	54.95	<L.D.	18.73	4.56	5.91	11.63
07-Feb	3.09E-04	73.29	24.68	108.28	32.36	59.42	47.70	2.02	17.78	18.16
10-Feb	2.69E-04	127.61	37.92	262.70	37.15	160.56	66.92	4.10	42.25	31.74
16-Feb	6.17E-03	48.56	50.43	150.30	1.62	<L.D.	18.17	1.15	9.38	7.34
27-Feb	4.47E-05	90.38	79.16	314.08	223.87	7.66	50.58	10.29	53.02	65.72
15-Mar	1.51E-04	99.01	77.73	337.81	66.07	95.48	177.67	19.15	51.80	85.23
29-Mar	2.45E-04	115.70	26.47	137.05	40.74	158.69	38.84	4.94	34.04	47.85
09-Abr	1.32E-03	223.51	36.72	147.16	7.59	336.12	61.55	7.32	34.07	77.25
02-Jun	4.68E-04	9.69	13.44	65.93	21.38	<L.D.	47.37	2.61	2.96	21.36
04-Jun	1.29E-03	9.85	11.24	39.49	7.76	<L.D.	47.70	3.76	0.66	12.43
14-Jun	7.94E-03	----	----	----	1.26	----	----	----	----	----
16-Jun	4.79E-04	9.75	8.13	37.44	20.89	18.44	16.07	0.74	9.96	9.78
17-Jun	3.16E-04	----	----	----	31.62	----	----	----	----	----
25-27 Jun	1.23E-03	35.70	4.07	31.56	8.13	50.42	16.45	2.74	10.29	27.20
29-Jun	2.95E-03	15.60	3.52	34.92	3.39	<L.D.	34.74	0.56	6.17	23.70
06-Jul	2.95E-03	28.36	9.64	32.91	3.39	21.40	30.36	1.28	11.77	24.70
07-Jul	3.16E-03	31.05	—	—	3.16	18.66	—	<L.D.	16.80	7.33
8-9 Jul	6.17E-04	35.25	7.99	28.43	16.22	20.14	4.49	1.33	18.17	5.52
12-14 Jul	1.91E-04	72.26	38.62	204.94	52.48	29.45	26.26	6.37	18.04	32.44
15-16 Jul	2.14E-03	53.67	25.42	39.45	4.68	44.11	28.53	5.86	23.77	105.64
18-20 Jul	1.58E-03	<L.D.	35.54	53.32	6.31	24.88	19.22	5.50	15.24	15.37
23-25 Jul	8.91E-04	41.36	17.05	61.88	11.22	26.32	23.49	6.55	17.05	28.59
26-27 Jul	4.79E-03	27.82	46.71	23.05	2.09	7.66	19.67	5.79	13.12	12.72
28-Jul	7.41E-04	----	----	----	13.49	----	----	----	----	----
1-15 Ago	4.37E-04	20.72	25.79	37.00	22.91	9.27	19.28	6.32	15.79	14.82
19-Ago	3.80E-03	13.98	11.76	24.33	2.63	11.35	18.28	5.68	13.63	16.67
20-25 Ago	9.33E-04	29.13	54.57	29.27	10.72	19.18	18.19	5.73	20.90	14.47
26-31 Ago	4.17E-03	26.59	8.86	59.41	2.40	16.79	34.29	5.96	17.47	33.28
1-2 Sep	2.69E-03	30.19	1.29	2.85	3.72	11.92	18.95	5.56	13.88	11.68
3-6 Sep	1.66E-04	<L.D.	11.43	52.16	60.26	17.36	18.39	2.05	5.44	4.99
14-15 Sep	1.58E-03	16.10	3.74	13.52	6.31	6.09	5.89	2.92	<L.D.	—
16-Sep	2.29E-04	24.01	10.41	46.86	43.65	11.80	25.55	3.04	1.48	1.42
18-21 Sep	2.34E-02	25.37	9.99	34.18	0.43	2.39	52.24	6.37	3.11	1.90
22-23 Sep	3.16E-04	18.71	29.33	26.06	31.62	10.14	9.86	0.59	1.78	<L.D.
28-Sep	1.15E-04	<L.D.	91.75	73.07	87.10	<L.D.	118.56	5.89	—	—
29-Sep	8.51E-04	18.29	<L.D.	10.38	11.75	7.96	4.16	0.59	1.78	<L.D.
1-2 Oct	2.24E-04	21.96	57.43	40.98	44.67	11.50	7.13	<L.D.	6.44	10.30
3-5 Oct	5.37E-04	<L.D.	3.70	13.78	18.62	1.09	4.43	----	----	----
7-8 Oct	4.79E-04	<L.D.	6.25	17.70	20.89	12.62	18.34	<L.D.	3.43	1.90
13-19 Oct	1.35E-04	18.77	4.83	26.65	74.13	5.48	7.09	0.31	3.97	3.89
21-22 Oct	8.32E-04	19.97	9.50	27.90	12.02	16.53	30.80	0.23	6.93	9.83
31-Oct	2.95E-03	----	----	----	3.39	36.93	45.10	40.60	8.12	20.81
8-11 Nov	3.89E-04	----	----	----	25.70	13.75	6.04	0.59	3.80	10.53
12-14 Nov	5.13E-04	12.88	93.32	23.52	19.50	8.00	7.04	0.51	4.12	4.04
15-23 Nov	5.62E-04	24.09	14.35	59.38	17.78	144.68	21.88	1.43	33.90	30.74
02-Dic	4.27E-04	30.12	15.17	24.38	23.44	17.40	<L.D.	1.95	11.52	13.97
06-Dic	3.09E-04	11.25	3.46	19.86	32.36	<L.D.	7.31	4.61	18.85	8.78
15-Dic	5.62E-03	19.54	13.91	17.68	1.78	8.70	19.39	2.05	16.46	29.94

---- Datos no determinados.

— Datos no detectados.

Tabla 6.13. Concentraciones de los iones seleccionados ($\mu\text{eq/L}$) en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en El Tajín del año 2004.

Muestras	OH ⁻ $\mu\text{eq/L}$	Cl ⁻ $\mu\text{eq/L}$	NO ₃ ⁻ $\mu\text{eq/L}$	SO ₄ ²⁻ $\mu\text{eq/L}$	H ⁺ $\mu\text{eq/L}$	Na ⁺ $\mu\text{eq/L}$	NH ₄ ⁺ $\mu\text{eq/L}$	K ⁺ $\mu\text{eq/L}$	Mg ²⁺ $\mu\text{eq/L}$	Ca ²⁺ $\mu\text{eq/L}$
16-18 Ene	2.88E-04	199.40	15.78	34.53	34.67	<L.D.	62.60	385.02	39.50	40.92
19-Ene	2.00E-04	270.72	43.95	98.59	50.12	320.60	70.91	97.02	83.12	57.88
22-Ene	2.40E-04	143.82	23.83	58.24	41.69	331.64	102.82	47.10	93.33	69.56
23-Ene	1.70E-04	160.74	34.45	66.56	58.88	358.01	69.80	71.68	172.83	104.79
28,29 Ene	8.51E-05	98.98	9.18	50.34	117.49	---	---	---	---	---
9-Feb	4.90E-04	16.36	14.97	21.63	20.42	16.97	13.85	2.30	17.28	27.45
12-Feb	4.37E-04	98.98	23.18	82.16	22.91	53.29	49.75	63.80	44.47	56.74
16-Feb	1.38E-04	38.35	21.74	47.42	72.44	74.60	69.53	9.04	58.19	51.25
27-Feb	1.35E-04	55.55	42.18	95.06	74.13	73.08	95.84	12.03	38.68	110.28
28-Feb	1.82E-04	46.25	15.62	48.26	54.95	60.03	27.70	3.33	18.93	31.44
6-Mar	1.07E-04	42.02	51.20	154.13	93.33	45.68	155.12	7.68	26.34	51.40
8-Mar	7.76E-04	73.32	29.62	55.33	12.88	103.10	64.26	7.94	16.46	32.93
12-14 Mar	6.61E-05	77.83	23.51	104.00	151.36	157.47	38.23	5.89	51.85	3.99
14-Mar	9.33E-04	26.51	21.74	55.12	10.72	61.77	132.41	7.68	18.11	51.90
14,15 Mar	7.76E-05	40.89	31.40	130.21	128.82	52.64	75.90	7.68	56.79	53.39
16,17 Mar	1.78E-04	43.71	31.56	60.53	56.23	47.42	73.13	7.17	78.19	32.44
27-Mar	1.10E-03	63.45	11.11	22.26	9.12	84.83	27.15	4.10	28.81	21.46
29-Mar	4.90E-04	37.22	13.20	28.50	20.42	34.80	28.25	2.30	13.99	5.99
30-Mar	5.01E-04	6.49	9.66	29.12	19.95	62.64	23.27	2.82	17.28	5.49
31-Mar	1.66E-04	34.12	19.48	48.26	60.26	35.67	11.08	4.61	11.52	13.97
3,4 Abr	1.66E-03	22.28	32.52	49.50	6.03	22.62	109.14	6.91	4.94	62.38
5,6 Abr	5.01E-03	35.53	12.08	27.04	2.00	2.18	23.27	2.82	4.94	5.99
8-Abr	1.35E-03	9.59	16.42	24.54	7.41	17.40	71.47	22.78	8.23	54.89
11,12 Abr	1.82E-04	70.50	18.68	85.49	54.95	80.04	76.45	9.22	16.46	42.91
13-Abr	2.09E-04	86.86	14.17	54.08	47.86	138.33	59.83	7.68	23.04	37.92
26,27Abr	2.63E-03	14.95	121.07	47.63	3.80	6.09	28.81	8.45	10.70	7.98
28-Abr	1.91E-04	41.74	129.61	205.50	52.48	424.13	10.53	17.66	29.63	109.28
7,8 May	4.90E-03	17.77	7.89	0.83	2.04	---	---	---	---	---
9,10 May	7.59E-03	---	---	---	1.32	74.39	60.94	10.50	45.27	80.84
14-May	4.47E-04	---	---	---	22.39	36.54	31.58	88.58	7.41	12.48
15-May	3.89E-04	20.87	9.82	0.21	25.70	36.98	27.15	4.35	10.70	12.48
15,16 May	9.55E-05	25.10	7.08	17.68	104.71	25.23	13.85	77.06	10.37	9.98
2-Jun	6.03E-04	17.20	16.42	115.86	16.60	4.79	31.58	4.35	3.29	<L.D.
3-Jun	1.95E-03	21.15	8.69	9.57	5.13	1.74	0.00	4.86	16.46	<L.D.
5-Jun	6.61E-04	42.30	16.74	42.85	15.14	47.85	27.15	6.66	25.51	20.46
7-Jun	1.07E-03	17.20	16.42	117.94	9.33	38.28	13.85	2.43	<L.D.	<L.D.
8-Jun	2.95E-04	---	---	---	33.88	20.88	8.31	4.35	20.58	7.98
10-Jun	1.95E-03	22.00	16.58	10.40	5.13	0.44	8.86	0.77	0.82	0.50
17-Jun	1.82E-03	31.58	3.86	10.40	5.50	32.19	15.51	5.38	14.81	22.95
26-Jun	4.90E-03	61.76	17.07	18.72	2.04	73.95	36.56	8.70	21.40	31.44
10,11 Jul	7.76E-04	22.00	<L.D.	7.07	12.88	<L.D.	14.40	6.91	7.41	6.99
23-Jul	5.50E-04	53.86	1.61	6.86	18.20	45.24	17.17	8.96	13.99	12.48
10-Ago	3.98E-04	7.90	5.15	19.76	25.12	0.44	14.96	1.28	4.12	14.97
12-Ago	4.79E-04	67.96	10.30	49.92	20.89	27.84	30.47	17.66	2.47	69.86
14-Ago	5.62E-03	81.50	19.64	49.30	1.78	113.10	27.70	7.42	28.81	16.47
17-Ago	5.75E-04	28.48	<L.D.	21.01	17.38	<L.D.	55.95	6.14	1.65	1.50
30-Ago	5.75E-04	15.23	0.16	0.21	17.38	0.44	11.08	0.26	8.23	7.49
1-Sep	7.08E-04	81.78	12.24	12.48	14.13	0.44	26.04	1.02	5.76	138.72
6-Sep	1.58E-04	5.36	19.16	66.56	63.10	0.87	27.70	5.63	9.05	49.90
8-Sep	5.75E-04	20.30	21.57	42.85	17.38	0.44	6.65	0.77	84.77	1.00
10-Sep	9.77E-05	15.23	12.08	7.07	102.33	---	---	---	---	---
11-Sep	4.68E-04	<L.D.	2.58	15.60	21.38	0.44	13.30	<L.D.	<L.D.	1.00
12-Sep	1.32E-04	15.23	21.57	92.14	75.86	5.22	228.80	1.28	3.29	5.99
20-Sep	2.51E-04	9.59	13.52	38.69	39.81	2.61	19.94	4.10	3.29	3.49
24-Sep	1.58E-04	21.43	12.88	56.99	63.10	46.55	77.01	8.19	11.52	14.47
27-Sep	4.57E-04	50.20	28.82	104.00	21.88	20.01	32.69	3.07	2.47	12.97
28-Sep	1.58E-04	11.84	5.80	28.08	63.10	0.44	13.85	1.28	0.82	0.50
3-Oct	4.27E-04	14.10	8.37	22.67	23.44	10.88	6.65	1.28	0.82	0.50
4-Oct	4.57E-04	13.82	8.05	21.01	21.88	6.96	7.20	1.79	1.65	0.50
4,5 Oct	6.61E-04	11.84	119.46	31.82	15.14	9.57	132.96	40.96	8.23	14.97
5,6 Oct	9.55E-04	5.64	6.92	33.90	10.47	0.44	0.55	2.05	0.82	0.50
15-Oct	1.78E-04	15.51	16.42	9.36	56.23	1.31	17.17	1.23	0.82	0.50
30-Nov	3.39E-04	<L.D.	10.95	46.18	29.51	24.80	27.15	8.17	4.12	6.99
11-Dic	7.94E-04	202.48	60.54	104.00	12.59	182.70	34.35	3.58	26.34	42.42
15-Dic	9.12E-03	91.93	59.73	125.63	1.10	68.30	34.90	11.52	2.47	25.45
19-Dic	1.58E-04	29.61	36.06	136.24	63.10	48.02	72.02	11.78	36.21	45.91
23-Dic	1.58E-04	220.24	53.29	144.98	63.10	15.66	22.16	9.98	4.94	82.34
25-Dic	1.00E-04	25.94	31.40	69.68	100.00	31.76	16.07	5.38	4.12	21.46

---- Datos no determinados.

Figura 6.5. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004.

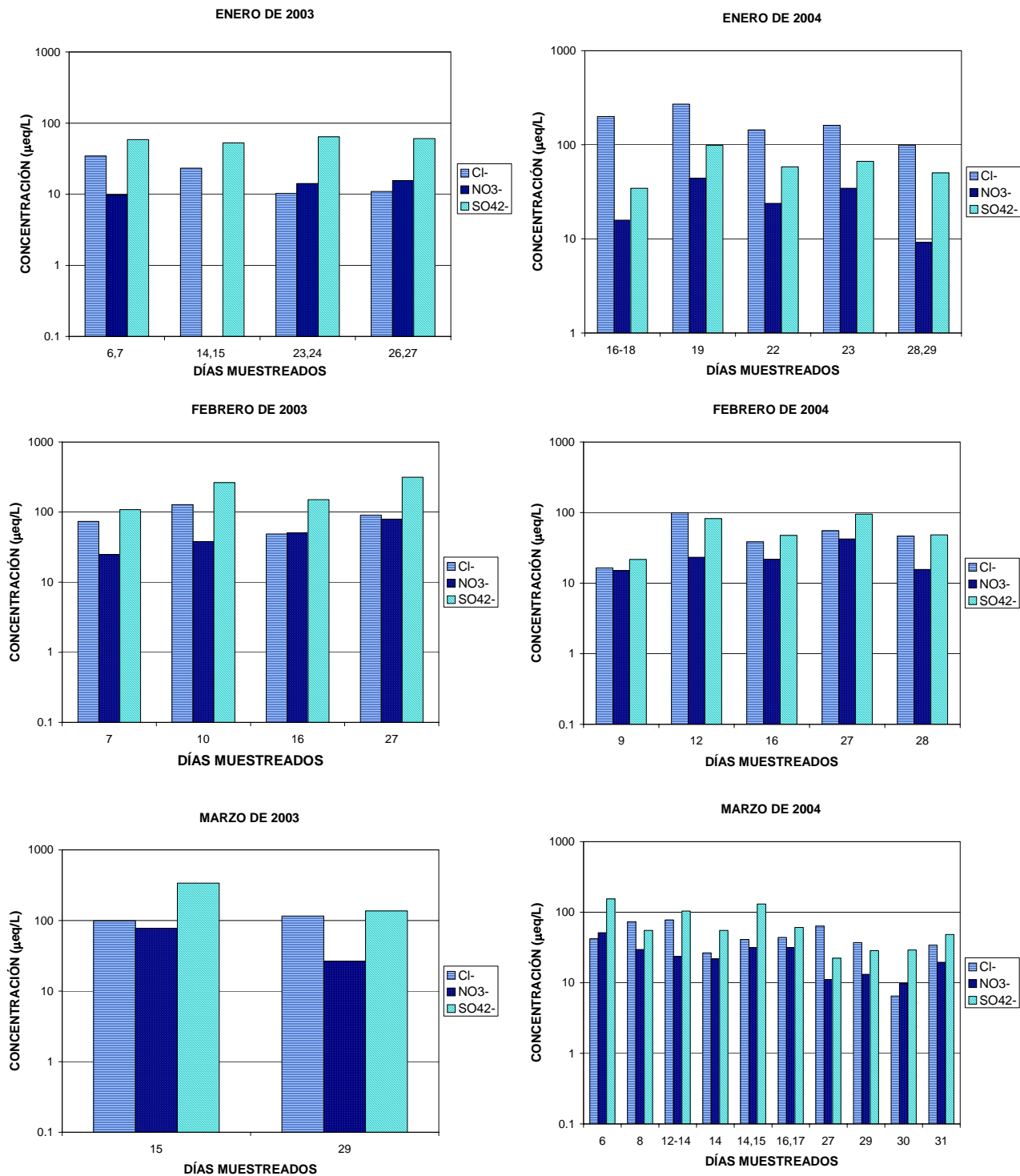


Figura 6.5. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

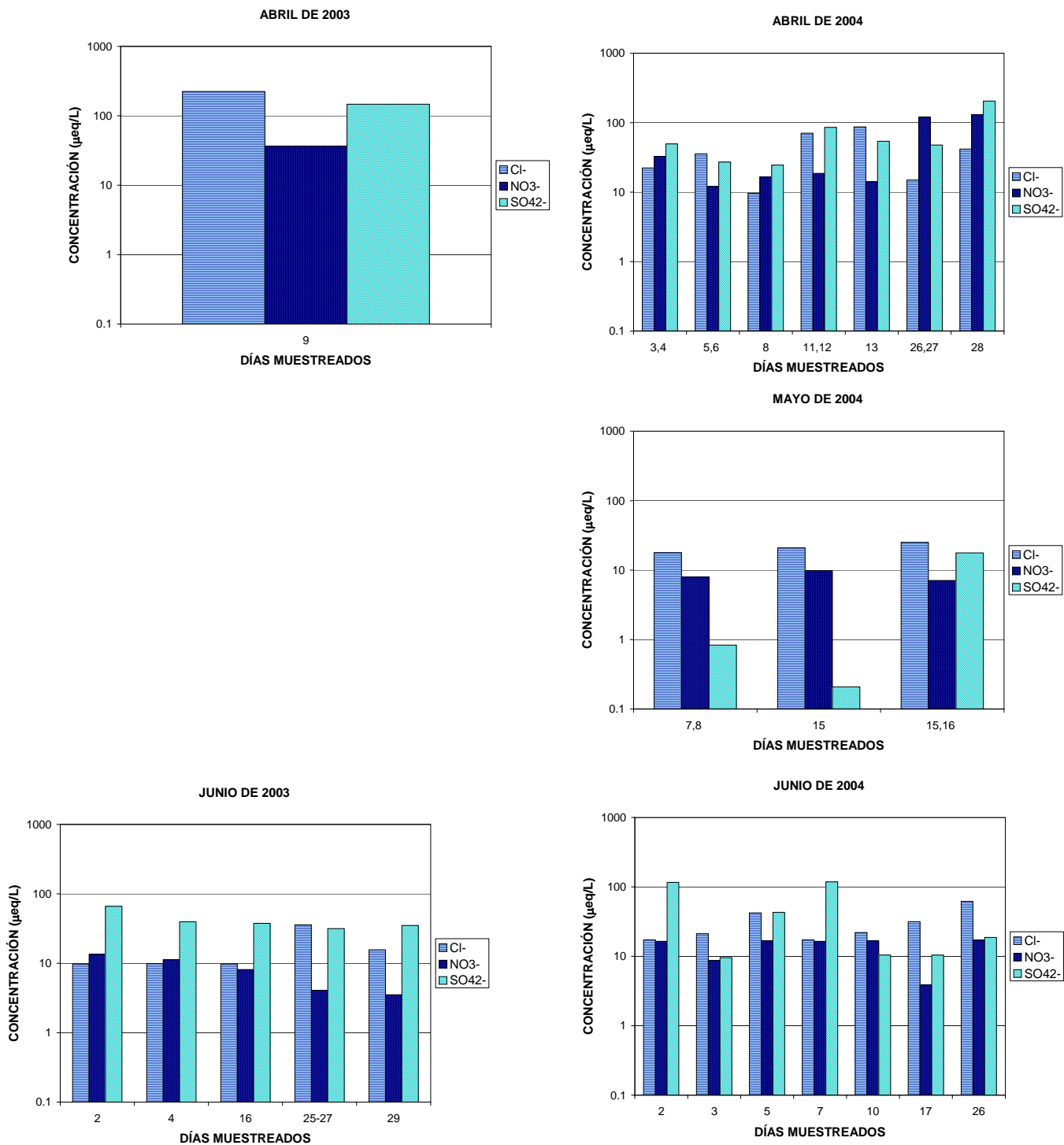


Figura 6.5. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

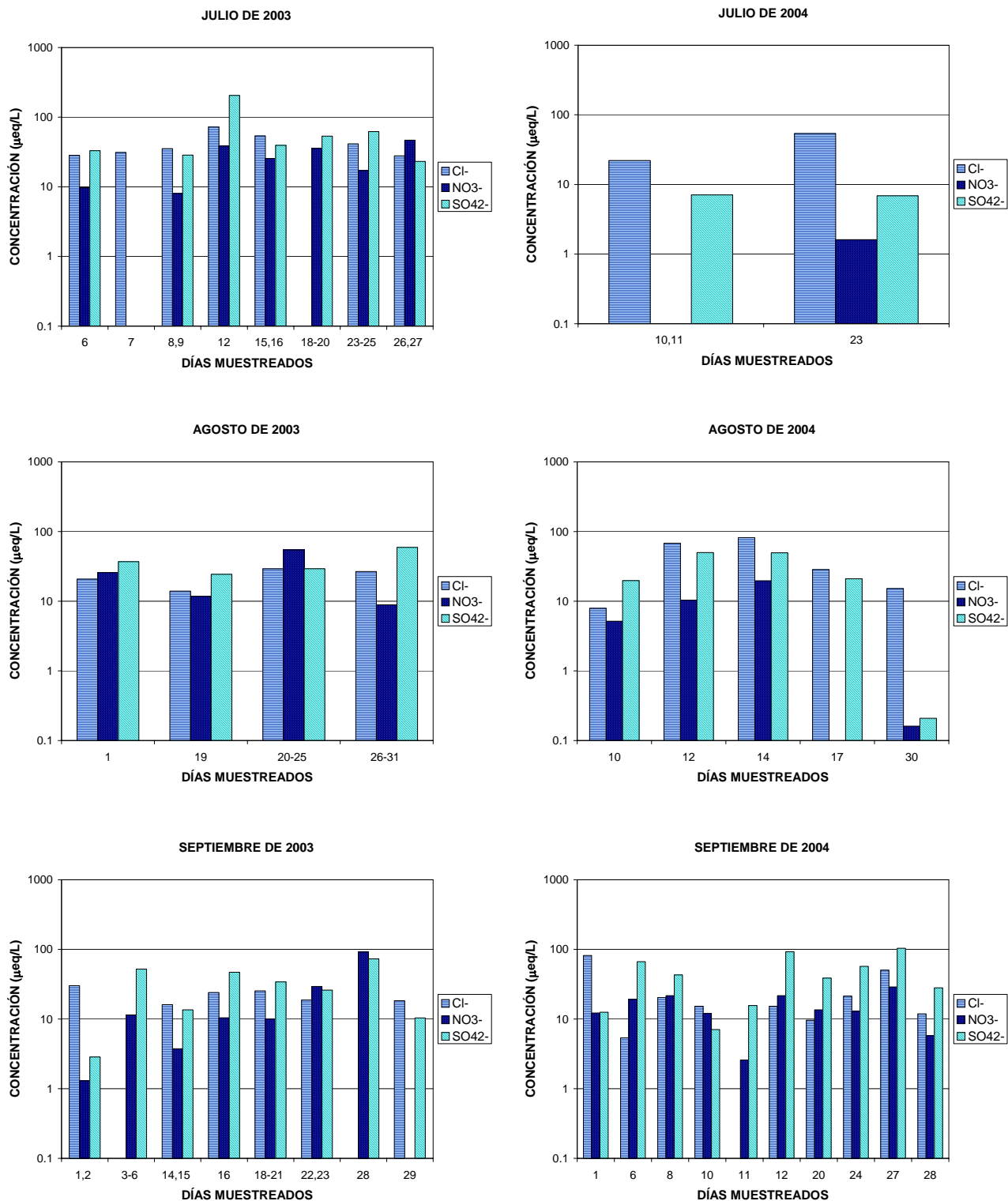


Figura 6.5. Concentraciones de aniones de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

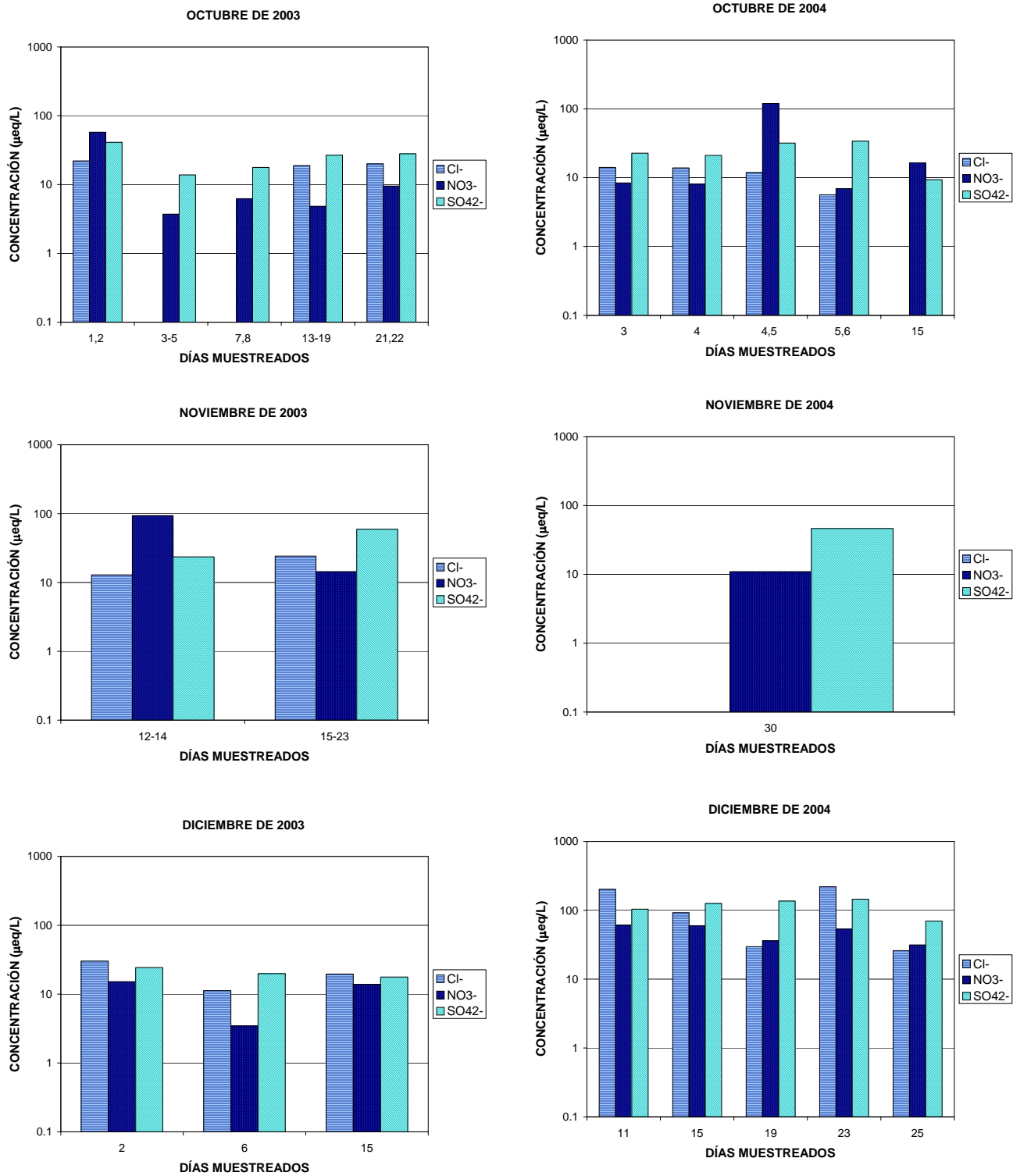


Figura 6.6. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004.

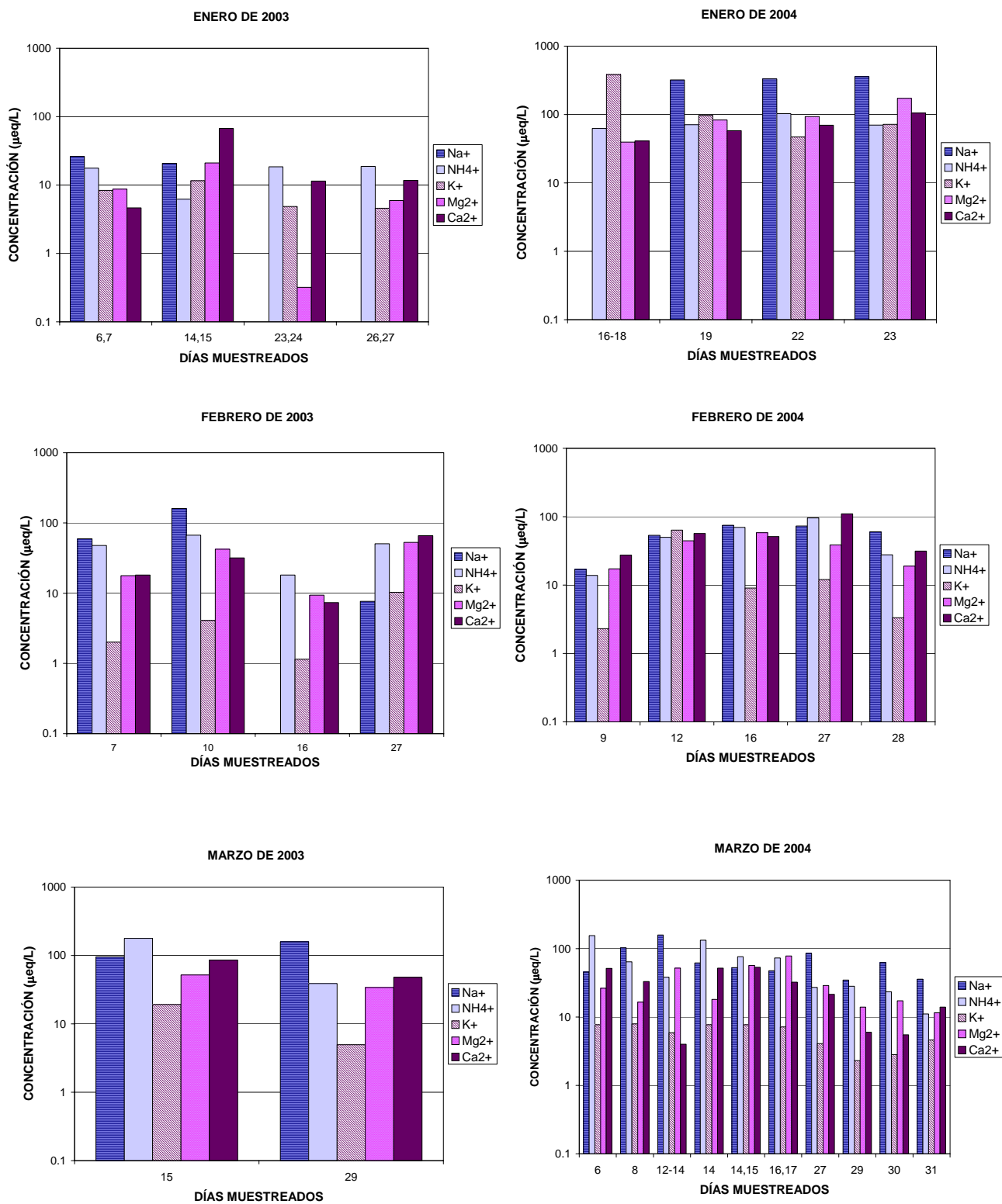


Figura 6.6. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

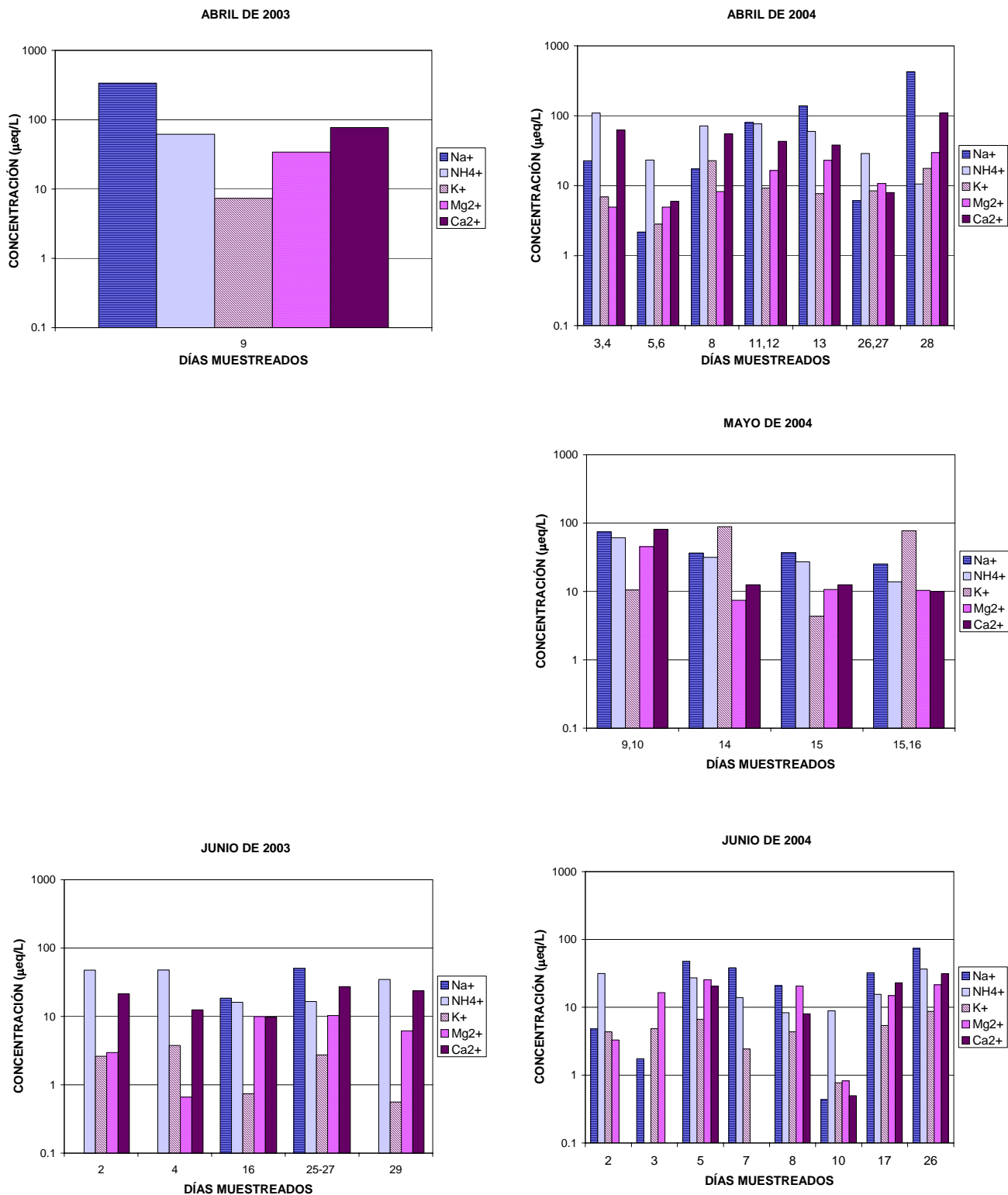


Figura 6.6. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

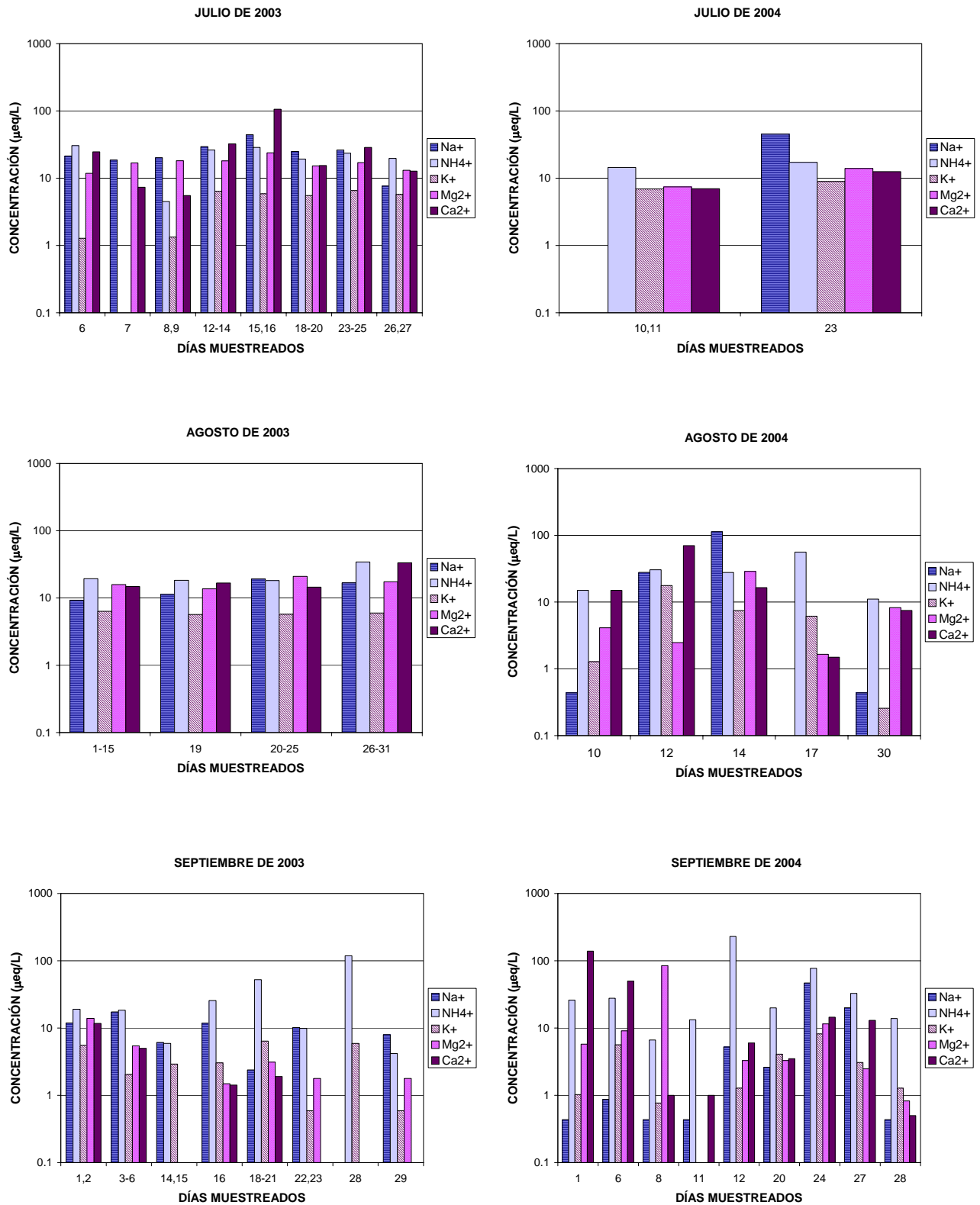


Figura 6.6. Concentraciones de cationes de las muestras de lluvia de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003 -2004. (Continuación).

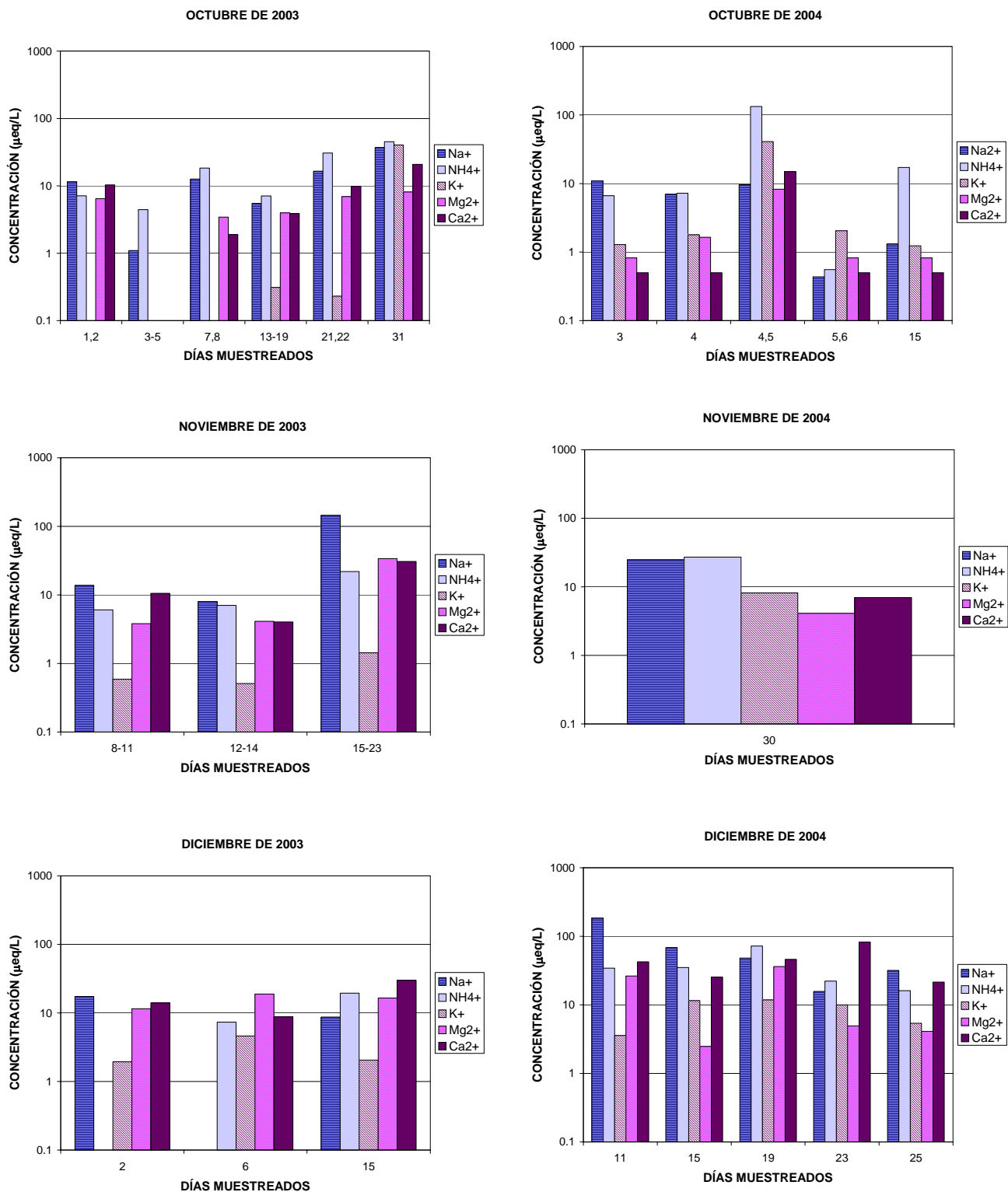


Figura 6. 7. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada anión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004.

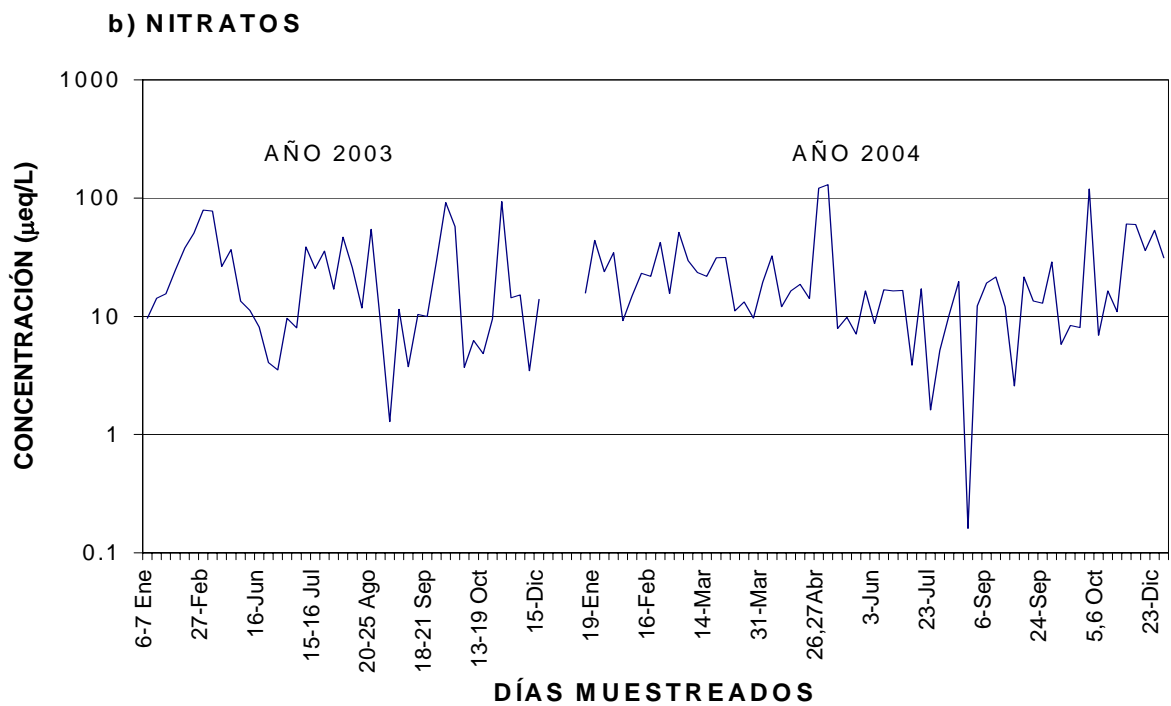
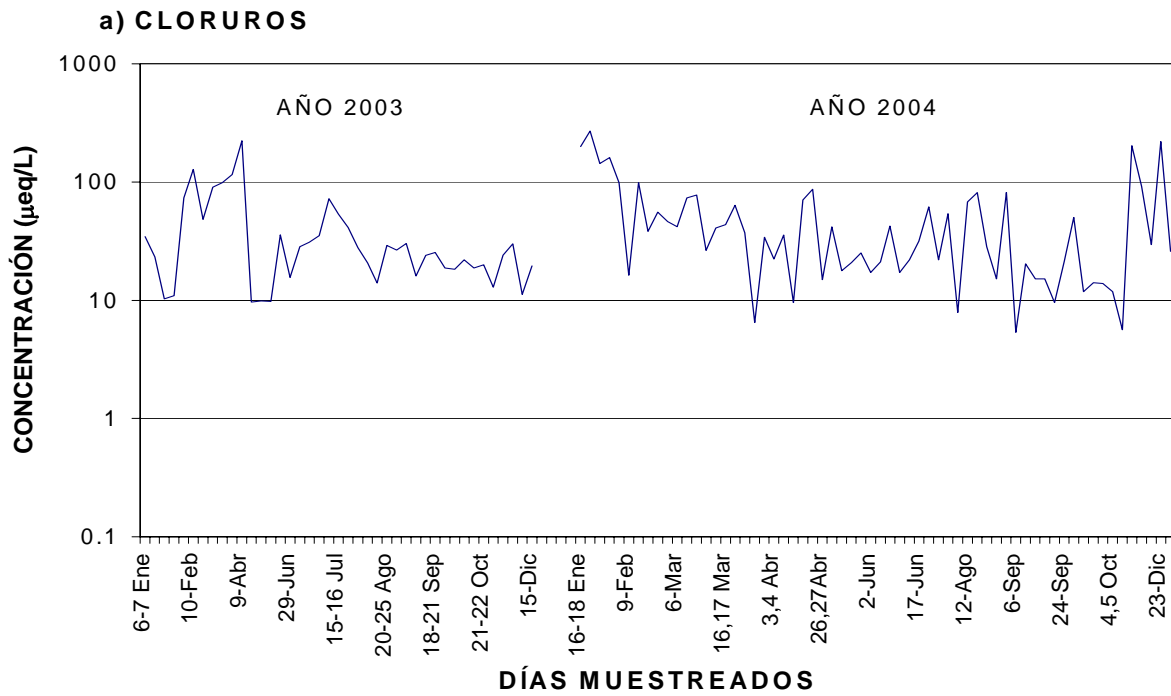


Figura 6. 7. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada anión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004. (Continuación)

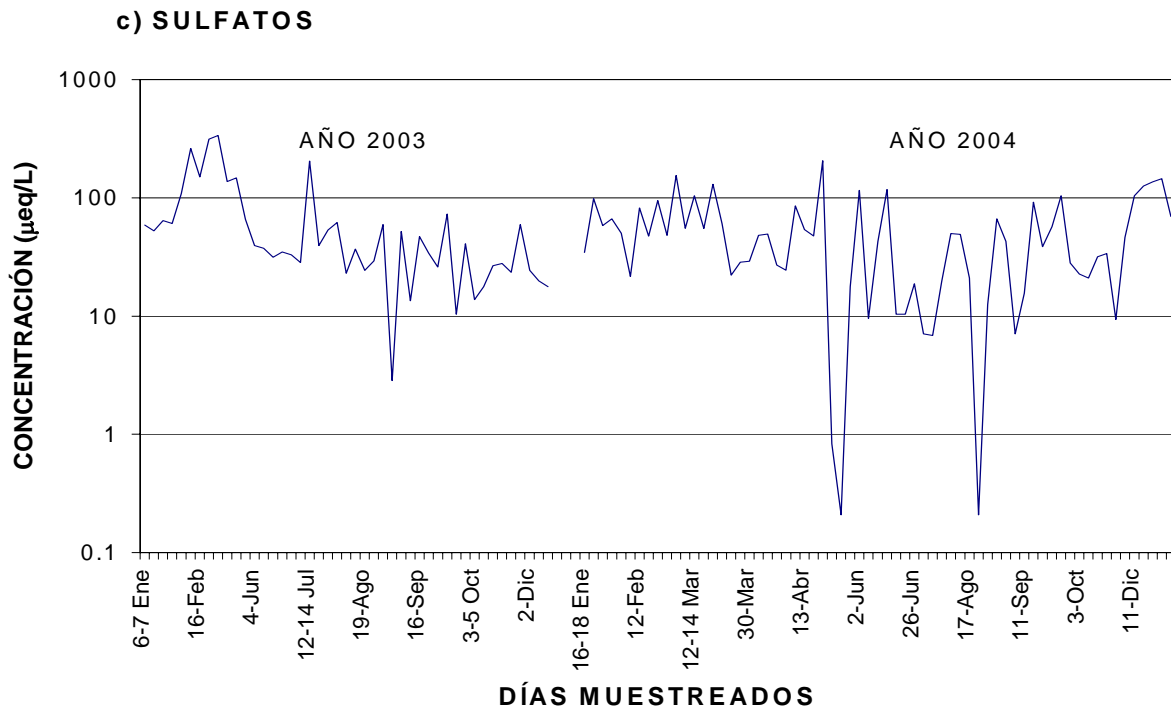


Figura 6.8. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004.

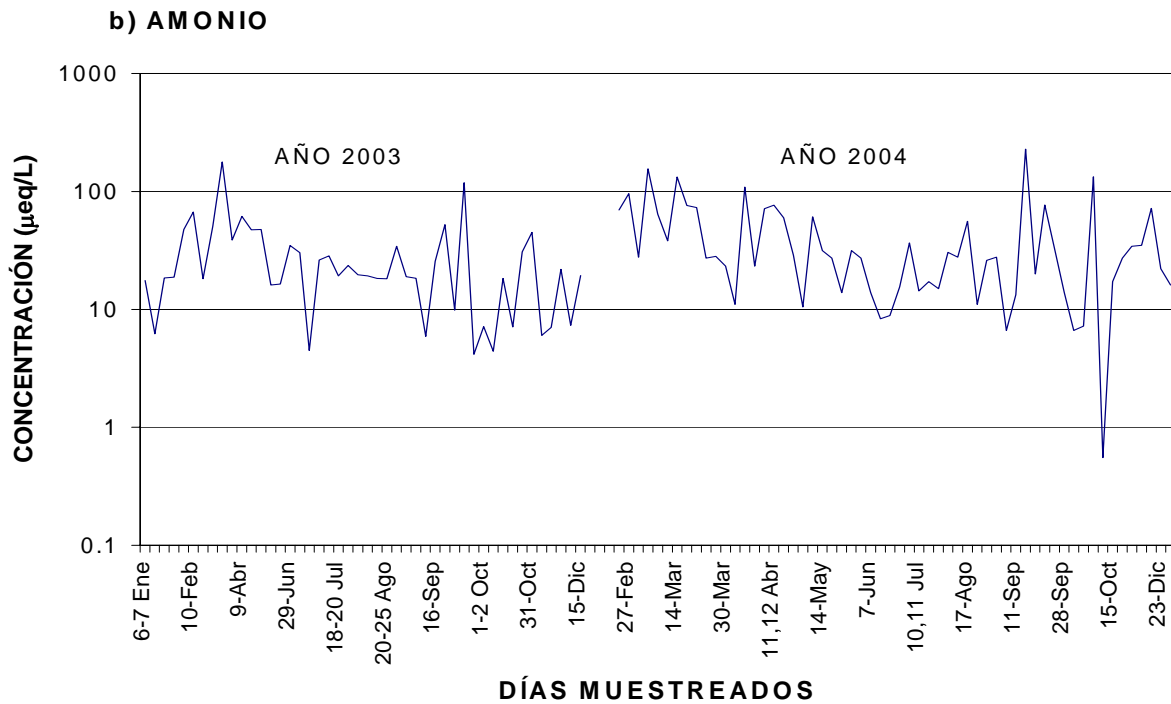
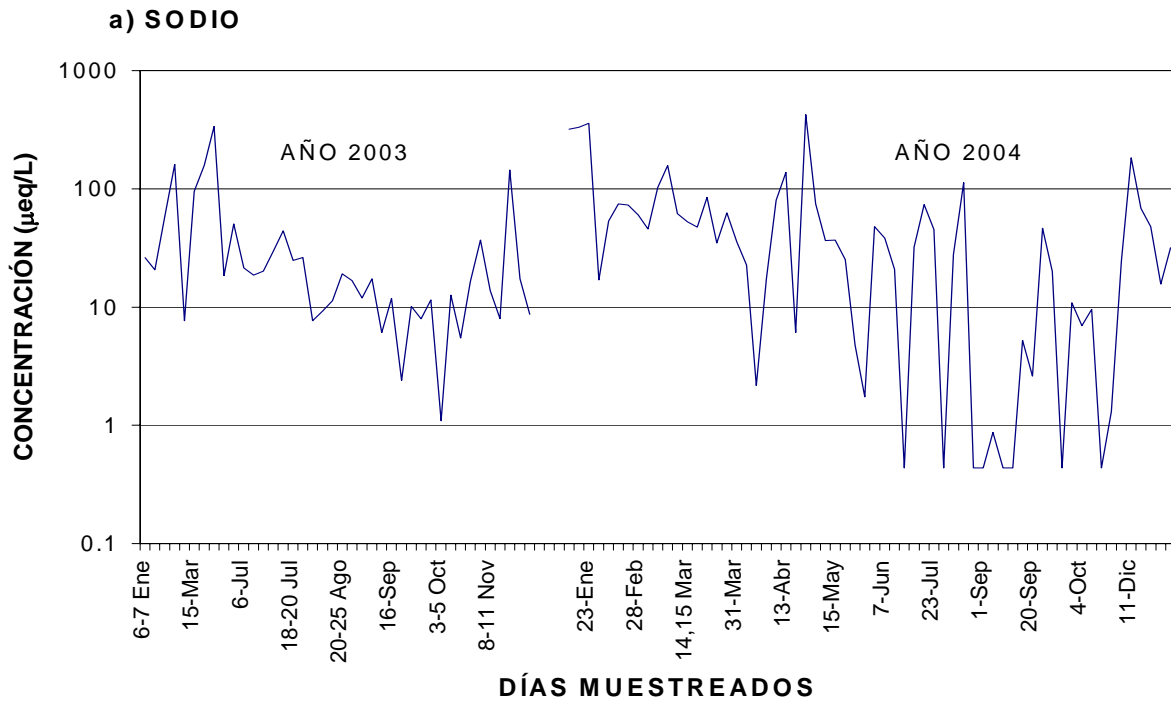


Figura 6.8. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004. (Continuación)

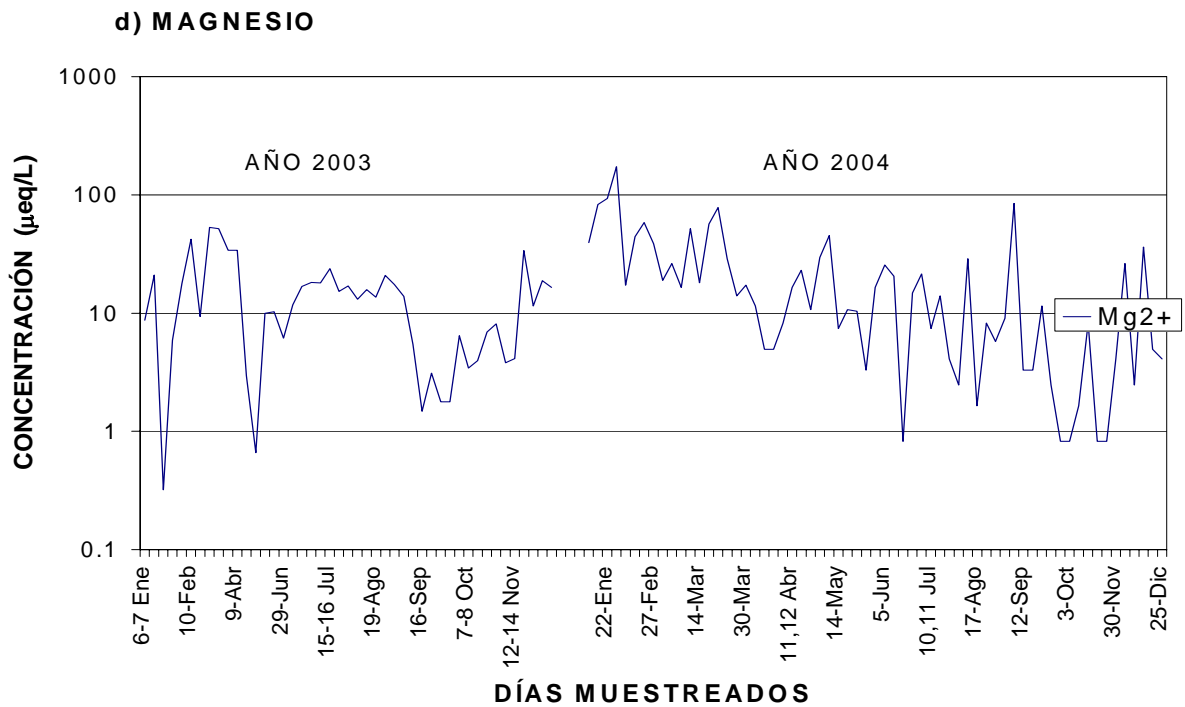
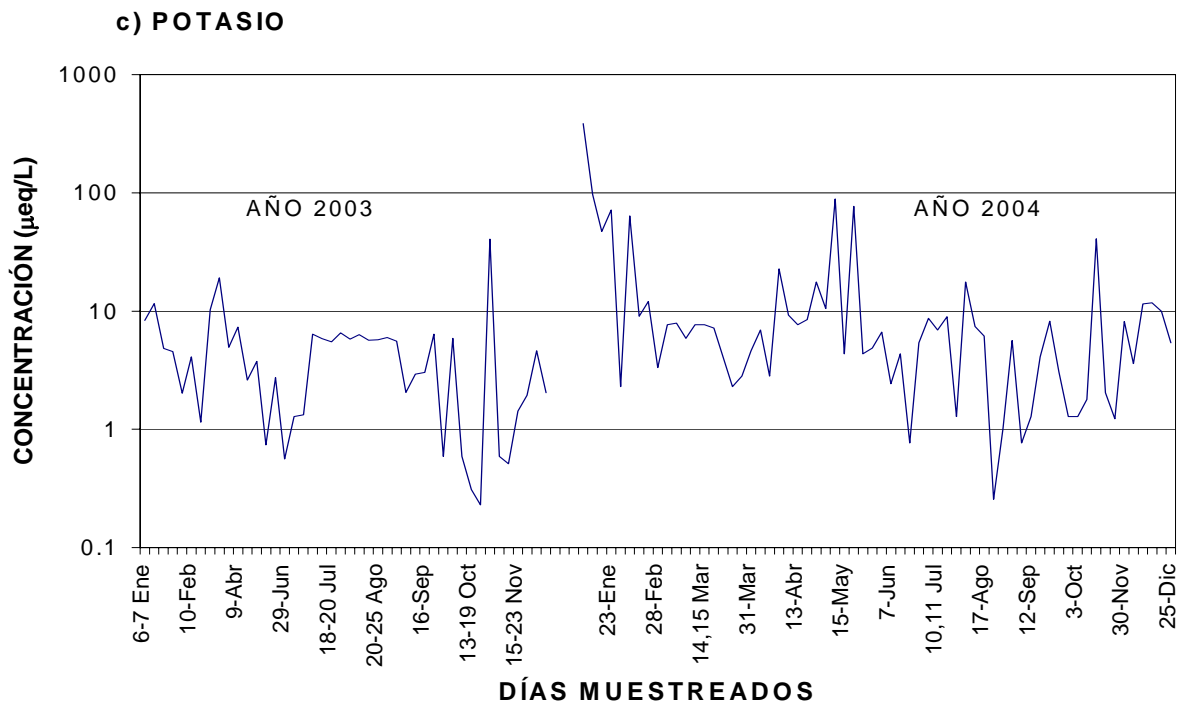
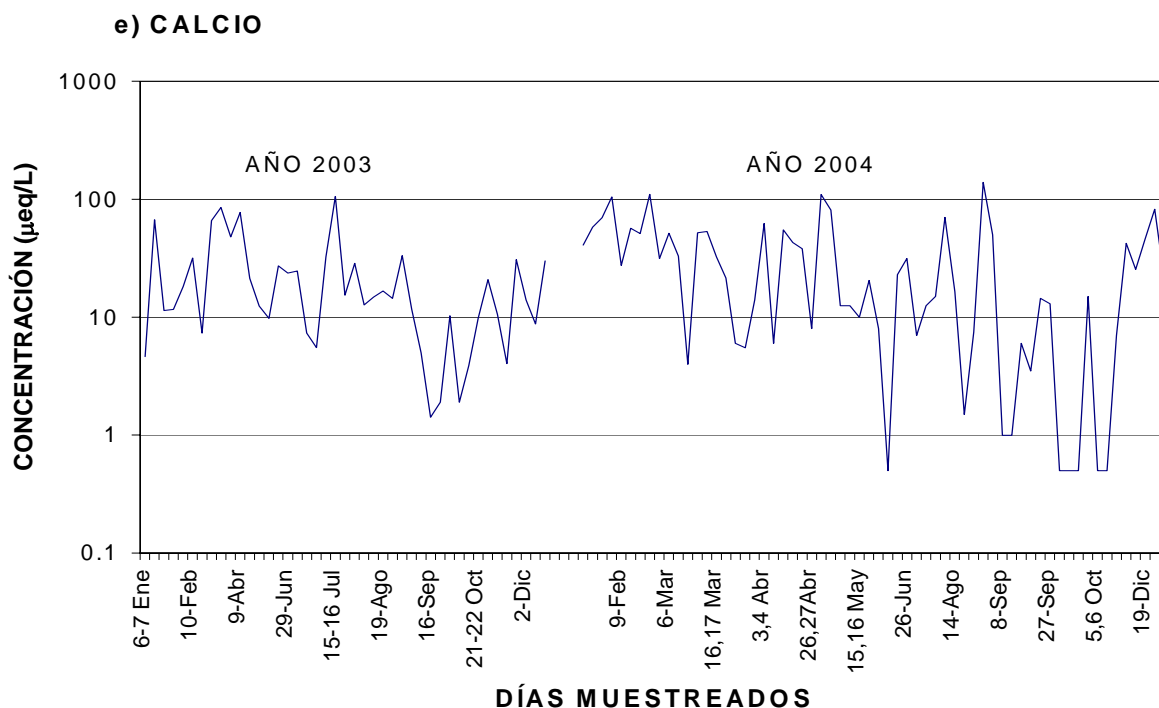


Figura 6.8. Concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de cada catión encontradas en las muestras de deposición húmeda en El Tajín para el periodo 2003-2004. (Continuación)



3.0.0.0. Balance iónico de las concentraciones de los iones en las muestras de lluvia.

Al igual que en los casos anteriores se hizo un balance iónico entre las concentraciones de aniones y cationes presentes en las muestras de lluvia de deposición húmeda correspondientes a El Tajín del periodo 2003-2004 para ver la relación que hay entre los equivalentes de cationes y aniones, en la tabla 6.14 y 6.15 se muestran los resultados. El balance se efectuó con las concentraciones ($\mu\text{eq/L}$) de las tablas 6.12 y 6.13. para obtener éste se utilizó la ecuación (2) de la sección 6.2.1.3, se sumaron las concentraciones de los cationes considerando su carga y se dividen entre la sumatoria de las concentraciones de los aniones considerando también la carga.

En las tablas no se presentan todos los balances iónicos debido a que algunas muestras no tienen los datos completos de aniones o cationes.

Tabla 6.14. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en El Tajín del año 2003.

Muestras	Σ^-	Σ^+	Σ^+/Σ^-
6-7 Ene	103.08	98.60	0.96
14-15 Ene	75.85	128.06	1.69
23-24 Ene	88.72	76.72	0.86
26-27 Ene	87.07	95.77	1.10
7-Feb	206.26	177.44	0.86
10-Feb	428.22	342.72	0.80
16-Feb	249.29	37.66	0.15
27-Feb	483.62	411.15	0.85
15-Mar	514.55	495.40	0.96
29-Mar	279.22	325.10	1.16
9-Abr	407.40	523.90	1.29
2-Jun	89.07	95.68	1.07
4-Jun	60.58	72.31	1.19
16-Jun	55.32	75.88	1.37
25-27 Jun	71.33	115.22	1.62
29-Jun	54.04	68.56	1.27
6-Jul	70.92	92.90	1.31
7-Jul	31.05	45.95	1.48
8-9 Jul	71.67	65.88	0.92
12-14 Jul	315.82	165.03	0.52
15-16 Jul	118.53	212.58	1.79
18-20 Jul	88.86	86.53	0.97
23-25 Jul	120.29	113.23	0.94
26-27 Jul	97.58	61.04	0.63
1-15 Ago	83.51	88.38	1.06
19-Ago	50.07	68.24	1.36
20-25 Ago	112.97	89.19	0.79
26-31 Ago	94.86	110.20	1.16
1-2 Sep	34.33	65.70	1.91
3-6 Sep	63.59	108.49	1.71
14-15 Sep	33.36	21.21	0.64
16-Sep	81.28	86.94	1.07
18-21 Sep	69.56	66.44	0.96
22-23 Sep	74.11	53.99	0.73
28-Sep	164.82	211.55	1.28
29-Sep	28.67	101.58	3.54
1-2 Oct	120.37	80.04	0.66
3-5 Oct	17.48	24.14	1.38
7-8 Oct	23.95	57.17	2.39
13-19 Oct	50.25	94.87	1.89
21-22 Oct	57.37	76.35	1.33
12-14 Nov	129.72	43.21	0.33
15-23 Nov	97.82	250.42	2.56
2-Dic	69.66	68.28	0.98
6-Dic	34.58	71.91	2.08
15-Dic	51.14	78.32	1.53

Tabla 6.15. Resultados del balance iónico de las concentraciones de los iones encontrados en las muestras de deposición húmeda en El Tajín del año 2004.

Muestras	Σ^-	Σ^+	Σ^+/Σ^-
16-18 Ene	249.71	562.72	2.25
19-Ene	413.27	679.66	1.64
22-Ene	225.89	686.15	3.04
23-Ene	261.75	835.99	3.19
9-Feb	52.96	98.26	1.86
12-Feb	204.33	290.95	1.42
16-Feb	107.51	335.04	3.12
27-Feb	192.79	404.05	2.10
28-Feb	110.12	196.38	1.78
6-Mar	247.34	379.53	1.53
8-Mar	158.27	237.57	1.50
12-14 Mar	205.34	408.78	1.99
14-Mar	103.36	282.57	2.73
14,15 Mar	202.49	375.22	1.85
16,17 Mar	135.79	294.57	2.17
27-Mar	96.82	175.45	1.81
29-Mar	78.92	105.75	1.34
30-Mar	45.27	131.45	2.90
31-Mar	101.86	137.11	1.35
3,4 Abr	104.31	212.01	2.03
5,6 Abr	74.65	41.18	0.55
8-Abr	50.56	182.18	3.60
11,12 Abr	174.66	280.04	1.60
13-Abr	155.10	314.67	2.03
26,27Abr	183.65	65.83	0.36
28-Abr	376.85	643.70	1.71
15-May	30.90	117.35	3.80
15,16 May	49.86	241.20	4.84
2-Jun	149.48	60.60	0.41
3-Jun	39.41	28.19	0.72
5-Jun	101.89	142.76	1.40
7-Jun	151.56	63.89	0.42
10-Jun	48.98	16.52	0.34
17-Jun	45.85	96.34	2.10
26-Jun	97.55	174.09	1.78
10,11 Jul	29.07	48.59	1.67
23-Jul	62.34	116.04	1.86
10-Ago	32.81	60.88	1.86
12-Ago	128.19	169.20	1.32
14-Ago	150.44	195.27	1.30
17-Ago	49.49	82.62	1.67
30-Ago	15.60	44.86	2.88
1-Sep	106.50	186.11	1.75
6-Sep	91.08	156.25	1.72
8-Sep	84.73	111.00	1.31
11-Sep	18.18	36.11	1.99
12-Sep	128.95	320.44	2.49
20-Sep	61.80	73.25	1.19
24-Sep	91.30	220.83	2.42
27-Sep	183.02	93.09	0.51
28-Sep	45.72	79.98	1.75
3-Oct	45.14	43.57	0.97
4-Oct	42.88	39.98	0.93
4,5 Oct	163.13	221.83	1.36
5,6 Oct	46.47	14.83	0.32
15-Oct	25.78	77.26	3.00
30-Nov	72.63	100.72	1.38
11-Dic	367.01	301.97	0.82
15-Dic	277.30	143.73	0.52
19-Dic	201.91	277.04	1.37
23-Dic	418.51	198.17	0.47
25-Dic	127.02	178.77	1.41

4.0.0.0. Ponderación de parámetros

Los resultados obtenidos de pH, conductividad, concentración de aniones y cationes fueron ponderados para determinar el valor real considerando el volumen de la muestra colectado durante un mes y durante todo el año. El valor ponderado para cada especie se obtiene a través de la ecuación (3) de la sección 6.2.1.4. En las tablas 6.16 y 6.17 se presentan los resultados de los dos periodos.

Tabla 6.16. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en El Tajín para el año 2003.

Muestras	pH Ponderado	Conductividad Teórica Ponderada ($\mu\text{S/cm}$)	Conductividad Experimental Ponderada ($\mu\text{S/cm}$)	Cl ⁻ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	NO ₃ ⁻ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	SO ₄ ²⁻ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	OH ⁻ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	Na ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	NH ₄ ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	K ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	Mg ²⁺ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	Ca ²⁺ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)	H ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq/L}$)
Enero	4.44	19.99	22.90	17.20	10.82	59.67	1.55E-03	8.69	15.74	6.77	7.97	22.47	35.91
Febrero	4.19	43.38	51.61	88.19	46.46	210.68	1.73E-03	67.04	47.05	4.13	30.70	29.36	64.41
Marzo	4.33	50.24	50.06	112.05	37.70	181.03	2.25E-04	144.84	69.25	8.05	37.93	56.04	46.29
Abril	5.12	54.35	56.22	223.51	36.72	147.16	1.32E-03	336.12	61.55	7.32	34.07	77.25	7.59
Junio	4.86	12.52	20.33	12.90	10.22	47.53	1.03E-03	7.40	39.28	2.58	4.12	17.81	13.91
Julio	5.07	12.42	13.55	32.32	24.53	37.21	2.59E-03	20.80	17.01	3.86	16.28	25.06	8.49
Agosto	4.73	15.37	15.65	21.95	27.88	36.77	9.65E-04	11.33	20.14	6.18	16.51	16.19	18.56
Septiembre	4.50	20.08	18.33	11.93	13.17	31.06	1.41E-03	9.86	20.58	2.42	2.69	1.92	31.77
Octubre	4.27	21.25	41.19	14.48	5.95	24.37	5.42E-04	9.48	12.53	4.75	4.03	5.38	53.35
Noviembre	4.66	11.61	18.79	16.96	64.60	36.56	5.31E-04	38.76	9.68	0.74	10.14	12.36	21.82
Diciembre	4.80	5.55	13.89	19.59	11.13	19.90	2.84E-03	8.19	11.28	2.78	16.00	19.96	15.87
AÑO	4.56	13.46	23.67	25.24	19.77	42.51	1.37E-03	23.73	21.16	3.68	9.75	13.99	28.07

Tabla 6.17. Resultados de los parámetros ponderados de la deposición húmeda en El Tajín para el año 2004.

Muestras	pH Ponderado	Conductividad Teórica Ponderada ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad Experimental Ponderada ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl ⁻ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	NO ₃ ⁻ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	SO ₄ ²⁻ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	OH ⁻ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	Na ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	NH ₄ ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	K ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	Mg ²⁺ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	Ca ²⁺ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)	H ⁺ Ponderado ($\mu\text{eq}/\text{L}$)
Enero	4.06	72.39	74.73	137.19	17.62	56.10	1.46E-04	261.35	79.46	138.75	96.77	68.43	86.78
Febrero	4.31	34.75	19.39	44.48	19.85	48.71	2.75E-04	54.29	44.74	14.04	36.21	44.46	48.90
Marzo	4.40	29.00	39.15	34.84	18.24	51.05	5.19E-04	65.08	47.83	4.70	26.35	20.46	40.07
Abril	4.58	30.09	38.56	43.91	49.88	65.11	1.44E-03	84.17	58.17	9.65	14.16	41.29	26.08
Mayo	4.58	25.25	25.83	20.65	8.71	3.58	1.65E-03	38.63	30.68	54.10	12.03	18.05	26.20
Junio	5.04	9.57	14.32	28.40	15.02	24.66	1.69E-03	18.02	14.08	3.28	9.85	7.63	9.17
Julio	4.85	10.39	12.56	28.82	0.35	7.03	7.28E-04	9.69	15.00	7.35	8.82	8.16	14.02
Agosto	4.82	14.58	17.36	36.61	6.44	25.12	1.80E-03	29.61	30.87	4.83	10.22	12.02	15.24
Septiembre	4.34	25.92	41.81	31.74	15.51	46.44	3.50E-04	7.64	40.42	3.02	8.63	46.96	45.38
Octubre	4.80	18.38	20.13	10.67	58.66	29.95	6.84E-04	7.16	62.61	19.63	4.24	7.11	15.92
Diciembre	4.36	42.05	45.60	125.58	49.81	114.53	1.90E-03	84.08	35.70	7.81	16.32	43.37	43.36
AÑO	4.51	23.15	30.36	37.32	25.26	40.60	9.40E-04	32.82	40.62	13.35	13.59	24.83	30.72

2.0. Deposición Seca.

1.0.0. Ciudad Universitaria

En la tabla 6.18 se presentan los valores de pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y cantidad del polvo ($\text{Ton}/\text{km}^2/\text{mes}$) de las muestras de cada mes de CU del periodo 2003-2004.

Tabla 6.18. Peso del polvo mensual ($\text{Ton}/\text{km}^2/\text{mes}$), pH y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las muestras de la deposición seca de CU del periodo 2003-2004.

MUESTRAS	PERIODO	pH	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TON/ Km^2 /MES
Enero	2003	3.23	469.04	2.57
	2004	7.49	300.48	3.19
Febrero	2003	7.25	69.59	2.72
	2004	7.29	167.78	4.50
Marzo	2003	7.17	101.43	4.47
	2004	6.85	201.79	4.13
Abril	2003	6.98	122.40	0.95
	2004	6.90	213.05	4.24
Mayo	2003	7.07	232.63	3.67
	2004	6.97	344.00	2.80
Junio	2003	6.84	112.22	1.21
	2004	6.23	158.50	1.72
Julio	2003	6.73	217.96	8.48
	2004	6.54	155.25	2.43
Agosto	2003	6.77	144.27	1.56
	2004	6.74	112.76	1.30
Septiembre	2003	7.31	146.89	1.61
	2004	6.84	159.44	1.38
Octubre	2003	6.89	198.26	1.91
	2004	7.28	207.90	1.66
Noviembre	2003	7.57	167.70	2.34
	2004	6.78	142.6	2.15
Diciembre	2003	7.49	300.48	3.19
	2004	6.73	154.18	1.67
Promedio anual			2003 2004	2.38 2.60

2.0.0. Zona Arqueológica de El Tajín.

En la tabla 6.19 se muestran los valores de pH, conductividad y cantidad de polvo en Ton/km²/mes de las muestras de deposición seca del periodo 2003-2004 en El Tajín. No hay datos del mes de abril y mayo del año 2004 debido a que las muestras se perdieron.

Tabla 6.19. Peso del polvo mensual (Ton/km²/mes), pH y conductividad (μS/cm) de las muestras de la deposición seca de El Tajín del periodo 2003-2004.

MUESTRAS	PERIODO	pH	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	TON / Km ² / MES
Enero	2003	6.26	126.00	2.75
	2004	7.02	196.30	1.89
Febrero	2003	6.78	146.61	2.60
	2004	6.53	331.18	3.05
Marzo	2003	7.28	170.55	5.40
	2004	7.38	124.74	1.59
Abril	2003	7.00	149.22	2.98
	2004	----	----	----
Mayo	2003	7.00	280.06	2.00
	2004	----	----	----
Junio	2003	6.99	183.30	1.25
	2004	6.45	63.20	0.83
Julio	2003	7.18	102.20	0.71
	2004	6.92	75.00	0.80
Agosto	2003	7.18	146.85	2.12
	2004	6.78	53.92	0.51
Septiembre	2003	7.35	49.75	0.80
	2004	6.66	44.00	0.78
Octubre	2003	7.14	82.02	0.77
	2004	6.61	69.00	0.41
Noviembre	2003	7.24	301.40	1.81
	2004	6.95	48.00	1.22
Diciembre	2003	7.43	252.23	2.89
	2004	7.32	219.54	1.30
Promedio anual			2003 2004	2.17 1.24

---- No hay reporte de datos debido a que las muestras se extraviaron

Este capítulo consistirá de cuatro secciones las cuales se indican a continuación:

- Evaluación de resultados de la deposición húmeda.
- Evaluación de resultados de la deposición seca.
- Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda con iones típicos de agua marina
- Comparación entre CU y El Tajín con respecto al balance iónico de las especies cuantificadas.

La evaluación de resultados de la deposición húmeda se llevó a cabo con los valores ponderados para cada mes y año de los parámetros analizados de pH, conductividad experimental y teórica, aniones (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) y cationes (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) de las muestras de lluvia en los sitios de muestreo estudiados y para el periodo 2003-2004.

El valor resultante de las ponderaciones se debe en mayor parte a la contribución de la lluvia con las concentraciones de los iones durante los meses más lluviosos de junio a septiembre de manera que los resultados son determinados por la relación de la cantidad de lluvia de cada evento y el valor del parámetro.

+.% Deposición húmeda.

+.%% Ciudad Universitaria.

+.%%% Variación del pH ponderado.

En la figura 7.1. se muestra el pH ponderado de las muestras de deposición húmeda para CU del periodo 2003-2004. Se observa que el pH ponderado es ligeramente más ácido en el 2003 en comparación con el 2004, para el primer año fue de 5.02 y para el segundo fue de 5.20. En el año 2003 se encontraron valores de pH's ponderados ácidos y alcalinos, se ubicaron en un intervalo de 4.41-6.80, los meses de marzo, abril, junio, agosto, septiembre y octubre mostraron valores inferiores al pH considerado normal (5.6) mientras que mayo, julio y noviembre mostraron valores superiores. En el año 2004 también se encontraron valores de pH ponderado ácidos y alcalinos en un intervalo de 4.98-5.98, en marzo, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre se encontraron valores inferiores al pH de 5.6 mientras que en enero el valor fue superior a dicho pH.

En enero del año 2003 no se registraron eventos de lluvia, en cambio en el mismo mes del año 2004 se registro un pH ponderado de 5.98. En abril y noviembre del 2004 no se registraron eventos de lluvia, en cambio, en abril del 2003 el pH ponderado fue de 4.73 y en noviembre de 6.02.

Como se muestra en la tabla 6.2 se presentaron eventos tanto ácidos como alcalinos, de los 49 muestreos que se registraron en el 2003 solamente 15 de ellos presentaron valores inferiores al pH considerado normal (5.6) mientras que 34

mostraron valores superiores. En el año 2004 se registraron 54 muestreos de agua de lluvia de los cuales 12 de ellos tuvieron valores inferiores al pH de 5.6 mientras que 36 muestreos mostraron valores superiores, un muestreo tuvo un valor de 5.6 tal y como se observa en los datos presentados en el capítulo de resultados.

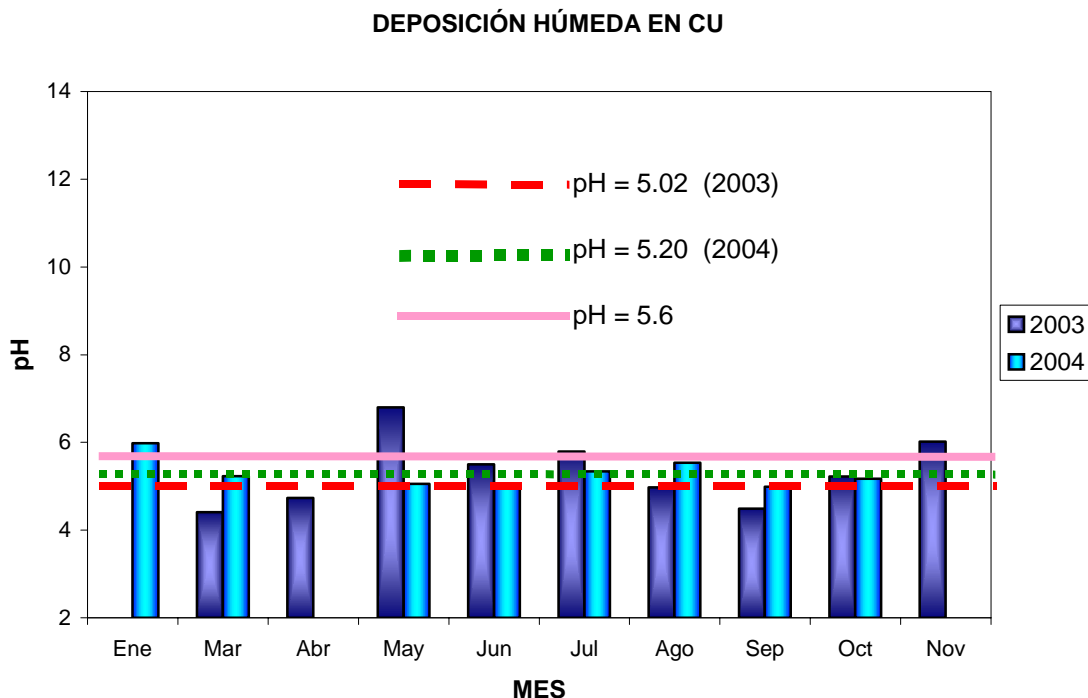


Figura 7.1. Valores ponderados de pH de las muestras de deposición húmeda para CU.

+.%&& **Variación de la conductividad ponderada**

I. **Conductividad experimental y teórica del año 2003.**

En la figura 7.2a se muestra la conductividad ponderada teórica y experimental de las muestras de deposición húmeda de CU del año 2003, se observa que en los primeros meses secos de marzo, abril y mayo se encontraron los valores de conductividad más altos de todo el año, el valor máximo para ambas conductividades se registro en el mes de mayo, para la conductividad experimental fue de 62.49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que para la teórica fue de 55.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$; además en este mes se presentaron los valores más altos de las concentraciones de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} . El valor mínimo se presentó en el mes de octubre para ambas conductividades en la teórica el valor fue de 11.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que la experimental fue de 17.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El valor de la conductividad experimental ponderada fue de 26.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que para la teórica fue de 19.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto indica que el 73.1% de los iones que participaron en la conductividad se analizaron.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU 2003

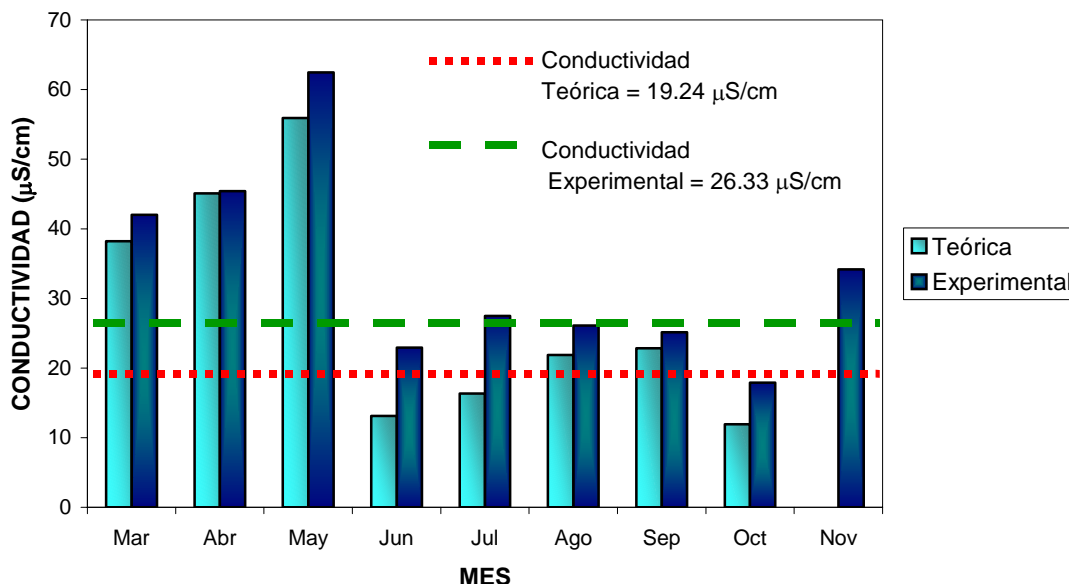


Figura 7.2a. Valores ponderados de la conductividad experimental y teórica de las muestras de deposición húmeda para CU del año 2003.

II. Conductividad experimental y teórica del año 2004.

En la figura 7.2b se presenta la conductividad ponderada experimental y teórica del año 2004. Se observa que la máxima conductividad experimental y teórica se presentó en el mes de mayo, en la primera el valor fue de $65.51 \mu\text{S/cm}$ mientras que en la segunda fue de $69.84 \mu\text{S/cm}$. Es también en este mes donde se registraron las concentraciones ponderadas máximas de NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ y Ca^{2+} . La mínima conductividad experimental se presentó en el mes de agosto con un valor de $22.43 \mu\text{S/cm}$ mientras que la teórica se presentó en julio con un valor $12.42 \mu\text{S/cm}$.

La conductividad experimental ponderada fue de $29.79 \mu\text{S/cm}$ mientras que la teórica fue de $20.76 \mu\text{S/cm}$, esta última es menor lo que indica que el 69.7 % de los iones que participaron en la conductividad fueron determinados.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU 2004

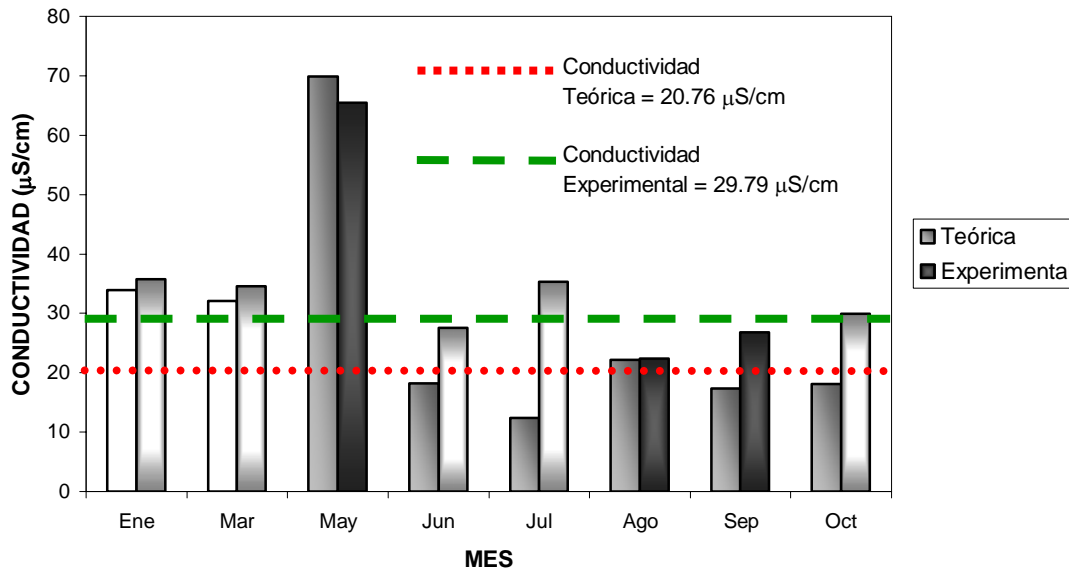


Figura 7.2b. Valores ponderados de la conductividad experimental y teórica de las muestras de deposición húmeda para CU del año 2004.

III. Conductividad experimental del año 2003 y 2004.

En la figura 7.2c se presenta la conductividad ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU del periodo de análisis 2003-2004, hubo un pequeño incremento en la conductividad ponderada anual del 2003 al 2004, para el primer año fue de 26.33 $\mu\text{S/cm}$ y para el segundo fue de 29.79 $\mu\text{S/cm}$. Además también se observa que en los meses secos de enero a mayo la conductividad tiene valores altos mientras que en los meses de junio a octubre los valores son menores.

No hay datos ponderados para el mes de enero del 2004 y abril y noviembre para el 2003. Para ambos años la máxima conductividad se presentó en el mes de mayo, en el 2003 fue de 62.49 $\mu\text{S/cm}$, mientras que en el 2004 fue de 65.51 $\mu\text{S/cm}$. La mínima conductividad en el 2003 se presentó en el mes de octubre con un valor de 17.90 $\mu\text{S/cm}$ mientras que para el 2004 fue en agosto con un valor de 22.43 $\mu\text{S/cm}$.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

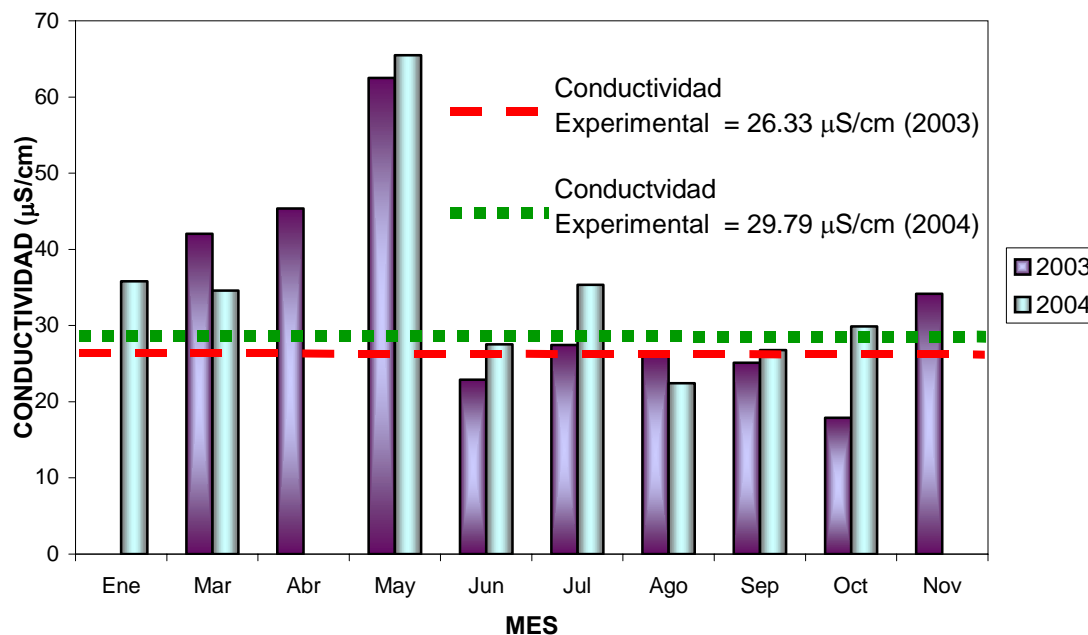


Figura 7.2c. Valores ponderados de la conductividad experimental de las muestras de deposición húmeda en CU para el periodo 2003-2004.

7.1.2.3. Variación de las concentraciones ponderadas de los iones principales en las muestras de lluvia.

En las tablas 6.8 y 6.9 se muestran los resultados de las concentraciones ponderadas para cada mes del periodo de muestreo de CU de los iones principales: Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} .

En las figuras 7.3 a 7.5 se muestran las concentraciones ponderadas en $\mu\text{eq/L}$ de los iones Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , que se analizaron en las muestras de deposición húmeda de CU del periodo 2003-2004.

El cloruro presentó la concentración ponderada por año más pequeña de los aniones de deposición húmeda en CU, en el 2003 fue de $11.88 \mu\text{eq/L}$ mientras que en el 2004 fue de $14.85 \mu\text{eq/L}$. En el mes de noviembre se observó la concentración máxima del año 2003 de Cl^- con un valor de $50.76 \mu\text{eq/L}$ y la mínima se encontró en septiembre con un valor de $4.14 \mu\text{eq/L}$. En el 2004 la concentración máxima se presentó en enero con un valor de $40.89 \mu\text{eq/L}$ y la mínima en julio con un valor de $5.81 \mu\text{eq/L}$.

El NO_3^- se encontró en los valores intermedios de las concentraciones ponderadas anuales. En la figura 7.4 se observa que la concentración ponderada anual para ambos años fue semejante, $46.55 \mu\text{eq/L}$ y $45.38 \mu\text{eq/L}$ respectivamente. En mayo para ambos se presentó la máxima concentración, en el 2003 fue de $139.27 \mu\text{eq/L}$ mientras que en el año 2004 fue de $265.33 \mu\text{eq/L}$. La mínima concentración para el año 2003 se registró en noviembre con un valor de $1.26 \mu\text{eq/L}$, mientras que en el año 2004 la mínima se presentó en septiembre con un valor de $21.41 \mu\text{eq/L}$. El ion nitrato que se encuentra en el agua de lluvia proviene de

la transformación del NO₂ a ácido nítrico que es un componente de la lluvia ácida, el NO₂ es originado por fuentes antropogénicas debido a los procesos de combustión en vehículos automotores, industrias y servicios, además es emitido por la actividad bacteriana, descargas eléctricas y la quema de terrenos.

El SO₄²⁻ fue el anión que presentó las concentraciones ponderadas más altas en ambos años de análisis, causando una ligera acidez en el agua de lluvia, en el 2003 fue de 62.48 µeq/L y en el 2004 fue de 62.99 µeq/L. La concentración máxima para ambos años se presentó en mayo, para el 2003 fue de 193.73 µeq/L mientras que para el 2004 fue de 260.86 µeq/L. La mínima concentración para ambos años fue en el mes de septiembre, para el 2003 el valor fue 45.23 µeq/L mientras que para el 2004 fue de 35.20 µeq/L. Las concentraciones del sulfato pueden afectar el pH del agua de lluvia, la presencia de sulfato en la lluvia es resultado de la liberación de aerosoles de sulfato y de gases atmosféricos de compuestos de azufre. El H₂S y SO₂ son producto de la combustión de combustibles fósiles, incendios, actividad volcánica y biológica.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

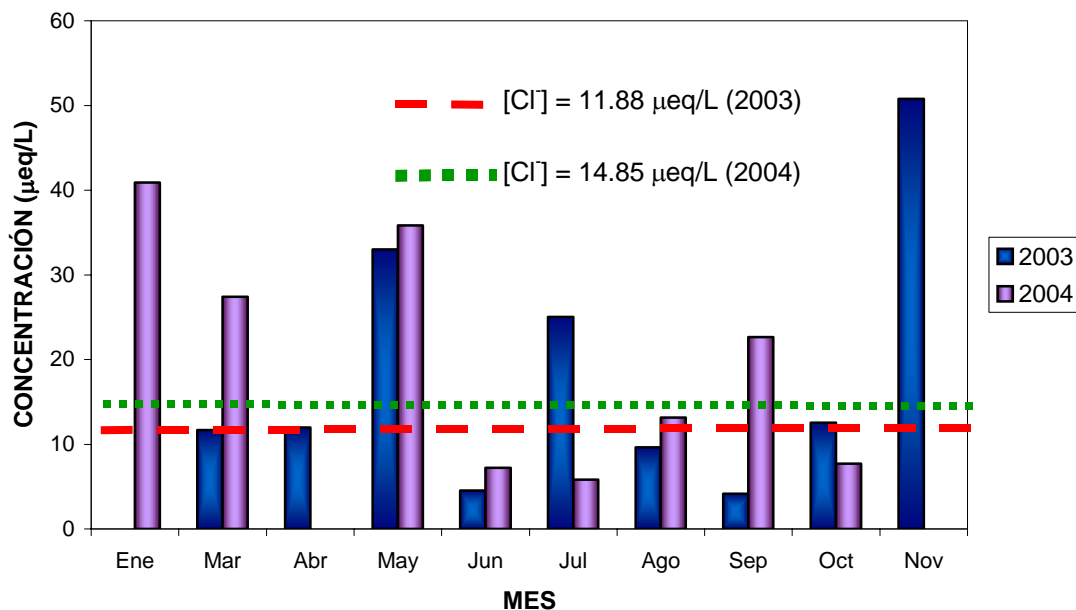


Figura 7.3. Concentración de cloruros ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

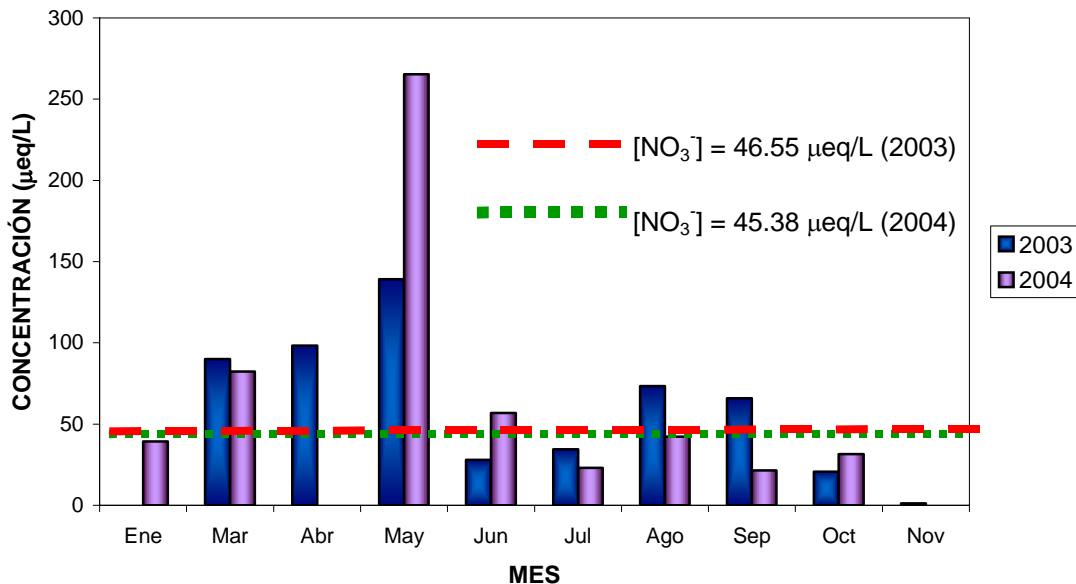


Figura 7.4. Concentración de nitratos ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

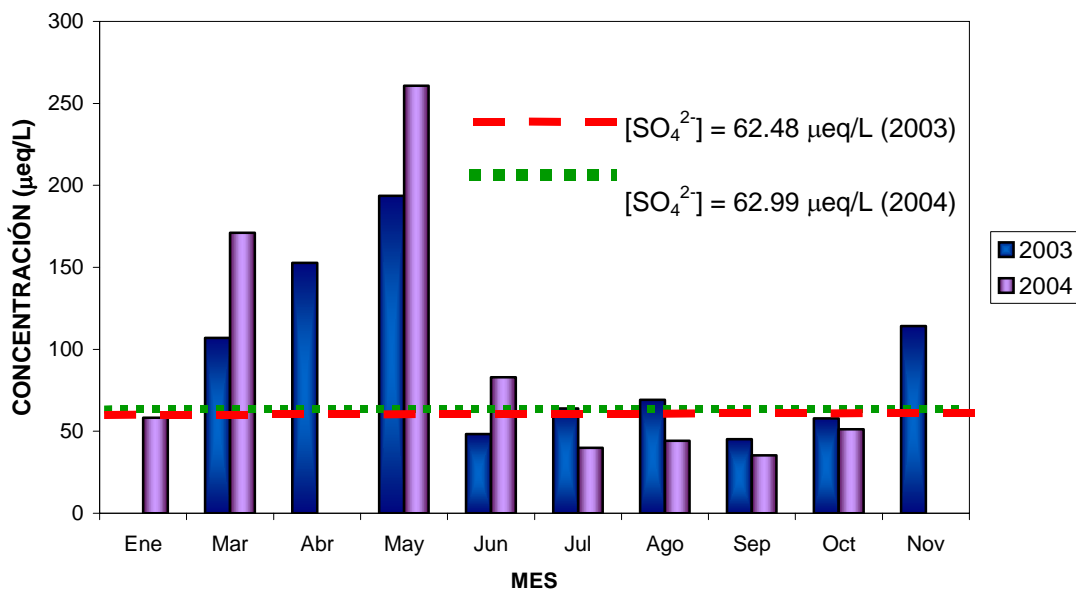


Figura 7.5. Concentración de sulfatos ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

En las figuras 7.6 a 7.10 se muestran las concentraciones ponderadas de los cationes: Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} de las muestras de lluvia ácida de deposición ácida de CU del periodo 2003-2004.

El catión que se encontró en penúltimo lugar en cuanto a la menor proporción para ambos años fue Na^+ . La concentración ponderada del 2003 fue de $4.73 \mu\text{eq/L}$, fue similar a la del 2004 la cual tuvo un valor de $4.77 \mu\text{eq/L}$. En la figura 7.6 se observa que octubre del 2003 se encuentra la concentración máxima con un valor de $23.68 \mu\text{eq/L}$, la mínima se encontró en junio con un valor de $0.67 \mu\text{eq/L}$. Para el 2004 la máxima concentración estuvo en enero con un valor de $63.08 \mu\text{eq/L}$ mientras que la mínima en octubre con un valor de $0.74 \mu\text{eq/L}$. Este elemento en agua de lluvia se relaciona principalmente con la deposición atmosférica de partículas en los periodos secos.

El amonio fue el catión que presentó las concentraciones más altas de la deposición húmeda en CU. Como se ve en la figura 7.7, en el 2003 la concentración ponderada máxima se registró en el mes de mayo con un valor de $325.20 \mu\text{eq/L}$ y la mínima en octubre con un valor de $32.41 \mu\text{eq/L}$. En el 2004 la máxima concentración ponderada se registro también en mayo con un valor de $237.11 \mu\text{eq/L}$ y la mínima en julio con un valor de $67.80 \mu\text{eq/L}$. Como vemos las concentraciones más altas se mostraron en el mes de mayo de ambos años. La concentración ponderada anual del 2003 fue menor en comparación con el 2004 con valores de $82.69 \mu\text{eq/L}$ y $110.55 \mu\text{eq/L}$ respectivamente. El amonio en la atmósfera esta relacionado con el uso de fertilizantes y como sabemos en CU hay varias zonas boscosas por lo que se emplea este tipo de compuestos para el cuidado de las áreas verdes, además se emplea agua tratada de riego que contiene una gran cantidad de amonio. También el amonio es producto de procesos industriales como en la elaboración de alimentos y forrajes por lo que es otra causa que provoca un incremento en las concentraciones de amonio en CU ya que la estación de monitoreo esta cerca de la Facultad de Veterinaria, en menor cantidad también proviene del tráfico vehicular, combustión del carbón, actividad bacteriana y de la respiración humana. El amonio junto con el nitrato contribuyen a la deposición total del nitrógeno en el agua de lluvia.

El K^+ fue el ion que se encontró en menor proporción en CU, el valor ponderado anual fue semejante para ambos años. En el año 2003 la concentración fue de $3.68 \mu\text{eq/L}$ y en el 2004 fue de $3.97 \mu\text{eq/L}$. La máxima concentración durante el 2003 se presento en mayo ($16.21 \mu\text{eq/L}$) mientras que la mínima en junio ($0.84 \mu\text{eq/L}$). La concentración máxima del 2004 se presento en enero ($13.57 \mu\text{eq/L}$) mientras que la mínima en julio ($1.51 \mu\text{eq/L}$). El potasio en agua de lluvia se relaciona con los incendios forestales y tolvaneras de la época de sequía.

La concentración ponderada anual del Mg^{2+} para el año 2003 fue mayor en comparación con el 2004 sus valores fueron $14.13 \mu\text{eq/L}$ y $10.22 \mu\text{eq/L}$ respectivamente. La máxima concentración ponderada en el 2003 se presentó en el mes de septiembre con un valor de $30.68 \mu\text{eq/L}$ y la mínima en el mes de mayo con $0.57 \mu\text{eq/L}$. En el año 2004, la máxima concentración fue de $55.14 \mu\text{eq/L}$ en el mes de enero y las mínimas en agosto y septiembre en un rango de 4.62 - $4.63 \mu\text{eq/L}$. El magnesio se encuentra en forma abundante en la naturaleza como lo es en las plantas, en el agua de mar y en la corteza terrestre.

El calcio es el segundo de los cationes que presentó las concentraciones más altas de las muestras de deposición seca en CU. La concentración ponderada del 2003 fue menor ($41.80 \mu\text{eq/L}$) en comparación con el 2004 ($62.99 \mu\text{eq/L}$). En el 2003 la concentración ponderada máxima se presentó en mayo con un valor de $225.27 \mu\text{eq/L}$ y la mínima en septiembre con un valor de $15.84 \mu\text{eq/L}$. En el año 2004, el valor máximo de la concentración ponderada se presentó en el mes de mayo con un valor de $295.57 \mu\text{eq/L}$ mientras que la mínima fue en junio con un valor de $26.98 \mu\text{eq/L}$. Como se observa en la figura 7.10 en el mes de mayo se presentaron las máximas concentraciones de Ca^{2+} para ambos años de análisis. El calcio se encuentra en la naturaleza, en las rocas sílicas, en el esqueleto de los vertebrados, sus compuestos son muy utilizados en los materiales de construcción. Su presencia en la atmósfera se relaciona con las partículas provenientes de suelos erosionados y carentes de cubierta vegetal.

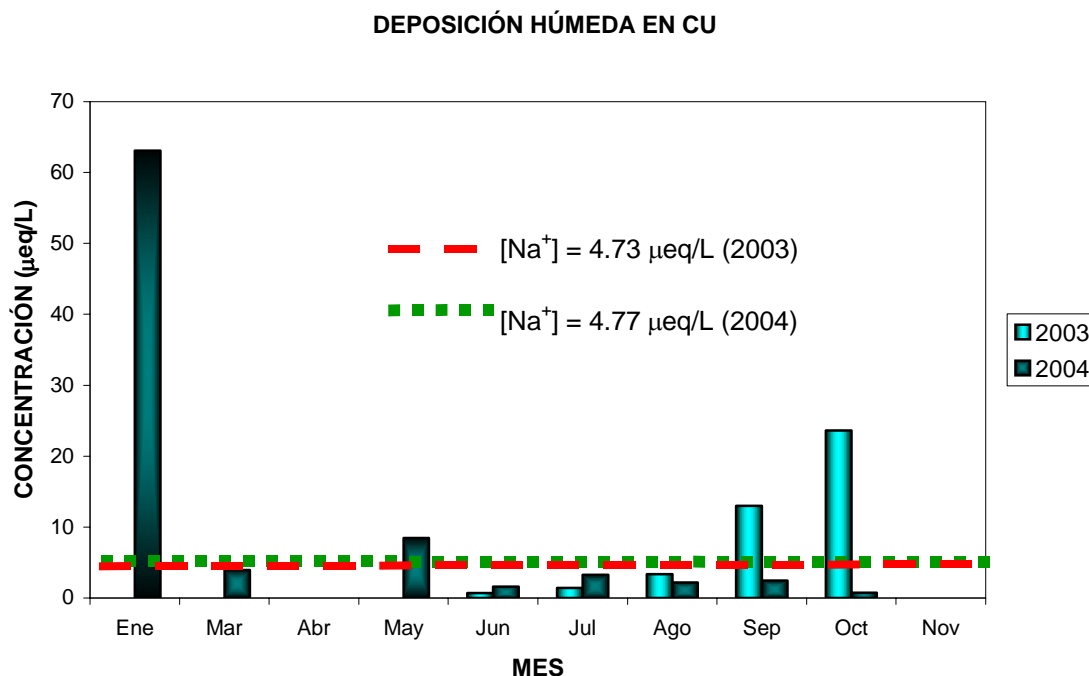


Figura 7.6. Concentración de sodio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

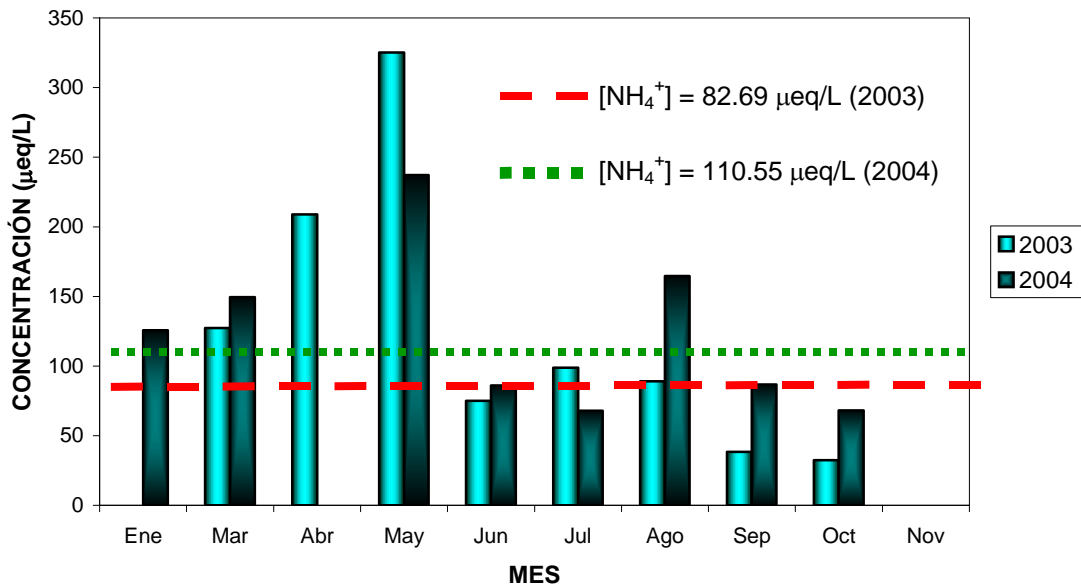


Figura 7.7. Concentración de amonio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

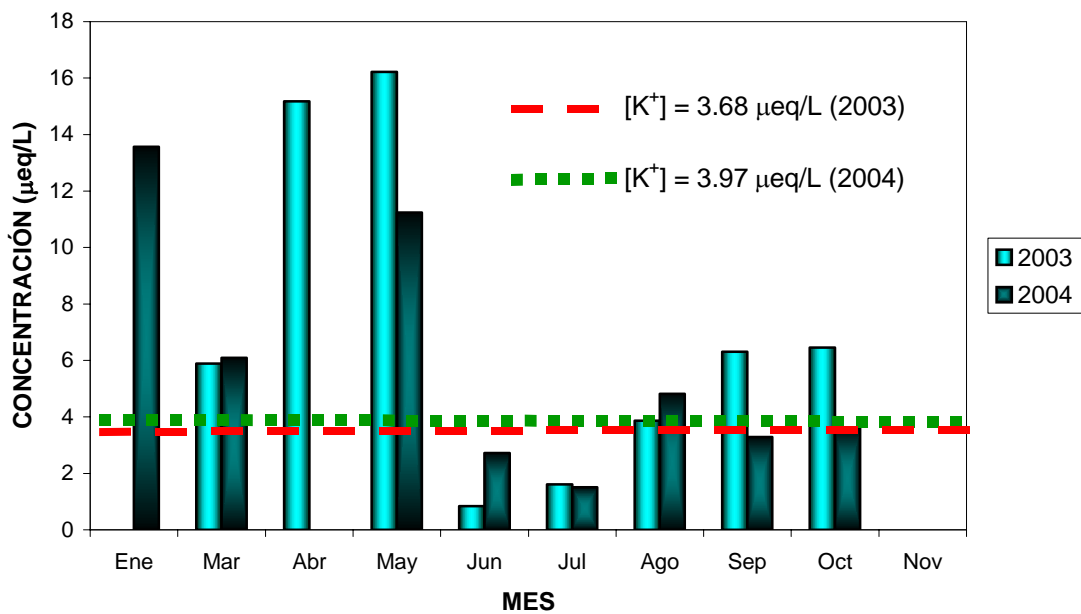


Figura 7.8. Concentración de potasio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

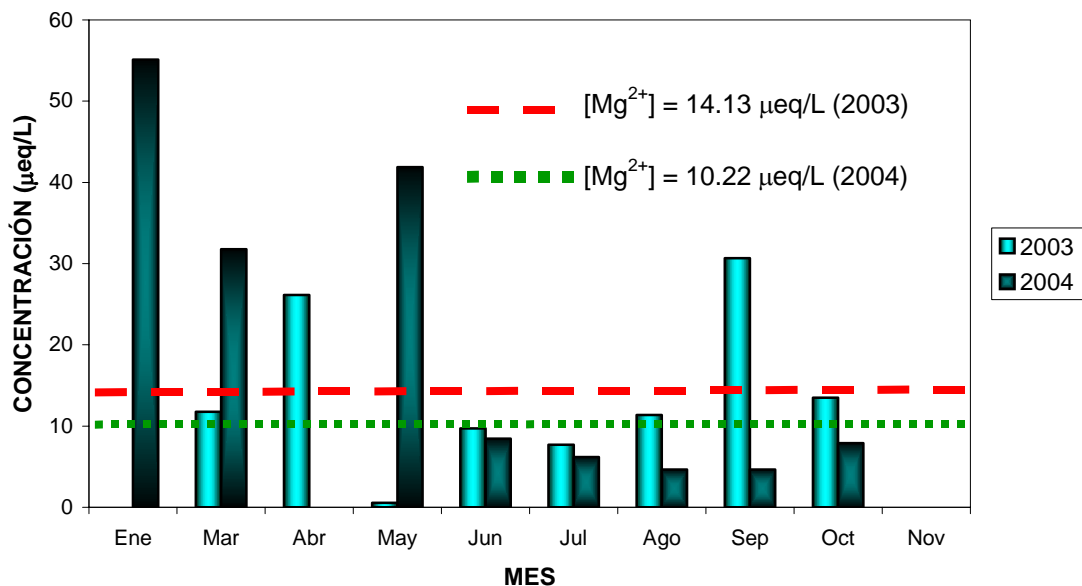


Figura 7.9. Concentración de magnesio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN CU

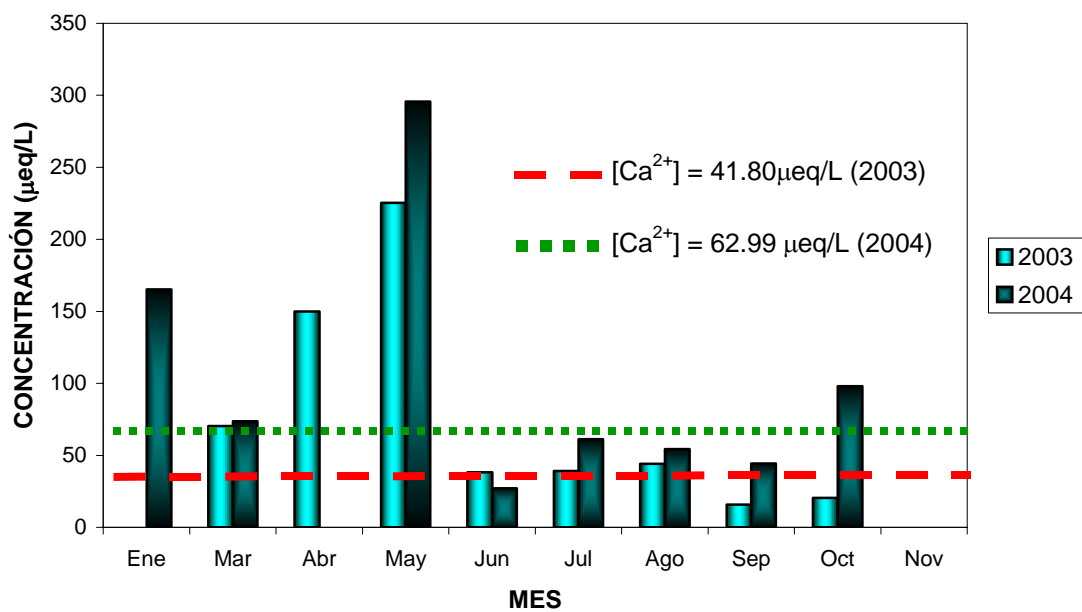


Figura 7.10. Concentración de calcio ponderada de las muestras de deposición húmeda para CU.

2.0.0. Zona Arqueológica de El Tajín.

1.0.0.0. Variación del pH.

En la figura 7.11 se muestra el pH ponderado de las muestras de lluvia de deposición húmeda para cada mes del año del periodo 2003-2004 de El Tajín. Se puede observar que los pH's son ácidos comparados con el pH normal de la lluvia (5.6). En el año 2003 los valores se ubicaron en un intervalo de 4.19-5.12 mientras que en el 2004 fue de 4.06-5.04. El pH ponderado para ambos años fue similar, 4.56 en el 2003 y 4.51 en el 2004.

En la tabla 6.10 se presenta todos los datos del pH de cada muestreo, de los 51 muestreos que se realizaron en el 2003 solamente 7 presentaron valores superiores al pH de 5.6 y el resto (44) mostraron valores inferiores, en la tabla 6.11 se observa que en el 2004 se registraron 69 muestreos de agua de lluvia, de los cuales 6 presentaron valores inferiores al pH de 5.6, mientras que 62 presentaron valores superiores y a uno no se le determino el pH.

En mayo del 2003 no se registraron eventos de lluvia por lo tanto no se tienen muestras, en noviembre del año 2004 si hubo evento de lluvia pero como no se registro la precipitación no se pudo ponderar por consiguiente no hay dato ponderado de éste.

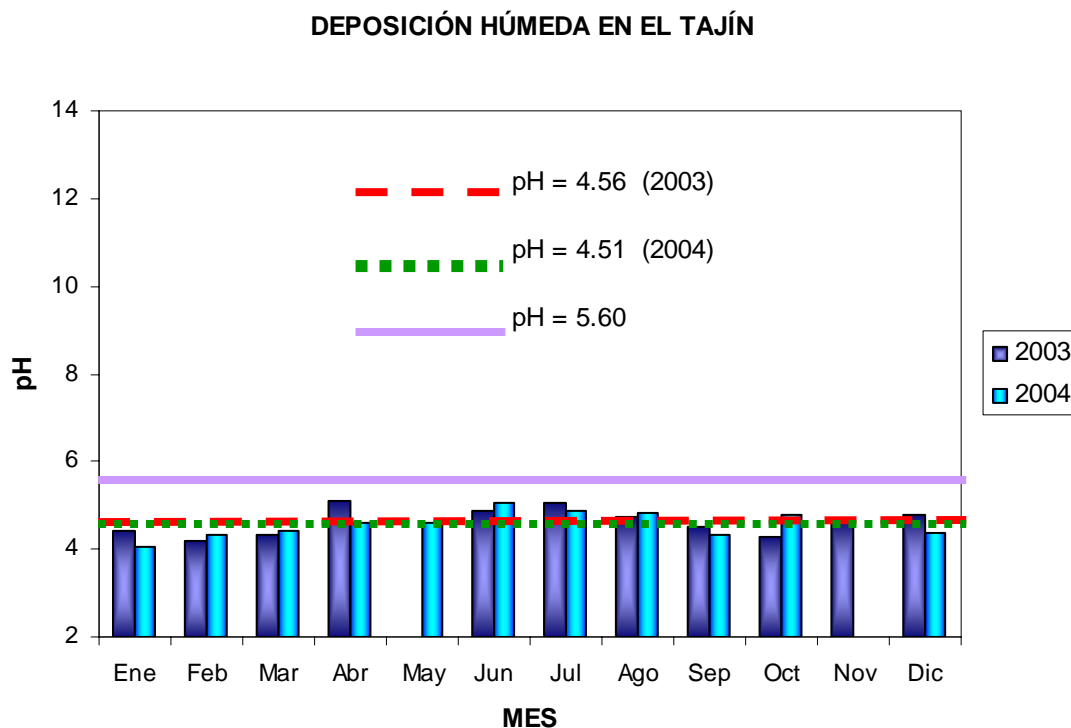


Figura 7.11. Valores ponderados de pH de las muestras de deposición húmeda para El Tajín.

I. Conductividad experimental y teórica del año 2003.

En la figura 7.12a se observa que en los meses de sequía de febrero, marzo y abril se presentaron las conductividades más altas del año 2003, las más bajas se presentaron en los meses lluviosos de junio a septiembre además de noviembre y diciembre. El valor máximo de la conductividad experimental y teórica se encontró en el mes de abril con un valor de $56.22 \mu\text{S}/\text{cm}$ para la primera y $54.35 \mu\text{S}/\text{cm}$ para la segunda, además, también en este mes se encontraron las concentraciones máximas de Cl^- , Na^+ , y Ca^{2+} de manera que fueron estos iones contribuyeron en mayor proporción en la conductividad del mes de abril. El valor mínimo de la conductividad experimental se registro en julio y diciembre en un intervalo de (13.55 - $13.89 \mu\text{S}/\text{cm}$) mientras que en la conductividad teórica fué en diciembre ($5.55 \mu\text{S}/\text{cm}$).

La conductividad ponderada experimental tuvo un valor de $23.67 \mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que la teórica presentó un valor de $13.46 \mu\text{S}/\text{cm}$ lo que indica que el 56.9 % de los iones que participaron en la conductividad fueron determinados en el año 2003 en el sitio de El Tajín.

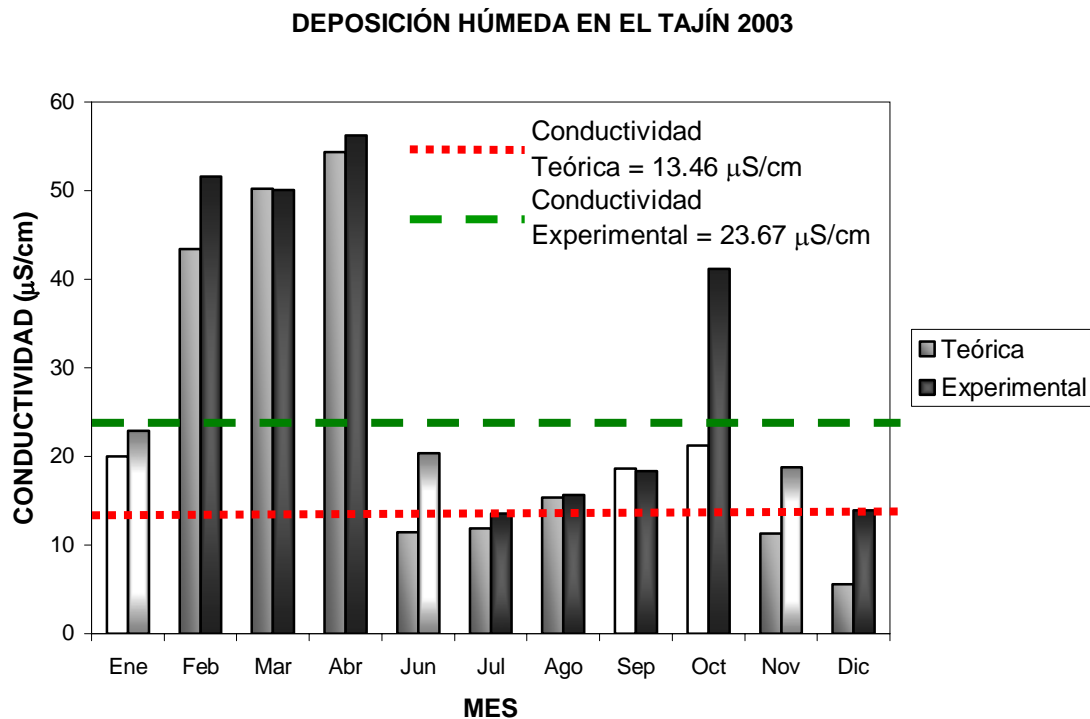


Figura 7.12a. Valores ponderados de la conductividad experimental y teórica de deposición húmeda para El Tajín del año 2003.

II. Conductividad experimental y teórica del año 2004.

En la figura 7.12b se muestra la conductividad experimental y teórica del año 2004 en El Tajín, se observa conductividades altas en los meses de enero, marzo, abril, septiembre y diciembre y bajas en los meses lluviosos de junio, julio y agosto. La máxima conductividad experimental y teórica se presentó en el mes de enero con un valor de $74.73 \mu\text{S/cm}$ para la primera y $72.39 \mu\text{S/cm}$ para la segunda, además también en este mes se registraron las concentraciones máximas de Cl^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y H^+ . La mínima conductividad experimental se presentó en julio con un valor de $12.56 \mu\text{S/cm}$ mientras que la teórica fue en junio con un valor de $9.57 \mu\text{S/cm}$.

La conductividad experimental ponderada del año 2004 fue de $30.36 \mu\text{S/cm}$ y la teórica de $23.15 \mu\text{S/cm}$, esto indica que solo el 76.3 % de los iones que participaron en la conductividad se determinaron.

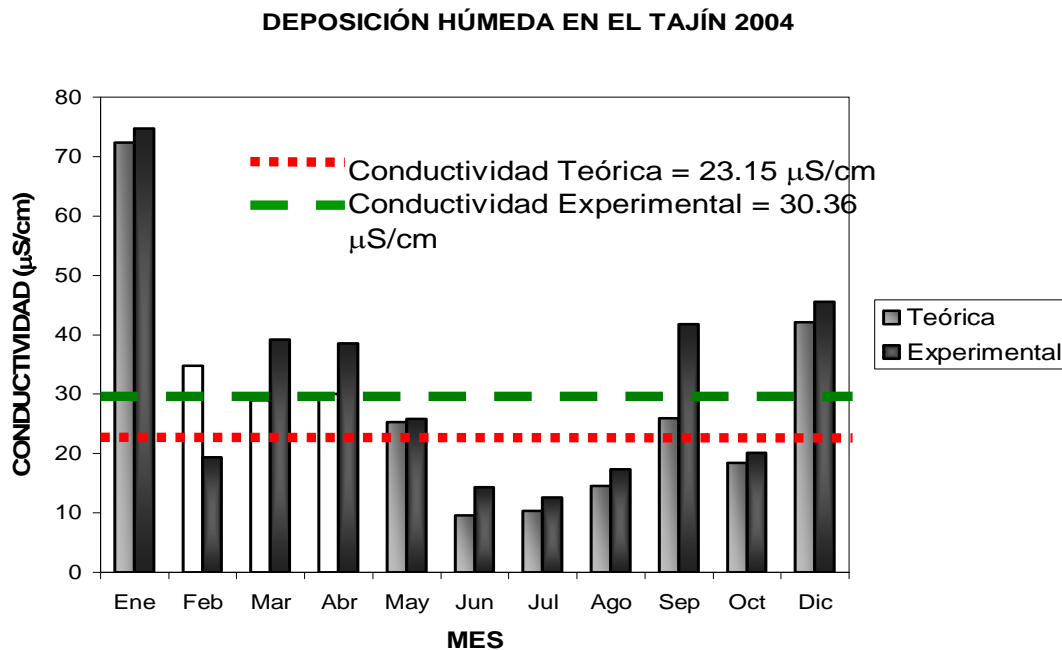


Figura 7.12b. Valores ponderados de la conductividad Experimental y teórica de deposición húmeda para El Tajín del año 2004.

III. Conductividad experimental del año 2003 y 2004.

En la figura 7.12c se muestra la conductividad ponderada de El Tajín, en el año 2003 se observa que hubo conductividades altas en los meses secos de febrero, marzo y abril, mientras que en el 2004 se observaron en enero, marzo, abril, septiembre y diciembre, las conductividades bajas para ambos años se presentaron en los meses de lluviosos de junio a agosto, se observó un incremento del año 2003 al 2004 de $23.67 \mu\text{S/cm}$ a $30.36 \mu\text{S/cm}$. El valor máximo de la conductividad encontrado en el año 2003 fue en el mes de abril con un valor de $56.22 \mu\text{S/cm}$, mientras que el mínimo se registra en julio con un valor de $13.55 \mu\text{S/cm}$. En el mes de enero del 2004 se registro la conductividad máxima con un valor de $74.73 \mu\text{S/cm}$ mientras que la mínima fue en julio con un valor de $12.56 \mu\text{S/cm}$, como vemos, los valores mínimos de la conductividad para ambos años fue en julio, es uno de los meses más lluviosos en donde hay lavado de partículas y por tanto la conductividad tiende a ser menor que en los meses secos en donde la conductividad es mayor por la presencia de polvo que contribuye con partículas cargadas.

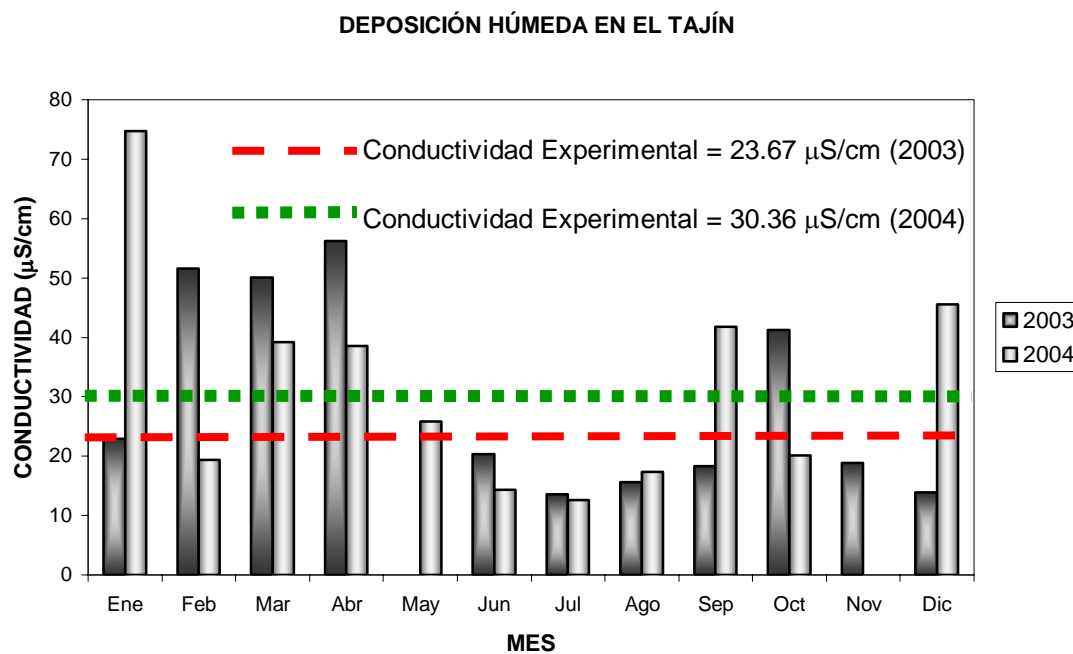


Figura 7.12c. Valores ponderados de la conductividad experimental de deposición húmeda para El Tajín del periodo 2003-2004.

3.0.0.0. Variación de las concentraciones ponderadas de los iones principales en las muestras de lluvia.

En las figuras 7.13 a 7.15 se muestran las concentraciones ponderadas en $\mu\text{eq/L}$ de los aniones analizados del periodo 2003-2004.

El Cl^- fue el anión con valores intermedios de las concentraciones ponderadas. En la Figura 7.13 se observa que la concentración ponderada del año 2003 fue menor ($25.24 \mu\text{eq/L}$) que la del 2004 ($37.32 \mu\text{eq/L}$). La concentración máxima del año 2003 se presentó en el mes de abril con un valor de $223.51 \mu\text{eq/L}$ y la mínima se presentó en el mes de septiembre con un valor de $11.93 \mu\text{eq/L}$. La máxima concentración en el año 2004 se mostró en enero con un valor $137.19 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se encontró en octubre con un valor de $10.67 \mu\text{eq/L}$. Este ion contribuyó en la acidez del agua de lluvia.

El NO_3^- fue el anión con los valores más bajos de concentración ponderada anual de este sitio, en el 2003 fue de $19.77 \mu\text{eq/L}$ y en el 2004 fue de $25.26 \mu\text{eq/L}$. La máxima concentración ponderada en el 2003 fue en el mes de noviembre con un valor de $64.60 \mu\text{eq/L}$ y la mínima se registró en octubre con un valor de $5.95 \mu\text{eq/L}$. En el año 2004 la máxima concentración se presentó en octubre con un valor de $58.66 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se encontró en julio con un valor de $0.35 \mu\text{eq/L}$.

Por último, el anión que se encontró en mayor cantidad en El Tajín fue el SO_4^{2-} contribuyó en mayor parte a la acidez del agua de lluvia. En el año 2003 la concentración ponderada anual fue mayor ($42.51 \mu\text{eq/L}$) en comparación con la del 2004 ($40.60 \mu\text{eq/L}$). En febrero del año 2003 se presentó la máxima concentración con un valor de $210.68 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se registró en diciembre con un valor de $19.90 \mu\text{eq/L}$. En el 2004 la concentración máxima se presentó en diciembre con un valor de $114.53 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se registró en mayo con un valor de $3.58 \mu\text{eq/L}$. Como se observa en las tablas 6.16 y 6.17 y en la figura 7.15, en el año 2003 las concentraciones ponderadas fueron mucho más altas en comparación con el 2004.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

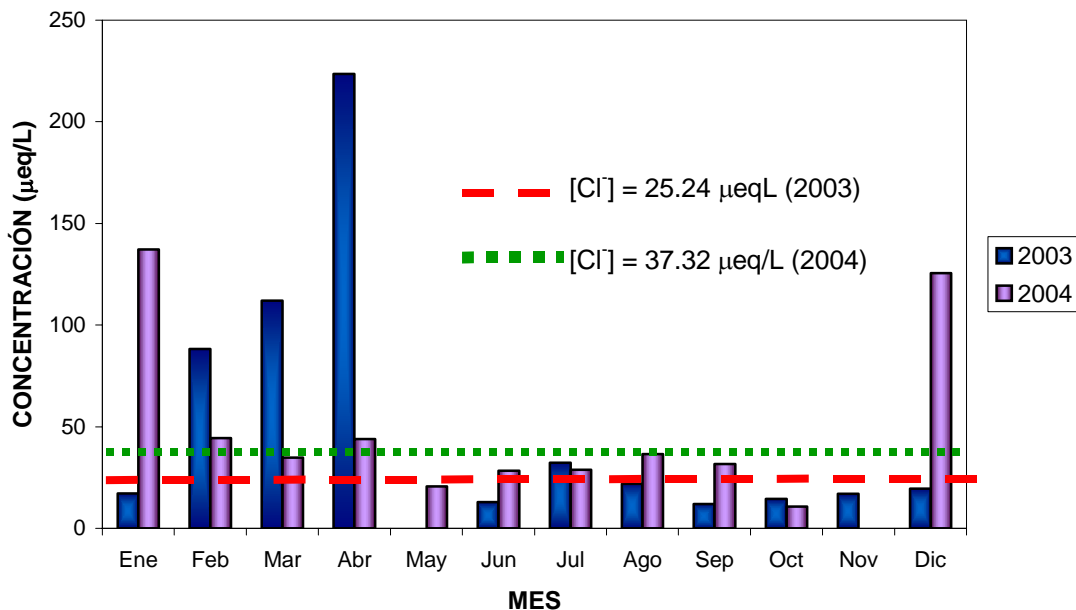


Figura 7.13. Concentración de cloruros ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

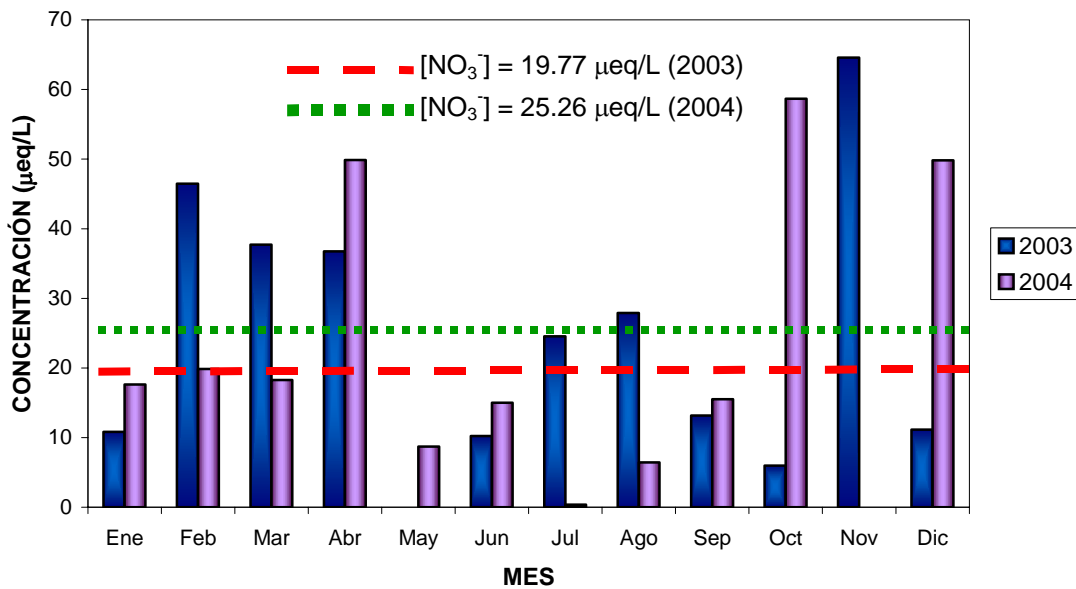


Figura 7.14. Concentración de nitratos ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

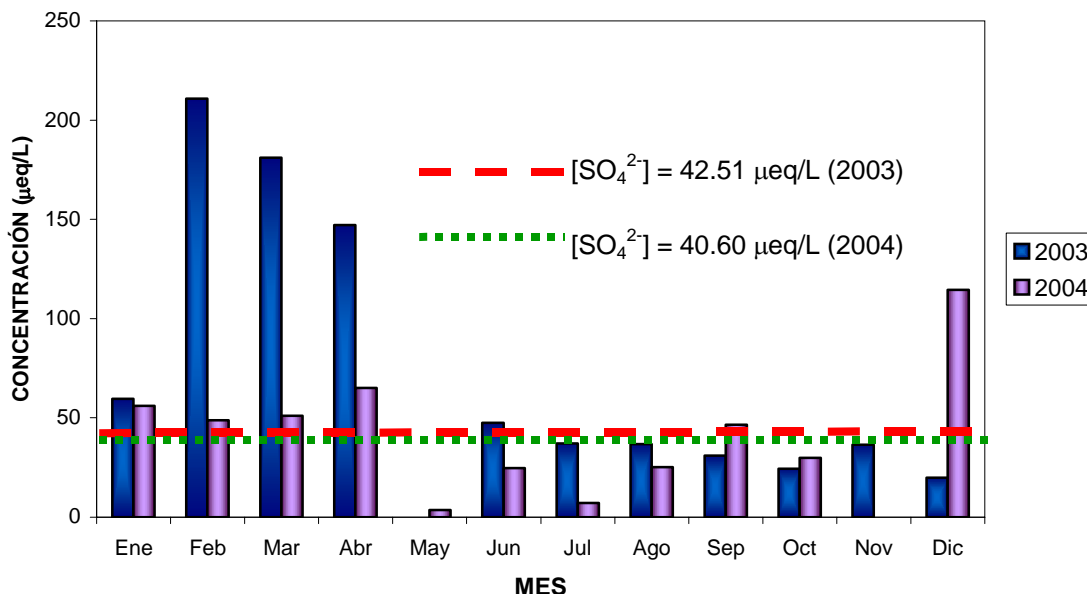


Figura 7.15. Concentración de sulfatos ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

En las figuras 7.16 a 7.20 se muestran las concentraciones ponderadas de los cationes: Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} para El Tajín respectivamente.

En la figura 7.16 se muestra la concentración ponderada del Na^+ , este fue uno de los cationes con concentraciones ponderadas altas. La concentración ponderada anual del Na^+ en el año 2003 fué de $23.73 \mu\text{eq/L}$, mientras que en el 2004 fue de $32.82 \mu\text{eq/L}$. En el 2003 la máxima concentración ponderada fue en abril con un valor de $336.12 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se presentó en el mes de junio con un valor de $7.40 \mu\text{eq/L}$. En el 2004 la máxima concentración se presentó en enero con un valor de $261.35 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se encontró en octubre con un valor de $7.16 \mu\text{eq/L}$. El Na^+ es uno de los iones que tiene gran influencia marina en el sitio de El Tajín que se encuentra en Veracruz debido a la presencia de estos iones en el mar como NaCl .

El NH_4^+ fue también uno de los cationes que se encontró en cantidades más altas, en el 2003 la concentración ponderada anual fue de $21.16 \mu\text{eq/L}$ mientras que en el 2004 fue casi el doble con un valor de $40.62 \mu\text{eq/L}$. En marzo del 2003 se registro la máxima concentración ponderada con un valor de $69.25 \mu\text{eq/L}$ y la mínima fue en noviembre con un valor de $9.68 \mu\text{eq/L}$. En el 2004 la máxima concentración se presentó en enero con un valor de $79.46 \mu\text{eq/L}$, mientras que la mínima se presentó en junio con un valor de $14.08 \mu\text{eq/L}$.

Las concentraciones ponderadas del K^+ se muestran en la figura 7.18, se observa que la concentración ponderada anual para el 2003 ($3.68 \mu\text{eq/L}$) fue menor casi tres veces que la del 2004 ($13.35 \mu\text{eq/L}$). En el 2003 la concentración máxima se presentó en marzo con un valor de $8.05 \mu\text{eq/L}$ y la mínima en noviembre con un valor de $0.74 \mu\text{eq/L}$. En el 2004 la concentración máxima se registro en enero con

un valor de 138.75 $\mu\text{eq/L}$ mientras que la mínima se presentó en septiembre con un valor de 3.02 $\mu\text{eq/L}$. Este fue el catión con concentraciones menores en los dos años de análisis.

En la figura 7.19 se muestra las concentraciones ponderadas del Mg^{2+} . En el 2003 la concentración ponderada anual fue de 9.75 $\mu\text{eq/L}$ mientras que en el 2004 fue de 13.59 $\mu\text{eq/L}$. La máxima concentración del 2003 se presentó en marzo con un valor de 37.93 $\mu\text{eq/L}$ mientras que la mínima se presentó en septiembre con un valor de 2.69 $\mu\text{eq/L}$. En el 2004 la máxima concentración ponderada se presentó en enero con un valor de 96.77 $\mu\text{eq/L}$ mientras que las mínima fue en octubre con un valor 4.24 $\mu\text{eq/L}$.

Por último, el Ca^{2+} se ubico entre los valores intermedios de las concentraciones ponderadas. En el 2003 la concentración ponderada fue de 13.99 $\mu\text{eq/L}$, mientras que en el 2004 fue de 24.83 $\mu\text{eq/L}$. La máxima concentración ponderada que se registro en el 2003 fue en abril con un valor de 77.25 $\mu\text{eq/L}$ y la mínima fue en septiembre con un valor de 1.92 $\mu\text{eq/L}$. En el 2004 la máxima concentración ponderadas fue en enero con un valor de 68.43 $\mu\text{eq/L}$ y la mínima en octubre con un valor de 7.11 $\mu\text{eq/L}$.

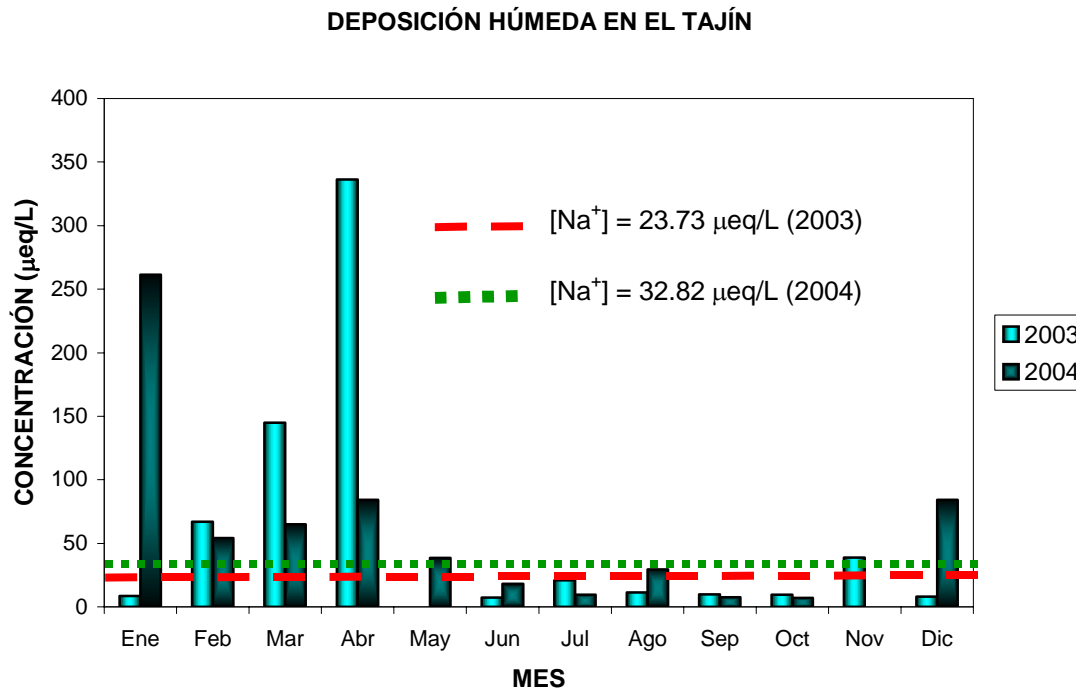


Figura 7.16. Concentración de sodio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

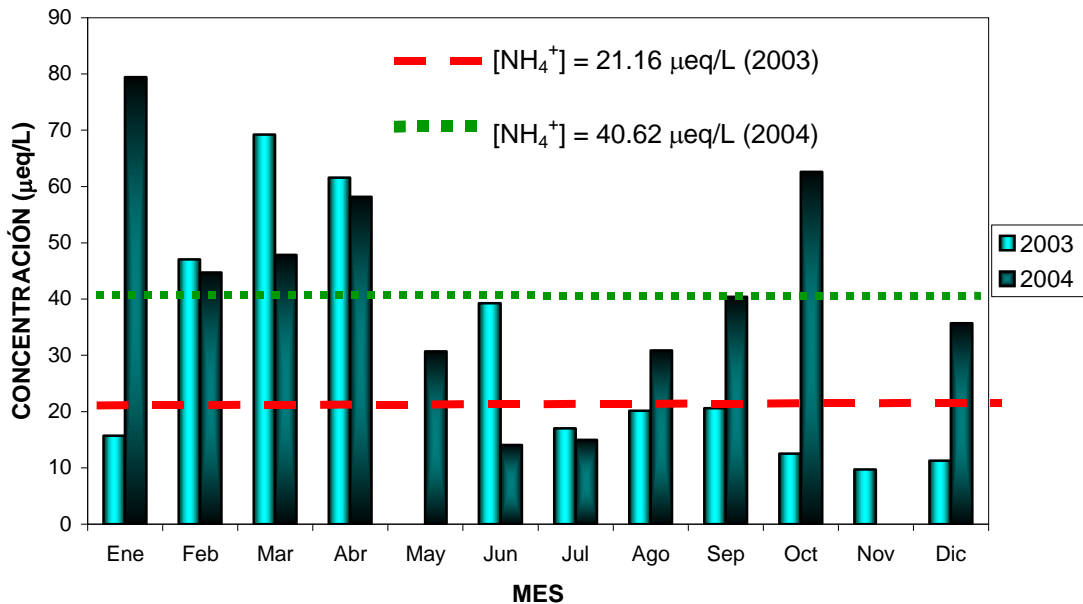


Figura 7.17. Concentración de amonio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

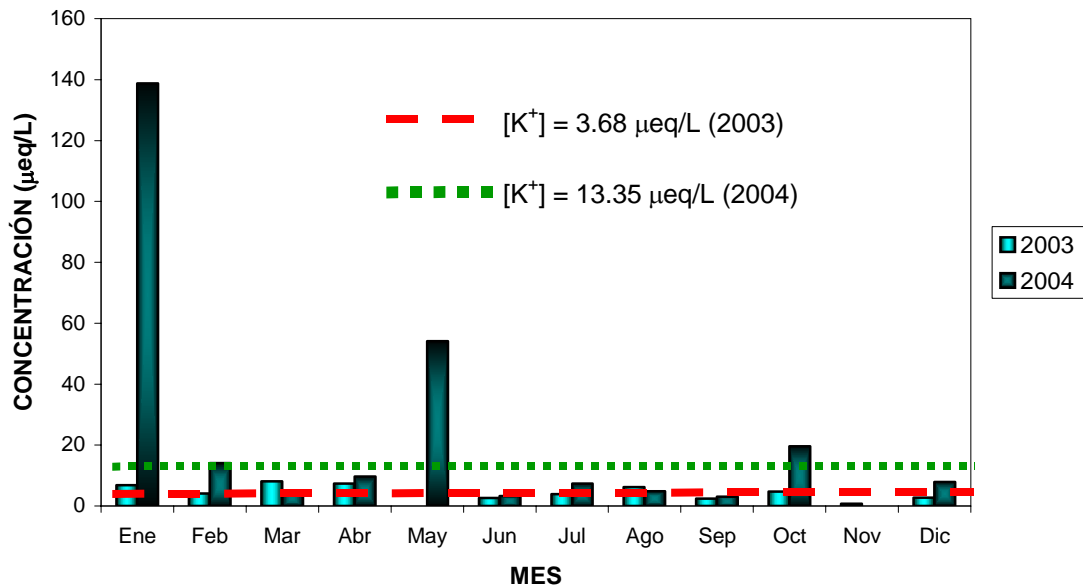


Figura 7.18. Concentración de potasio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

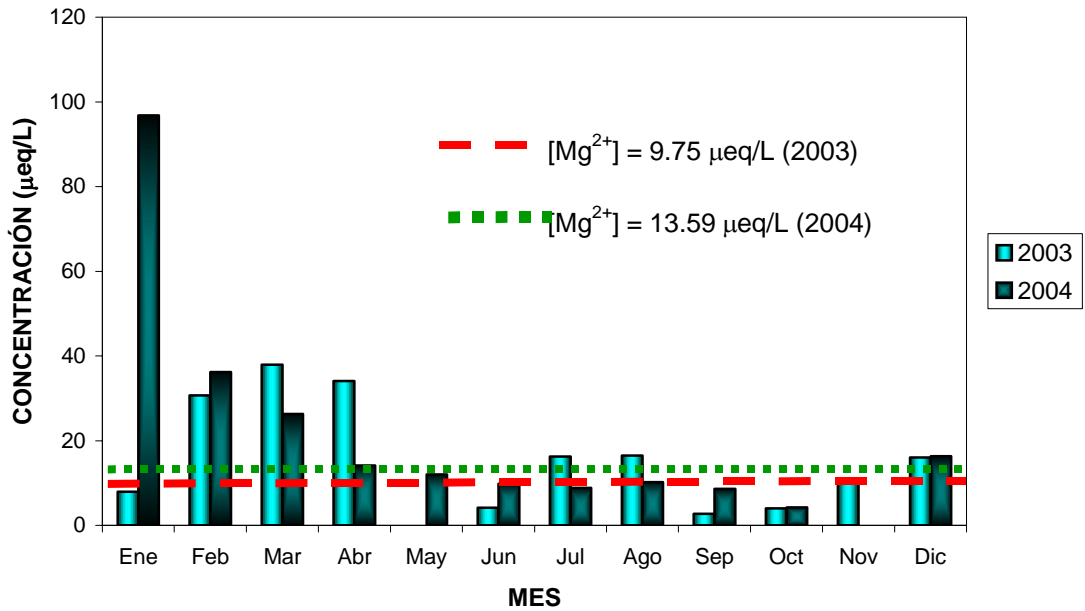


Figura 7.19. Concentración de magnesio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

DEPOSICIÓN HÚMEDA EN EL TAJÍN

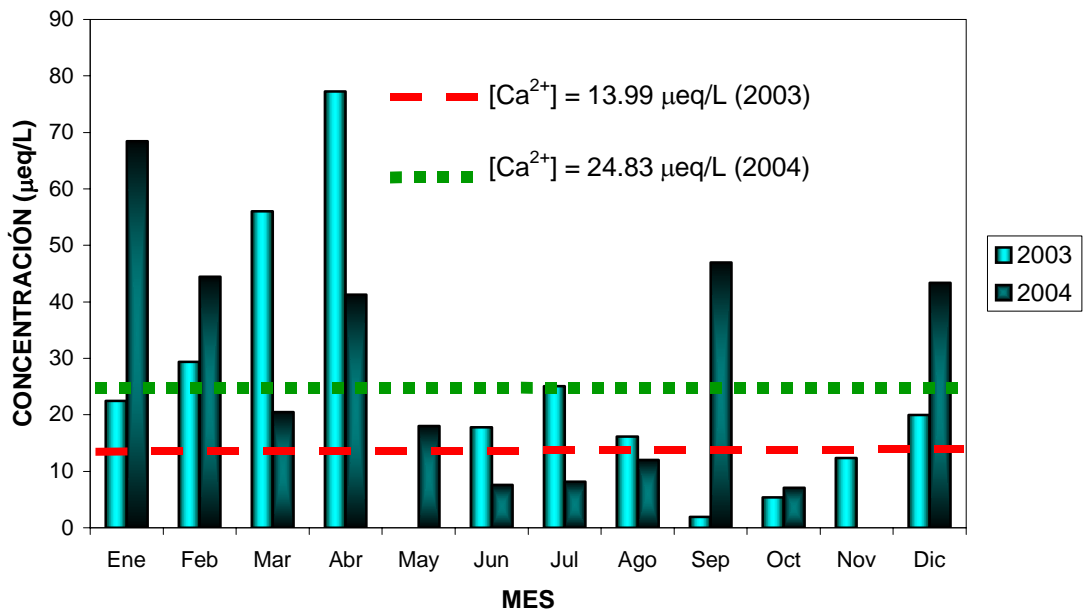


Figura 7.20. Concentración de calcio ponderada de deposición húmeda para El Tajín.

7.2. Deposición seca.

7.2.1. Ciudad Universitaria. (CU).

7.2.1.1. Variación del pH.

En la figura 7.21 se presenta los pH's para CU, se observa que estos son alcalinos en comparación con el pH del agua de lluvia (5.6) debido a que los polvos contienen partículas cargadas que tienden a neutralizar los ácidos presentes. En esta figura, podemos apreciar una ligera disminución de los pH's en los meses lluviosos de junio, julio y agosto de ambos años de muestreo.

En el mes de enero del año 2003 se registro un pH muy ácido con un valor de 3.23, el resto de las once muestras estuvieron en un rango de pH 6.73-7.57. En el 2004, las doce muestras presentaron valores de pH ubicados en un rango de 6.23-7.49. Generalmente los valores de pH de las muestras del año 2003 fueron ligeramente mayores a los valores de pH de las muestras del año 2004.

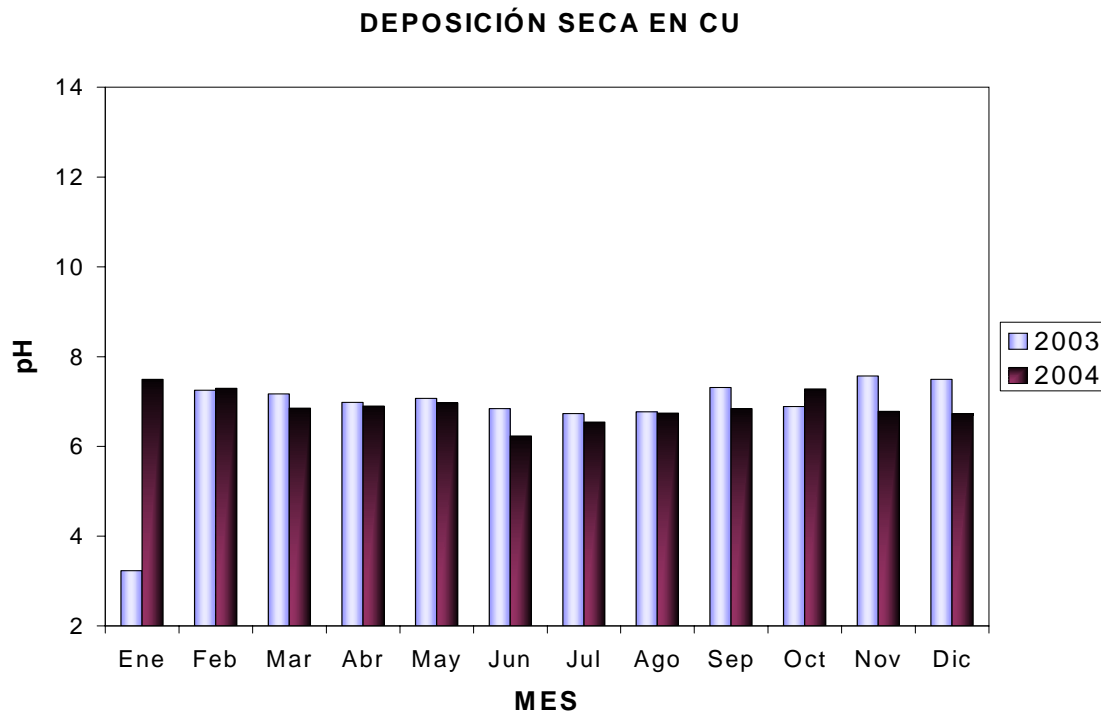


Figura 7.21. pH de las muestras de la deposición seca de CU del periodo 2003-2004.

7.2.1.2. Variación de la conductividad.

En la figura 7.22 se presenta la conductividad de las muestras de CU del periodo 2003-2004.

En el 2003 se observa una conductividad alta en los meses de enero y diciembre mientras que en febrero, marzo, abril y junio los valores de la conductividad fueron bajos. La máxima conductividad se presentó en enero con un valor de 469.04 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que la mínima en febrero con un valor de 69.59 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el 2004 las conductividades más altas se presentaron en los meses de enero y mayo mientras que en junio, julio agosto y septiembre los valores de la conductividad fueron bajos. La máxima conductividad se registró en mayo con un valor de 344.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que la mínima fue en agosto con un valor de 112.76 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

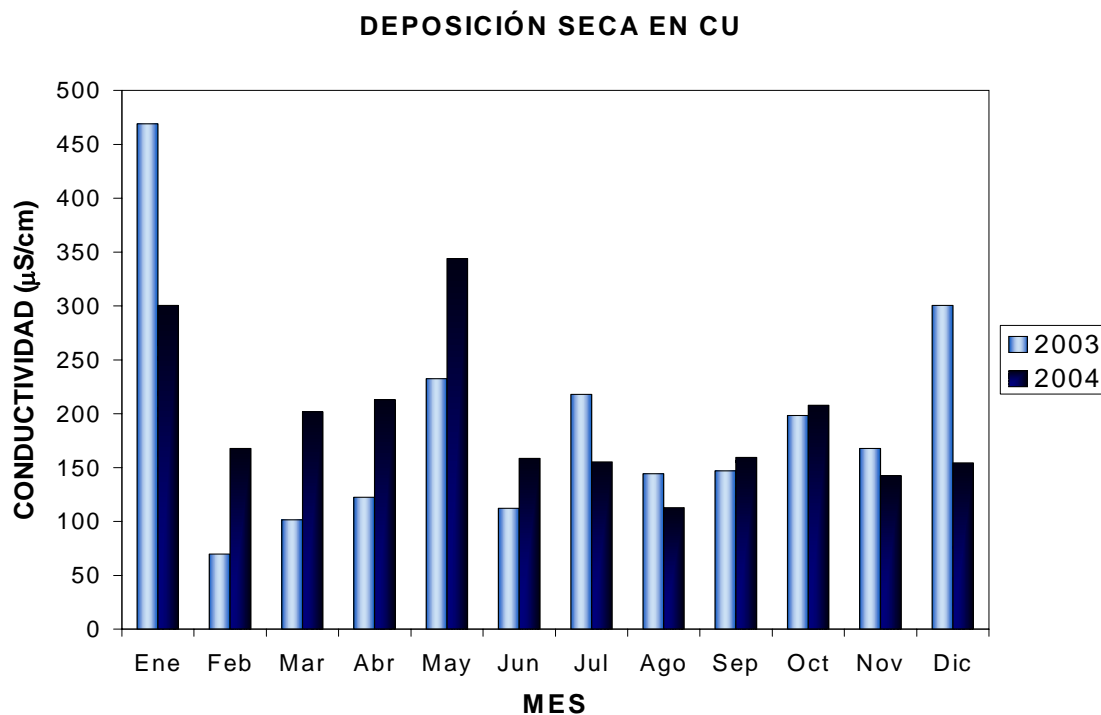


Figura 7.22. Conductividad de las muestras de deposición seca en CU del periodo 2003-2004.

7.2.1.3. Cantidad de partículas sedimentables (Ton/km²/mes).

En la figura 7.23 se muestra la cantidad de polvo en Ton/km²/mes de cada muestra mensual de CU del periodo 2003-2004. En la figura observamos que la mayor cantidad de polvo aparece en los meses de sequía como son de enero a mayo, noviembre y diciembre a excepción de abril en donde hay un decrecimiento en el año 2003. El incremento en cantidades de polvo se debe a la falta de lluvias y por tanto hay una acumulación de polvos y partículas acarreadas por los vientos. En los meses de temporada de lluvia de junio a octubre hay un decrecimiento de la cantidad de polvo recolectada debido a que las partículas que no se depositaron por gravedad y se encuentran suspendidas en el aire son arrastradas por la lluvia y por tanto atraídas a la tierra. A partir de noviembre se observa como va incrementando la cantidad de polvo debido a que las lluvias terminan y empieza la suspensión de partículas en el aire provocando la acumulación y deposición de polvos. La cantidad más alta de deposición seca en el 2003 fue de 4.47 Ton/km²/mes en el mes de marzo mientras que la mínima fue de 0.95 Ton/km²/mes en el mes de abril. En el 2004 la cantidad más alta fue de 4.5 Ton/km²/mes en febrero mientras que la mínima fue de 1.30 Ton/km²/mes en agosto.

La muestra del mes de julio del 2003 fue descartada por contaminación.

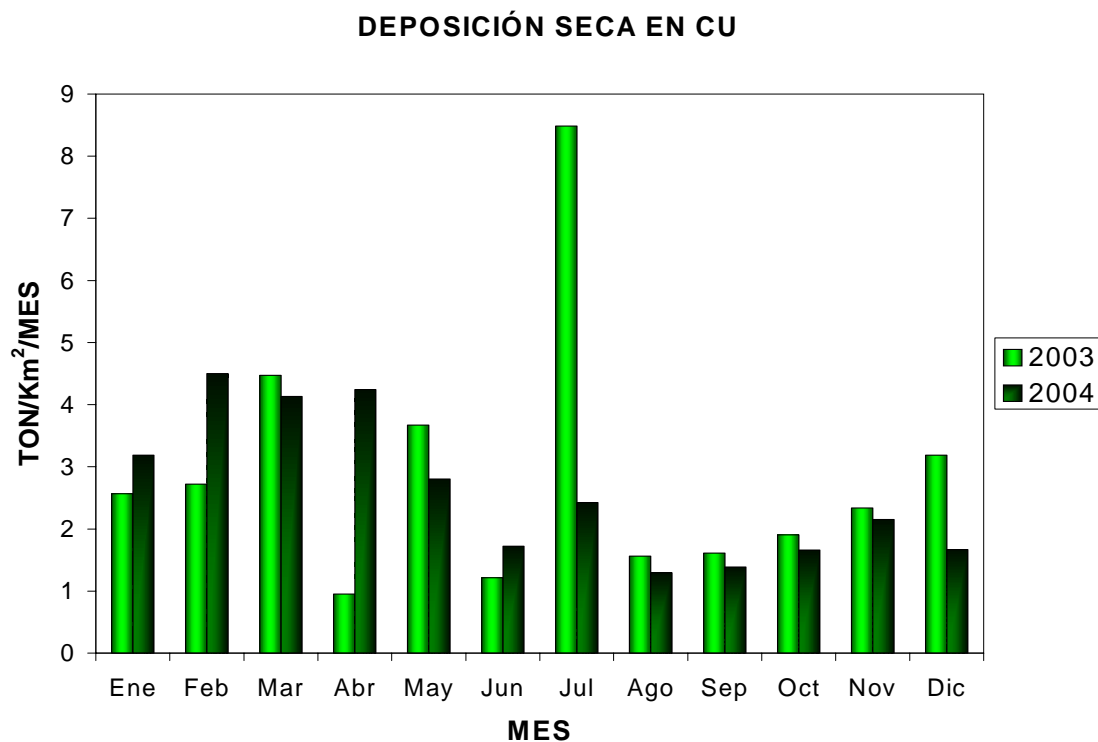


Figura 7.23 Polvo en Ton/km²/mes en las muestras de deposición seca de CU del periodo 2003-2004.

7.2.2. Zona arqueológica de El Tajín.

7.2.2.1. Variación del pH.

En la figura 7.24 se muestra el pH de las muestras de cada mes de El Tajín del periodo 2003-2004. Se observa que los pH's son alcalinos al igual que CU comparados con el pH del agua de lluvia (5.6) mencionado anteriormente; la alcalinidad de las muestras es debido a que las partículas cargadas contenidas en el polvo tienden a neutralizar los ácidos presentes.

En el 2003 los valores de pH se ubicaron en un rango de 6.26-7.43 y en el 2004 estuvieron en un rango de 6.45-7.38.

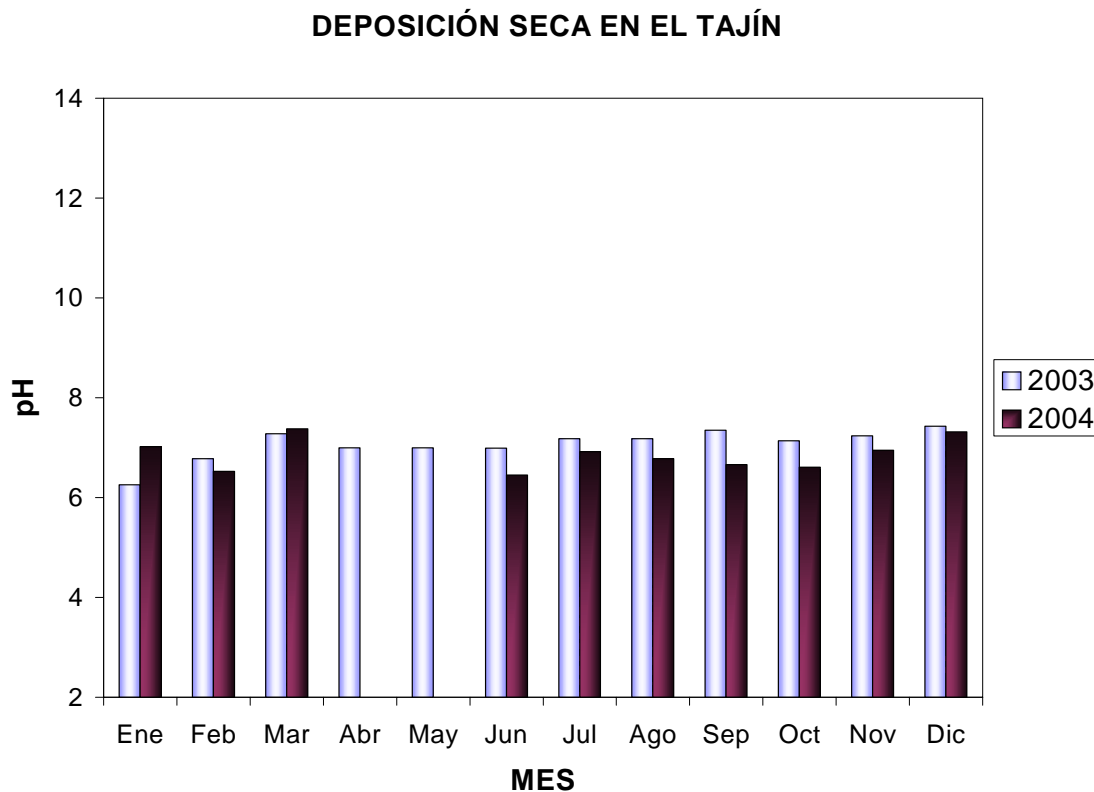


Figura 7.24. pH de las muestras de la deposición seca de El Tajín del periodo 2003-2004.

7.2.2.2. Variación de la conductividad.

En la figura 7.25 se muestra la conductividad de las muestras de El Tajín de la deposición seca del periodo 2003-2004. Las conductividades más altas registradas en el 2003 fueron en los meses de mayo, noviembre y diciembre mientras que en los meses de julio, septiembre y octubre donde se presentaron los valores de la conductividad más bajos. En el 2003 el valor máximo de conductividad se encontró en noviembre con un valor de 301.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que el mínimo en septiembre con un valor de 49.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otro lado, los valores más altos de la conductividad del año 2004 fueron en los meses de febrero y diciembre y las más bajas se dieron de junio a noviembre. En el 2004 la conductividad máxima fue en febrero con un valor de 146.61 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que la mínima en septiembre con un valor de 44.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

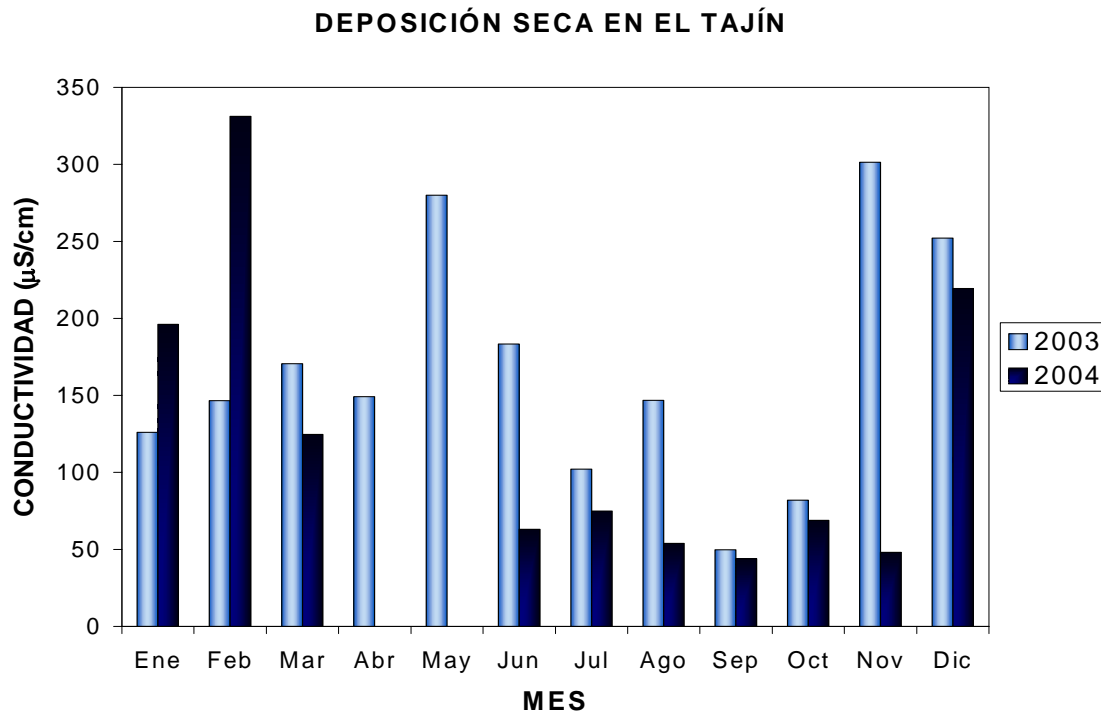


Figura 7.25 Conductividad de las muestras de Tajín del periodo 2003-2004.

7.2.2.3. Cantidad de partículas sedimentables (Ton/km²/mes).

En la figura 7.26 se muestra las cantidades de polvo en Ton/km²/mes de las muestras de El Tajín en un periodo de doce meses por cada año de muestreo. En los meses de enero a mayo, noviembre y diciembre se nota que la cantidad de polvo es creciente debido a que son meses de sequía donde hay tolvaneras, acumulación de polvos y partículas en la atmósfera sobre todo en febrero y marzo. En los meses lluviosos de junio a octubre se observa una reducción en el depósito de polvo (a excepción de agosto del año 2003) debido a que las tolvaneras desaparecen y la lluvia que cae arrastra las partículas que están suspendidas en el aire. Nuevamente los valores de depósito de polvo tienden a subir al comenzar la estación de sequía a partir de noviembre como se observa en la figura.

En marzo del año 2003 se registro la cantidad máxima con un valor de 5.40 Ton/km²/mes y la menos fue en julio con un valor de 0.71 Ton/km²/mes. En el año 2004 la máxima cantidad fue de 3.05 en el mes de febrero y la mínima en octubre con un valor de 0.41 Ton/km²/mes. En el año 2003 se observa la presencia de mayor cantidad de polvo depositado en comparación con el año 2004.

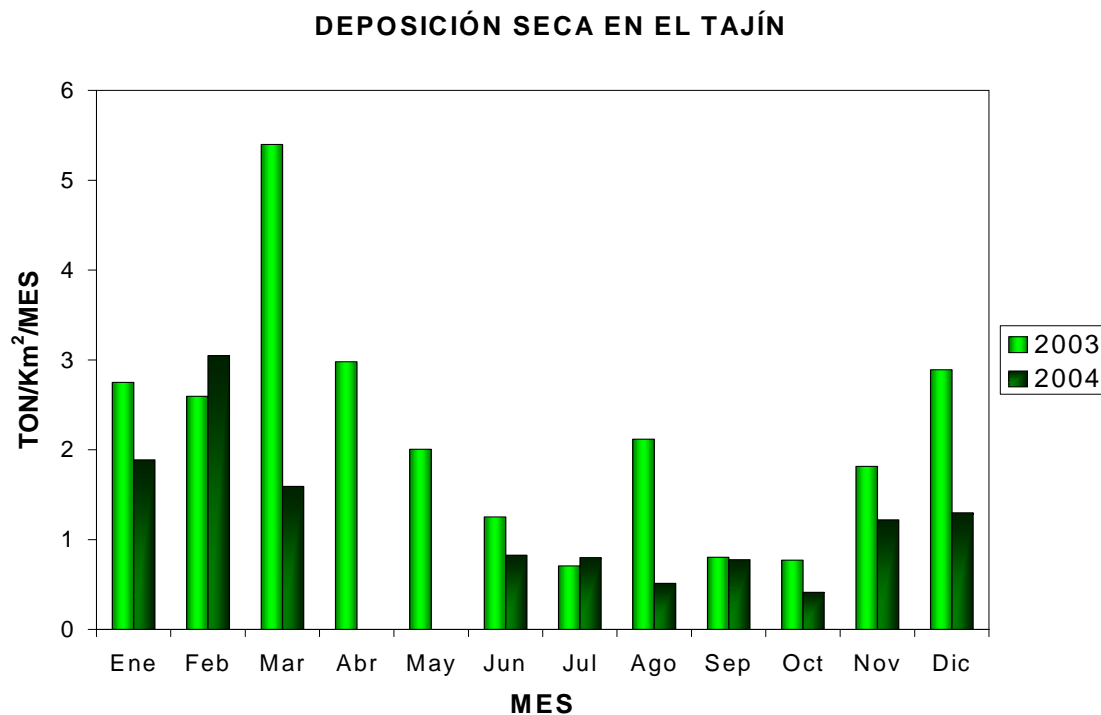


Figura 7.26 Polvo en Ton/km²/mes en las muestras de deposición seca de Tajín del periodo 2003-2004.

7.3. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de precipitación con iones típicos de agua marina.

Se realizó el análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de precipitación con iones típicos de agua marina para determinar el exceso de los diferentes iones que hay en las muestras de agua de lluvia de Ciudad Universitaria y El Tajín ya que el agua de lluvia limpia tiene un origen marino y cualquier exceso puede ser atribuido a otras fuentes.

7.3.1. Deposición Húmeda en CU.

En las tablas 7.1 y 7.3 se observa que en las muestras de deposición húmeda en CU se encontró un gran exceso de SO_4^{2-} y NO_3^- , sin embargo también se encontró un notable exceso de NH_4^+ y Ca^{2+} , estas especies neutralizaron parte de los sulfatos y nitratos y el resto de los nitratos y sulfatos deberán existir como ácidos (H_2SO_4 y HNO_3) ocasionando el carácter de acidez en las muestras de agua de lluvia, estos excesos tienen un origen en su mayor parte antropogénico. El amonio, nitrato, calcio, sulfato, potasio y magnesio presentaron un origen antropogénico. El cloruro presentó un considerable porcentaje de origen marino y el sodio es totalmente de origen marino.

En base a los resultados del coeficiente de correlación de la tabla 7.2 se observa que el ion Ca^{2+} y NH_4^+ provienen de la misma fuente, también se aprecia que se encontraron iones en forma de $(NH_4)_2SO_4$, $CaSO_4$. El ion H^+ presentó una mejor correlación con NO_3^- que con SO_4^{2-} . En la tabla 7.4 se observa que los cationes Mg^{2+} , Na^+ y los aniones SO_4^{2-} y NO_3^- provienen de la misma especie, por otra parte algunos iones se encontraron en la forma de $MgSO_4$, $Ca(NO_3)_2$ y $CaSO_4$; además, el H^+ también presentó una mejor correlación con el NO_3^- y SO_4^{2-} .

Tabla 7.1. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de CU del año 2003 con iones típicos de agua marina.

	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl	NO_3^-	SO_4^{2-}
(x/Na+)Mar	1.00	0.00	0.04	0.12	0.04	1.80	0.00	0.25
(x/Na+)LLuvia	1.00	13.68	1.32	3.16	15.40	3.87	26.53	55.17
FE(x)	1.00	1472138.91	36.49	26.34	404.15	2.15	2854530.38	219.05
FSM(x)%	100.00	0.00	2.74	3.80	0.25	46.45	0.00	0.16
FNM(x)%	0.00	100.00	97.26	96.20	99.75	53.55	100.00	99.54
X exceso (mg/L)	0.00	1.49	0.14	0.33	1.67	0.23	2.89	5.97
X Origen Marino	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.20	0.00	0.03

Tabla 7.2. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de CU del año 2003.

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	OH ⁻
Na ⁺	1.00	-0.06	0.34	0.62	-0.09	0.14	-0.09	0.12	-0.10	0.13
NH ₄ ⁺		1.00	0.56	0.17	0.85	0.03	0.36	0.68	0.81	0.13
K ⁺			1.00	0.76	0.55	-0.07	0.16	0.41	0.42	0.05
Mg ²⁺				1.00	0.19	0.00	0.09	0.20	0.13	0.06
Ca ²⁺					1.00	-0.04	0.36	0.67	0.83	0.22
H ⁺						1.00	-0.05	0.51	0.15	-0.34
Cl ⁻							1.00	0.19	0.42	0.08
NO ₃ ⁻								1.00	0.70	-0.05
SO ₄ ²⁻									1.00	0.02
OH ⁻										1.00

Tabla 7.3. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de CU del año 2004 con iones típicos de agua marina.

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
(x/Na+)Mar	1.00	0.00	0.04	0.12	0.04	1.80	0.00	0.25
(x/Na+)LLuvia	1.00	18.08	1.41	2.26	22.94	4.78	25.57	54.99
FE(x)	1.00	1945891.67	38.92	18.83	602.15	2.66	2751335.73	218.34
FSM(x)%	100.00	0.00	2.56	5.29	0.17	37.48	0.00	0.46
FNM(x)%	0.00	100.00	97.44	94.71	99.83	62.52	100.00	99.54
X exceso (mg/L)	0.00	1.99	0.15	0.24	2.52	0.33	2.81	6.02
X Origen Marino	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.20	0.00	0.03

Tabla 7.4. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de CU del año 2004.

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	OH ⁻
Na ⁺	1.00	0.04	0.45	0.79	0.65	0.03	0.40	0.36	0.38	-0.01
NH ₄ ⁺		1.00	0.53	0.35	0.35	0.04	0.28	0.35	0.40	-0.06
K ⁺			1.00	0.60	0.75	-0.14	0.21	0.68	0.67	-0.09
Mg ²⁺				1.00	0.69	0.00	0.60	0.72	0.81	-0.09
Ca ²⁺					1.00	0.11	0.30	0.85	0.81	-0.03
H ⁺						1.00	0.01	0.23	0.12	-0.35
Cl ⁻							1.00	0.31	0.40	0.01
NO ₃ ⁻								1.00	0.88	-0.18
SO ₄ ²⁻									1.00	-0.13
OH ⁻										1.00

7.3.2. Deposición húmeda en El Tajín.

En las tablas 7.5 y 7.7 se observa que hay un exceso del SO₄²⁻ seguido del NO₃⁻, por tanto los ácidos H₂SO₄ y HNO₃ son las sustancias que provocaron el carácter ácido de las muestras de agua de lluvia en El Tajín, el exceso encontrado es de origen antropogénico. Hay un porcentaje alto de Na⁺ y Cl⁻ provenientes de origen marino seguido por el Mg²⁺ y K⁺ en menor proporción, esto se debe a que la Zona Arqueológica de el Tajín se encuentra cerca de la costa del Golfo de México. El exceso encontrado de NH₄⁺, Ca²⁺, es proveniente de factores antropogénicos al igual que una parte de Mg²⁺ y K⁺.

En las tablas 7.6 se aprecia que el ion hidronio tuvo una mejor correlación con el sulfato y nitrato por lo que se encontró en parte como H₂SO₄ y HNO₃, algunos iones se encontraron en forma de NaCl. En la tabla 7.8 se muestra que el ion hidronio presentó una mejor correlación con el sulfato y cloruro de manera que estuvo presente en forma de sus ácidos correspondientes (HSO₄ y HCl).

Tabla 7.5. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2003 con iones típicos de agua marina.

	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
(x/Na+)Mar	1.00	0.00	0.04	0.12	0.04	1.80	0.00	0.25
(x/Na+)LLuvia	1.00	0.70	0.26	0.43	1.03	1.64	2.25	7.48
FE(x)	1.00	75088.75	7.27	3.62	26.96	0.91	241649.03	29.71
FSM(x)%	100.00	0.00	13.75	27.61	3.71	100.00	0.00	3.37
FNM(x)%	0.00	100.00	86.25	72.39	96.29	0.00	100.00	96.63
X exceso (mg/L)	0.00	0.38	0.12	0.17	0.5	0.00	1.23	3.95
X Origen Marino	0.55	0.00	0.02	0.07	0.02	0.89	0.00	0.14

Tabla 7.6. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2003.

	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	H^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	OH^-
Na^+	1.00	0.45	0.13	0.59	0.53	-0.01	0.86	0.19	0.46	-0.16
NH_4^+		1.00	0.43	0.49	0.45	0.31	0.44	0.52	0.67	0.01
K^+			1.00	0.31	0.35	0.10	0.14	0.12	0.24	0.08
Mg^{2+}				1.00	0.75	0.37	0.73	0.38	0.76	-0.12
Ca^{2+}					1.00	0.18	0.64	0.26	0.57	-0.05
H^+						1.00	0.19	0.49	0.60	-0.33
Cl^-							1.00	0.35	0.70	-0.08
NO_3^-								1.00	0.58	-0.16
SO_4^{2-}									1.00	-0.15
OH^-										1.00

Tabla 7.7. Análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2004 con iones típicos de agua marina.

	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
(x/Na+)Mar	1.00	0.00	0.04	0.12	0.04	1.80	0.00	0.25
(x/Na+)LLuvia	1.00	0.97	0.69	0.44	1.32	1.75	2.07	5.17
FE(x)	1.00	104221.73	19.08	3.65	34.60	0.97	223239.42	20.51
FSM(x)%	100.00	0.00	5.24	27.39	2.89	100.00	0.00	4.87
FNM(x)%	0.00	100.00	94.76	72.61	97.11	0.00	100.00	95.13
X exceso (mg/L)	0.00	0.73	0.49	0.24	0.97	0.00	1.57	3.71
X Origen Marino	0.75	0.00	0.03	0.09	0.03	1.32	0.00	0.19

Tabla 7.8. Coeficiente de correlación para las muestras de deposición húmeda de El Tajín del año 2004.

	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	H^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	OH^-
Na^+	1.00	0.16	0.47	0.67	0.49	0.19	0.62	0.38	0.44	-0.04
NH_4^+		1.00	0.12	0.22	0.29	0.26	0.11	0.25	0.32	-0.08
K^+			1.00	0.25	0.14	0.05	0.51	0.03	-0.01	-0.09
Mg^{2+}				1.00	0.42	0.26	0.48	0.12	0.23	-0.09
Ca^{2+}					1.00	0.12	0.46	0.31	0.47	0.00
H^+						1.00	0.11	0.03	0.37	-0.48
Cl^-							1.00	0.17	0.33	-0.02
NO_3^-								1.00	0.56	0.09
SO_4^{2-}									1.00	-0.07
OH^-										1.00

7.3.3. Comparación entre CU y El Tajín con respecto al balance iónico de las especies cuantificadas.

En la figura 7.27 se observa que la mayor cantidad de las muestras de lluvia presentó un valor mayor a uno en el balance iónico para ambos años de cada sitio, lo que indica que las concentraciones de los cationes son mayores en comparación con los aniones, de manera que hay más aniones que hacen falta por analizar.

Para el sitio de muestreo de el Tajín observamos que la mediana de los muestreos presentó un valor un poco mayor a uno en el año 2003 mientras que para el 2004 fue arriba de 1.5 al igual para CU en ambos años.

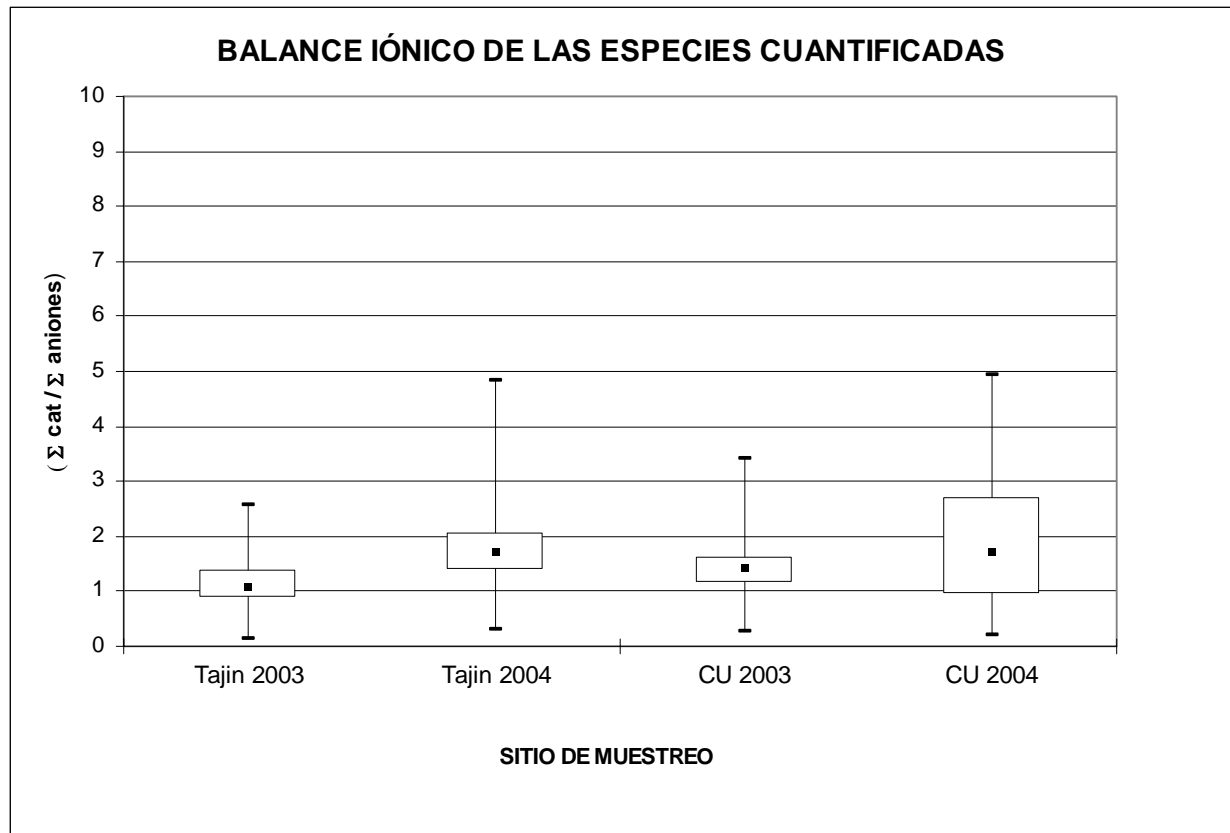


Figura 7.27. Balance iónico de las especies cuantificadas en CU y El Tajín.

8. CONCLUSIONES

8.1. Conclusiones referentes a la deposición húmeda.

Con relación a los valores de pH ponderados se encontró que la acidez de las muestras de deposición húmeda se incremento en el orden siguiente: CU 2004 (pH = 5.20), CU 2003 (pH = 5.02), El Tajín 2003 (pH = 4.56) y El Tajín 2004 (pH = 4.51). Los valores encontrados indican la presencia de lluvia ácida en ambos sitios pero esta más acentuada en el sitio de muestreo de la Zona Arqueológica de El Tajín. En Ciudad Universitaria, de los 49 eventos registrados en el muestreo sólo 15 presentaron un pH superior a 5.6, mientras que en el 2004, sólo 12 eventos presentaron un valor superior al pH de 5.6 de un total de 54. En el muestreo de deposición húmeda en la Zona Arqueológica de El Tajín en el 2003 se determinaron 51 eventos de los cuales solamente 7 presentaron un pH superior a 5.6, mientras que en el 2004 sólo 6 eventos presentaron un valor superior al pH de 5.6 de un total de 69.

Respecto a los resultados obtenidos de la conductividad ponderada experimental, se puede apreciar que tanto en las muestras de Ciudad como en la Zona Arqueológica de El Tajín se presentan valores altos de conductividad en los meses secos de enero a mayo y bajos en los meses lluviosos de junio a septiembre debido al lavado de partículas. Los valores ponderados por año para ambos sitios son: CU 2003 (26.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 2004 (29.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$); El Tajín 2003 (23.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y 2004 (30.36 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Los resultados encontrados de las concentraciones ponderadas de los aniones en las muestras de deposición húmeda en Ciudad Universitaria tienen el siguiente orden: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$, los valores encontrados para los años 2003/2004 son: 62.48 / 62.99 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de SO_4^{2-} , 46.55 / 45.38 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de NO_3^- y 11.88 / 14.85 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de Cl^- . Los resultados de las concentraciones de las muestras de lluvia muestran que fueron un poco más altos en el año 2004 para el sulfato y el nitrato en comparación con en el 2003. Los principales iones causantes de la acidez del agua de lluvia son los sulfatos y nitratos, que una parte de ellos fue neutralizada por otros iones como el amonio. En la Zona Arqueológica de El Tajín se presentó el siguiente orden: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$, para las muestras del año 2003 / 2004 se encontró: 42.51 / 40.60 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de SO_4^{2-} , 25.24 / 37.32 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de Cl^- y 19.77 / 25.26 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de NO_3^- . En este sitio también se encontró acidez en la lluvia debido a la presencia de estos aniones sobre todo del sulfato y nitrato.

En cuanto a los resultados de las concentraciones ponderadas de los cationes en Ciudad Universitaria se encontró para las muestras de deposición húmeda el siguiente orden de magnitud: $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$; las concentraciones registradas de los años 2003 / 2004 son: 82.69 / 110.55 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de NH_4^+ , 41.80 / 62.99 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de Ca^{2+} , 14.13 / 10.22 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de Mg^{2+} , 4.73 / 4.77 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de Na^+ y 3.68 / 3.97 $\mu\text{eq}/\text{L}$ de K^+ . Comparando ambos años tenemos que las concentraciones de los iones magnesio sufrieron un decrecimiento del año 2003 al 2004, mientras que las de los iones sodio, potasio, amonio y calcio sufrieron un incremento del año 2003 al 2004. En Ciudad Universitaria se encontraron cantidades altas de los iones amonio y calcio, estos iones presentan capacidad neutralizante de compuestos acidificantes en la atmósfera, pero en este sitio se encontró la presencia de lluvia ácida debido a las altas concentraciones de sulfatos y nitratos. En la deposición húmeda de la Zona Arqueológica de El Tajín se encontró

en el año 2003 el siguiente orden: $\text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ mientras que en el año 2004 fue: $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ las concentraciones registradas de los años 2003 / 2004 son: 21.16 / 40.62 de NH_4^+ , 23.73 / 32.82 $\mu\text{eq/L}$ de Na^+ , 13.99 / 24.83 $\mu\text{eq/L}$ de Ca^{2+} , 9.75 / 13.59 $\mu\text{eq/L}$ de Mg^{2+} , y 3.68 / 13.35 $\mu\text{eq/L}$ de K^+ . Hay un incremento de las concentraciones ponderadas de los cationes del año 2003 al 2004. Debido a que este sitio se localiza cerca del Golfo de México, existe la presencia de concentraciones altas del ion sodio por la influencia marina.

8.2. Conclusiones referentes a la deposición seca.

Los resultados de pH en la deposición seca fueron alcalinos tanto para Ciudad Universitaria como para El Tajín debido a la presencia de partículas alcalinas en este tipo de deposición, a excepción del mes de enero del año 2003 de CU que presentó un pH ácido (3.23) además de una conductividad demasiado alta (469.04 $\mu\text{S/cm}$).

Con respecto a los valores de la deposición seca se encontró que el promedio anual del depósito de partículas por gravedad en las muestras se incrementa en el orden siguiente: El Tajín 2004 (1.24 $\text{Ton/Km}^2/\text{mes}$), 2003 (2.17 $\text{Ton/Km}^2/\text{mes}$), Ciudad Universitaria 2003 (2.38 $\text{Ton/Km}^2/\text{mes}$) y 2004 (2.60 $\text{Ton/Km}^2/\text{mes}$). Como se puede observar Ciudad Universitaria presentó valores mayores de la deposición seca.

8.3. Conclusiones referentes al análisis comparativo de los iones contenidos en las muestras de precipitación con los iones típicos de agua marina.

Se encontró un gran exceso de SO_4^{2-} , NO_3^- en las muestras de lluvia de la deposición húmeda en CU y un exceso menor de NH_4^+ y Ca^{2+} , estos últimos neutralizaron parte de los SO_4^{2-} y NO_3^- y el resto de estos aniones dieron el carácter de acidez a las muestras de lluvia, los excesos tienen un origen en su mayor parte antropogénico. El cloruro presentó un porcentaje de 38% en el 2003 y 46% en el 2004 de origen marino y el sodio fue totalmente de origen marino para ambos años.

Las cantidades en exceso encontradas de los iones SO_4^{2-} y NO_3^- en las muestras de deposición húmeda en El Tajín son las causantes del carácter ácido y son además de origen antropogénico. Se encontró un porcentaje del 100% de Na^+ y Cl^- proveniente de origen marino, seguido del Mg^{2+} con un 27% para ambos años.

Comparando ambos sitios de muestreo se tienen mayores valores de exceso de los aniones SO_4^{2-} y NO_3^- y de los cationes NH_4^+ y Ca^{2+} en CU que en El Tajín. En El Tajín se presenta más acidez en el agua de lluvia debido a la falta de agentes neutralizantes para los iones ácidos, habiéndose presentado menor cantidad de los iones neutralizantes NH_4^+ y Ca^{2+} . En CU se presentó una mejor correlación entre SO_4^{2-} y NO_3^- con NH_4^+ y Ca^{2+} lo que indica que dichos iones se encuentran asociados. El Tajín tubo una mayor contribución de iones de origen marino que CU como fueron: Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , debido a que se encuentra cerca de la costa del Golfo de México.

8.4. Recomendaciones.

Al encontrar valores mayores o menores a uno en los balances iónicos es necesario realizar la determinación de otros iones posibles de encontrar en la lluvia como son: el fosfato, carbonato, bicarbonato y nitritos, además de la presencia de metales como el aluminio, vanadio y litio.

Para tener una evaluación más detallada de la deposición seca es importante implementar la metodología para determinar su composición química.

Es recomendable que los muestreos se analicen en periodos más cortos (por evento) para obtener datos más precisos en las determinaciones.

9. BIBLIOGRAFIA

Bravo A. H., G. Viniegra, A. Martínez. (1958) "Informe Técnico preliminar sobre la Polución Atmosférica en la Ciudad de México",

Bravo A. H., A. P. Báez, S. Lares. (1960) "Estudio del Depósito de Polvo por Gravedad en la Ciudad de México".

Bravo A. H., "Variation of Different Pollutants in the Atmosphere of Mexico City", Third Air Pollution Recession seminar, New Orleans, 1960.

Bravo A. H., M.I. Saavedra R., P. Sánchez A., R.Torres J., L.M. Granada M. (1998) "Identificación del origen genérico de los precursores de la lluvia ácida mediante el análisis comparativo entre iones contenidos en las muestras de precipitación con iones típicos del agua marina". Sección de Contaminación De Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Bravo A. H., Soto A. R., Sosa E. R., Sánchez A. P. (2003), "Efecto de la lluvia ácida en el material constituyente de los monumentos mayas mexicanos". Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Bravo A.H., Sosa E.R., Sánchez A.P., Soto A.R., Alarcón J.A.L. (2006). "Precipitación Ácida en la Costa del Golfo de México". En: Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias". 2da. Edición. Ed. A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G.Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología. 535-552 pp. ISBN 968-5722-37-4.

Caselli, M. "La Contaminación Atmosférica Causas y Fuentes" Efectos sobre el clima, la Vegetación y los Animales. Siglo 21 editores, México, 1992: 4-9.

DDF. (1989). Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en el Valle de México. Departamento del Distrito Federal.

DDF.GEM, SEMARNAP, SSA (1996) Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE). Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaria de Salud.

Dean J. "Manual de Química" Lange. Decimo tercera edición. McGraww Hill, 1989.

De Mello W. Z. (2001), "Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil". Universidad Federal Fluminense, Instituto de Química, Departamento de Geoquímica.

De Mello W. Z., Marcelo D., De Almeida. (2003), "Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil". Departamento de Geoquímica, Universidad Federal Fluminense, Instituto de Química.

Falcón, B. Y. "La Contaminación por Partículas Suspendidas en la Atmósfera". La Contaminación Atmosférica en México, sus causas y efectos en la salud. Comisión Nacional de Derechos humanos, 1992:147-165.

Hu G.p. , Balasubramanian R. (2003), "Chemical Characterization of rainwater at Singapore". Department of Environmental Science and Engineering, College of Pulp And Environmental Engineering. South China University of Technology.

Harris, C. D. "Análisis Químico Cuantitativo". Grupo Editorial Iberoamericana. México, 1992: 653-665.

INE, CENICA. (1996). Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas. Instituto Nacional de Ecología, Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.

Jáuregui, E. The Urban Climates in the Tropical Environment, UNAM, México, junio de 1991.

Jáuregui, E. Efectos del clima urbano sobre los niveles de contaminación en la Ciudad de México, México, 1988.

Jáuregui, E. Local wind and Air Pollution Interaction in the Mexico Basic, Jáuregui, E., México, 1988.

Jiménez C. B. "La Contaminación Ambiental en México" causas, Efectos y Tecnología apropiada. Limusa. México, 2002.

Kazuhiko T., Kazutoku O., Paul R., Haddad, J., Fritz S. (2001) "high-performance ion-exclusion/cation-exchange chromatography of anions and cations in acid rain waters on a weakly acidic cation-exchange resin". National Industrial Research Institute of Nagoya, Japan School of Chemistry.

Mark E. P., Loretta M. S. "Ionic Stability of Precipitation Samples". Atmospheric Sciences section, Illinois State Water Survey., Urbana, IL 61801, U.S.A.

Mujeneg T, Rafael, Ph. D. "Contaminación Atmosférica" Fundamentos Físicos y Químicos. Instituto de Estudios De Administración Local Madrid. España, 1978: 78-97.

Kulshrestha U. C., Kulshrestha M., Sekar R., (2003), " Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India". Analytical and Environmental Chemistry Division, Indian Institute of Chemical Technology, Hyderabad 500 007, India.

Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume V: Precipitation Measurement Systems (Interim Edition).

Ruiz, B. J. Efecto que causa la lluvia ácida en monumentos construidos de roca caliza de la Zona Arqueológica de El Tajín. (Tesis de Licenciatura, 2003)

Sánchez, Quadri. "La Ciudad de México y la Contaminación Atmosférica". Limusa Noriega Editores. México, 1992: 27-39, 57-72.

SCA. Instructivo de muestreador automático de precipitación. Sección de Contaminación ambiental (SCA). Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA). U.N.A.M.

Mulik J. D. "Ion Chromatographic Analysis of Environmental Pollutants". Volume 2. Ann Arborscience.

Sema T., Selahattin Incecik., Aysel T. Atimtay. (2002), "Chemical composition of rainwater at Emep station in Ankara, Turkey". Department of Meteorology, Istanbul, Turkey.

SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003), GDF (Gobierno del Distrito Federal), Gobierno del Estado de México, SSA (Secretaria de Salud). Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002-2010.

Sosa, E. Rodolfo. Evaluación y control del benceno en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis Doctorado (2001).

<http://edafologia.ugr.es/Conta/Tema17/cgcrit.htm/marzo,2004>

<http://www.nodo50.org/panc/ere.htm/mayo,2004>

<http://www.ambiente-ecologico.com/mayo,2004>

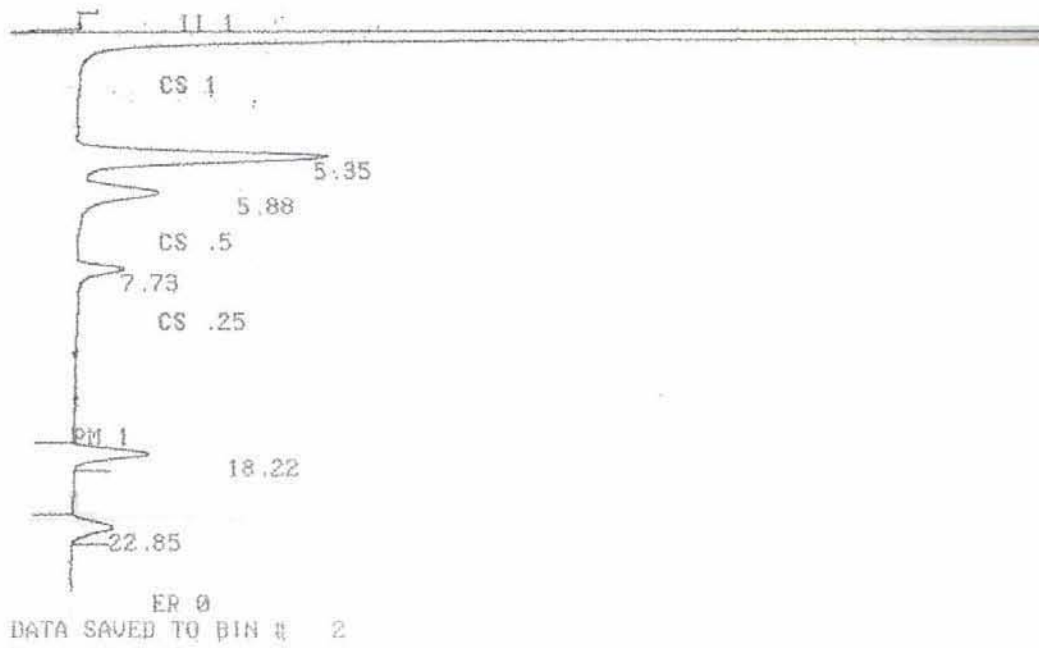
http://www.epa.gov/acidrain/enespanol/index._espanol..html/mayo,2004

<http://www.unescoeh.org/manual/html/mayo,2004>

ANEXO I

**CROMATOGRAMAS OBTENIDOS
DURANTE EL ANÁLISIS**

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de cationes (0.2 ppm).



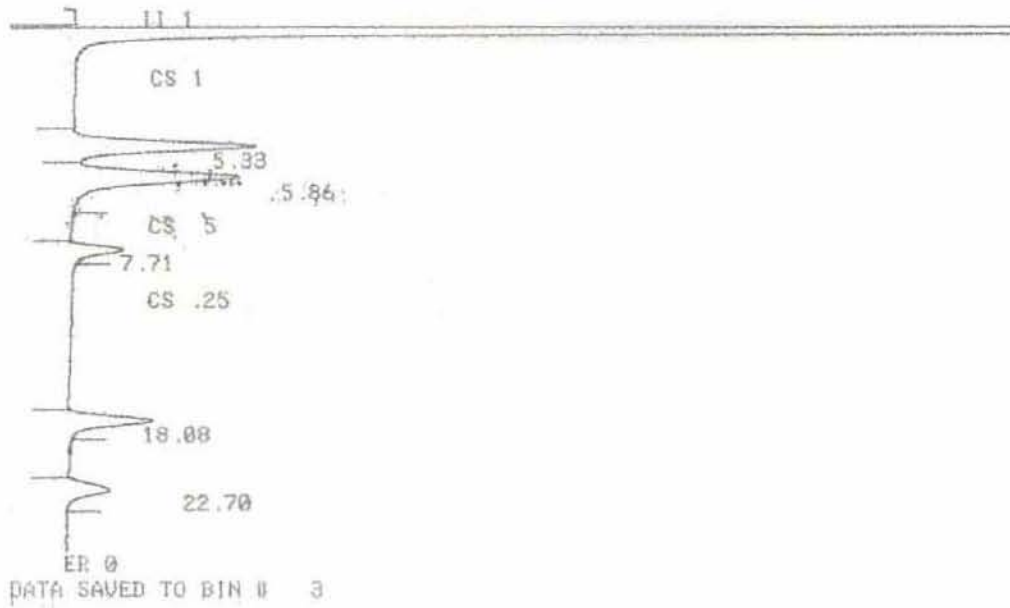
INPUT OVERRANGE AT RT= 1.37

CATIONES

FILE	METHOD	RUN	INDEX
1.	0.	2	2

PEAK#	AREA%	RT	AREA	SC
1	29.545	5.35	663065	02
2	11.324	5.88	254145	03
3	6.878	7.73	192243	01
4	30.781	18.22	690815	01
5	19.472	22.85	487809	01

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de cationes (0.4 ppm).



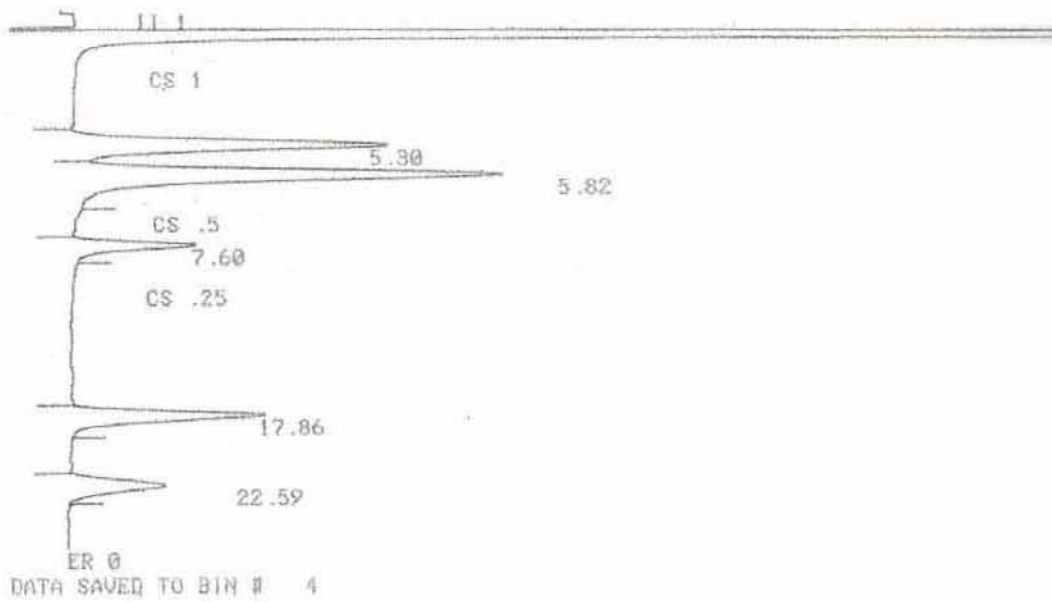
INPUT OVERRANGE AT RT= 1.38

CATIONES

FILE 1. METHOD 0. RUN 3 INDEX 3

PEAK#	HTX	RT	PK	HT	BC
1	34.866	5.33	22611	02	
2	31.772	5.86	20604	03	
3	9.61	7.71	6282	01	
4	15.745	18.08	10211	01	
5	8.006	22.7	5192	01	

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de cationes (1.0 ppm).



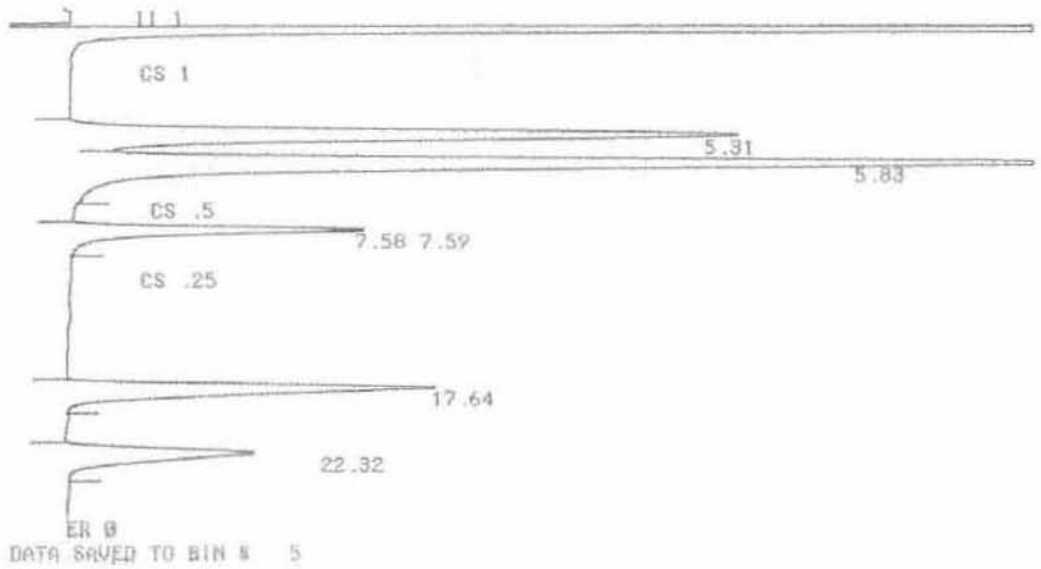
INPUT OVERRANGE AT RT= 1.37

CATIONES

FILE 1... METHOD 0. RUN 4 INDEX 4

PEAK#	AREA	RT	AREA BC
1	15.035	5.3	916104 02
2	23.127	5.82	1409139 03
3	8.716	7.6	531047 01
4	38.251	17.86	2026041 01
5	19.871	22.59	1210757 01

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de cationes (2.0 ppm).

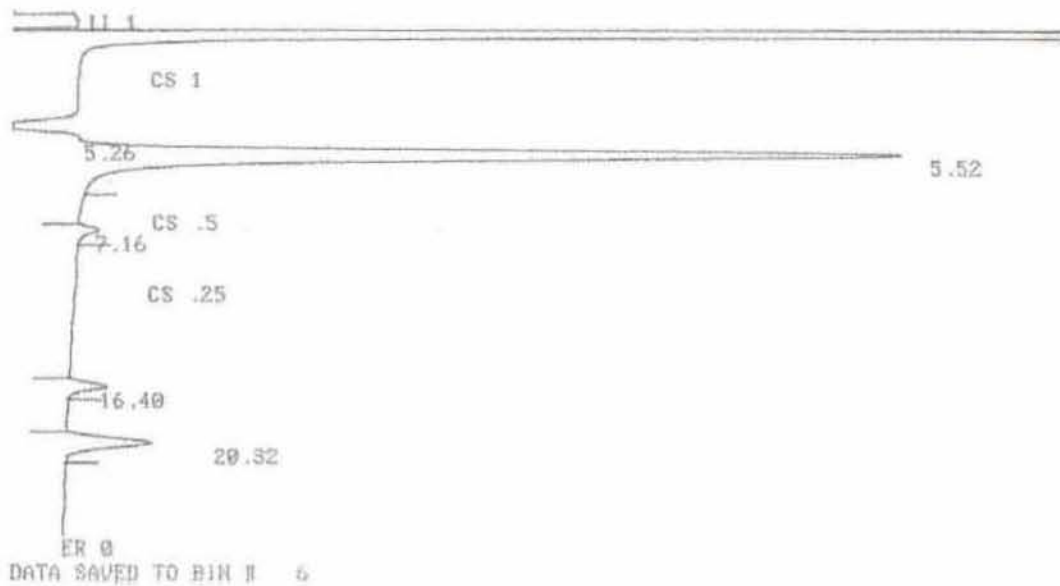


INPUT OVERRANGE AT RT= 1.58

CATIONES

FILE	METHOD	RUN	INDEX
1.	0.	5	5
PEAK#	HTX	RT	PK HT BC
1	23.722	5.31	89381 02
2	35.768	5.83	134765 03
3	18.368	7.58	39864 02
4	18.386	7.59	39133 03
5	13.08	17.64	49283 01
6	6.676	22.32	26153 01

Cromatograma de la muestra de CU del 21,22-agosto-2003.



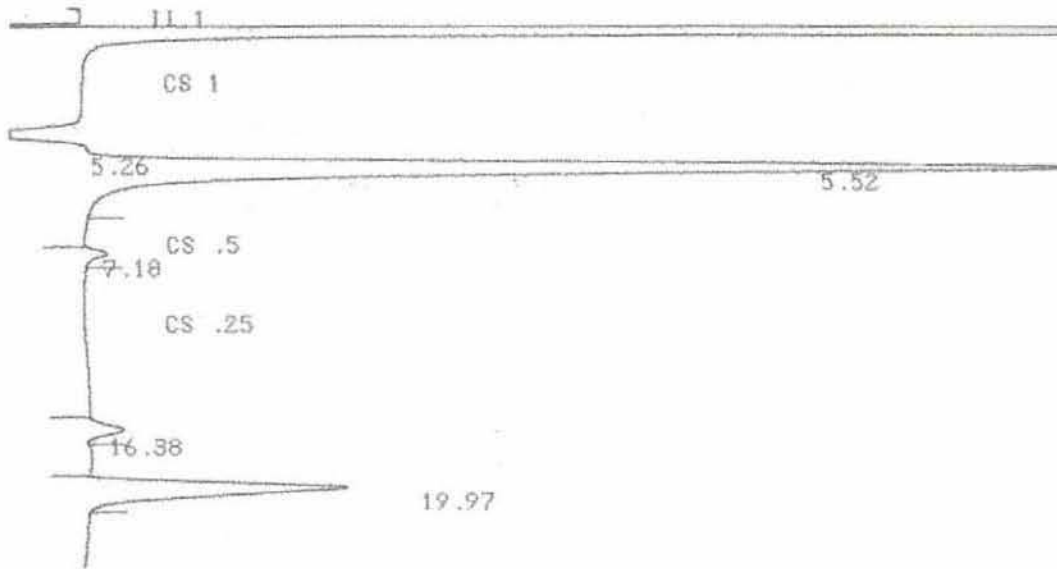
INPUT QUERRANCE AT RT= 1.31

CATIONES

FILE 1. METHOD 0. RUN 6 INDEX 6

PEAK#	AREA%	RT	AREA BC
1	4.274	5.26	203789 02
2	65.293	5.52	3112904 03
3	1.913	7.16	91215 01
4	7.854	16.4	349765 01
5	21.183	20.32	1009898 01

Cromatograma de la muestra de CU del 29-agosto-2003.



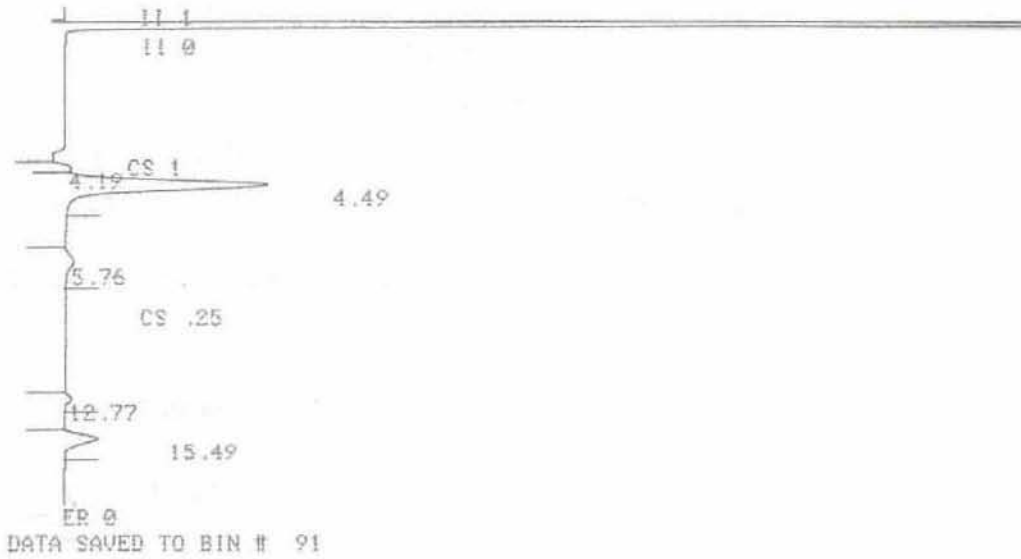
DATA SAVED TO BIN # 7

INPUT OVERRANGE AT RT= 4.99

CATIONES:

FILE	METHOD	RUN	INDEX
1.	0.	7	7
PEAK#	HT%	RT	PK HT BC
1	6.876	5.26	11453 02
2	71.376	5.52	118891 03
3	1.433	7.18	2387 01
4	2.433	16.38	4052 01
5	17.883	19.97	29788 01

Cromatograma de la muestra de CU del 10,11-mayo-2004.

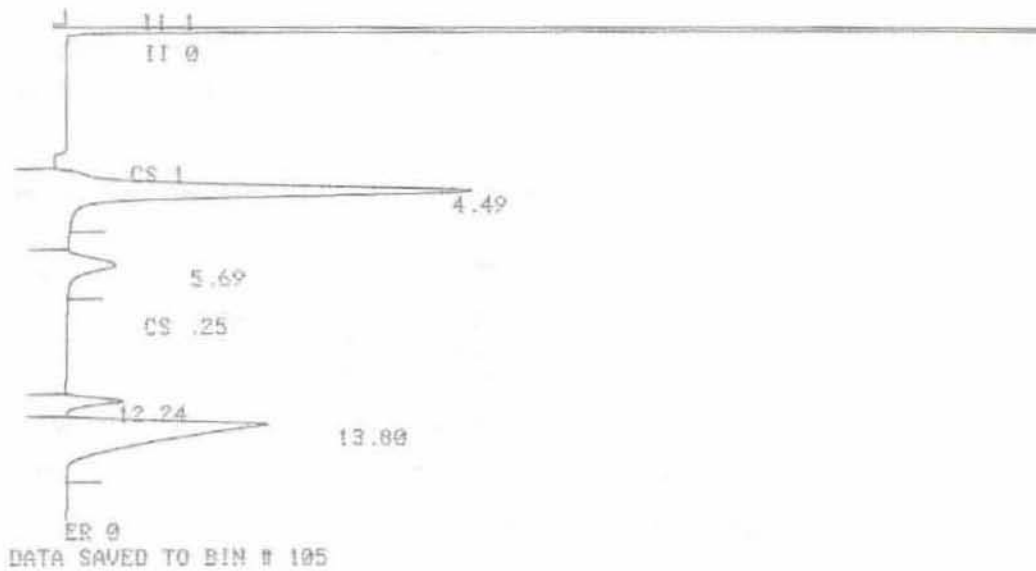


INPUT OVERRANGE AT RT= 4.09

CATIONES

FILE	METHOD	RUN	INDEX
1.	0.	92	92
PEAK#	HTZ	RT	PK HT BC
1	6.354	4.19	17323 02
2	75.562	4.49	205997 03
3	3.132	5.76	8537 01
4	2.536	12.77	6915 01
5	12.416	15.49	33849 01

Cromatograma de la muestra de CU del 31-mayo-2004.



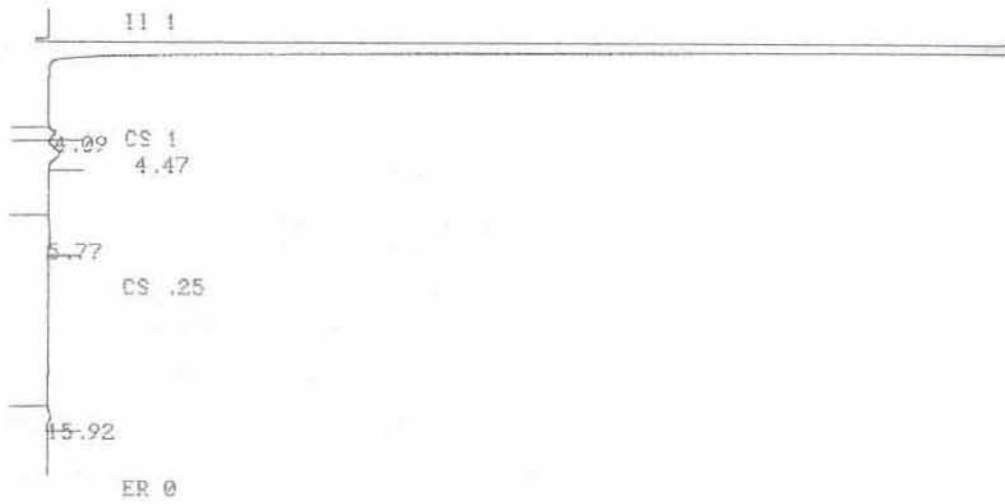
INPUT OVERRANGE AT RT= 4.09

CATIONES

FILE 1. METHOD 0. RUN 106 INDEX 106

PEAK#	AREA%	RT	AREA	BC
1	23.811	4.49	10680436	01
2	2.987	5.69	1339928	01
3	7.717	12.24	3461225	02
4	65.485	13.8	29372937	03

Cromatograma de la muestra de El Tajín 11-sep-2004.



INPUT OVERRANGE AT RT= 1.1

CATIONES

FILE	METHOD	0.	RUN	2	INDEX	2
PEAKE	HT%	RT	PK	HT	BC	
1	26.488	4.09	5435		01	
2	51.091	4.47	10483		01	
3	9.004	5.77	1847		01	
4	13.418	15.92	2753		01	

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de aniones (0.5 ppm).



INPUT OVERRANGE AT RT= 0.75

ANIONES

FILE 1.	METHOD 0.	RUN 200	INDEX 200
PEAK#	HTX	RT	PK HT BC
1	78.943	2.65	2011 01
2	12.773	4.81	325 01
3	8.284	15.92	211 01
TOTAL	100.		2547

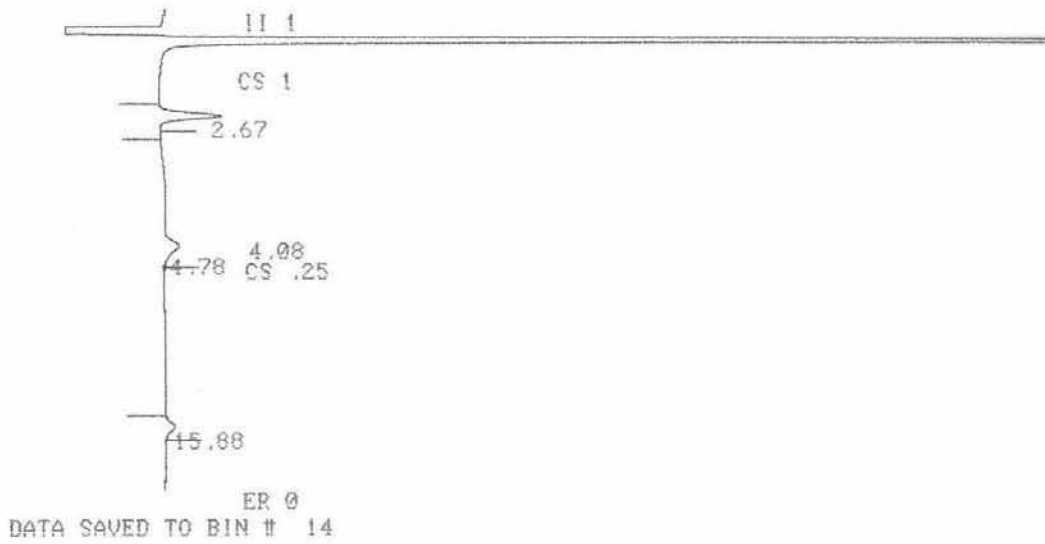
WARNING - MEMORY AT 4. K - UNPROTECTED CHROMATOGRAMS WILL BE
PH=2

INPUT OVERRANGE AT RT= 0.75

ANIONES

FILE 1.	METHOD 0.	RUN 200	INDEX 200
PEAK#	AREA%	RT	AREA BC
1	51.215	2.65	25332 01
2	17.506	4.81	8659 01
3	31.279	15.92	15471 01

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de aniones (2.0 ppm).

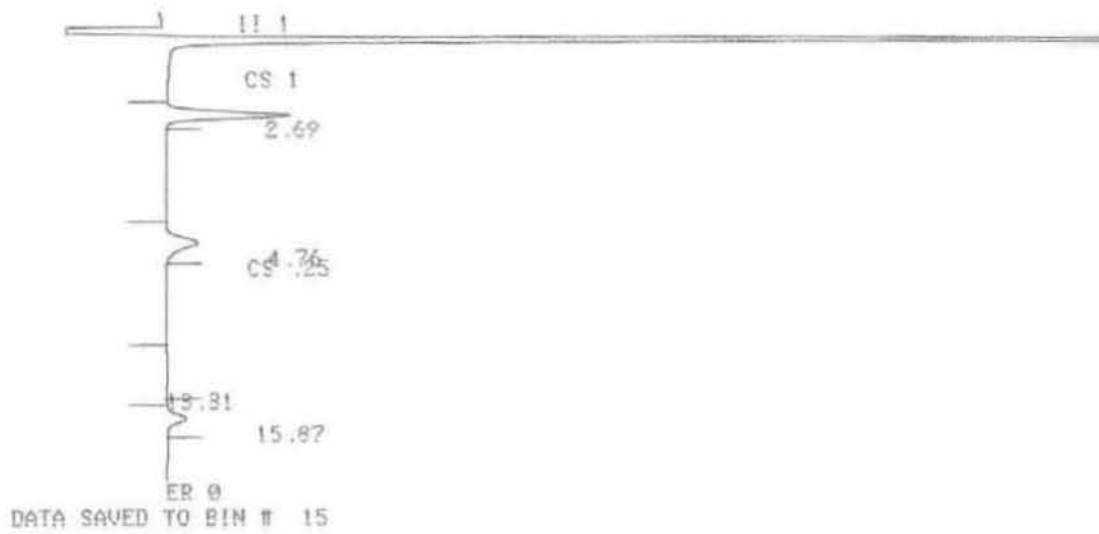


INPUT OVERRANGE AT RT= 0.77

ANIONES

FILE	METHOD	RUN	INDEX
1.	0.	281	281
PEAK#	AREA%	RT	AREA BC
1	34.371	2.67	99609 01
2	16.311	4.08	47269 02
3	19.956	4.78	57834 03
4	29.361	15.88	85090 01

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de aniones (4.0 ppm).

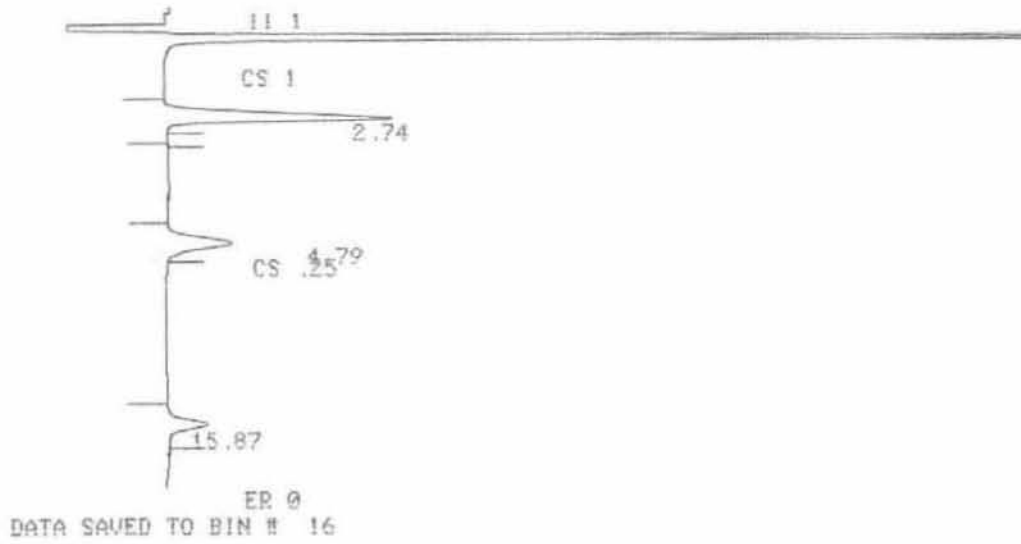


INPUT OVERRANCE AT RT= 0.76

ANIONES

FILE 1.	METHOD 0.	RUN 202	INDEX 202
PEAK#	HTX	RT	PK HT BC
1	71.186	2.69	15179 01
2	17.715	4.76	3777 01
3	0.46	13.31	98 01
4	10.64	15.87	2269 01

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de aniones (8.0 ppm).

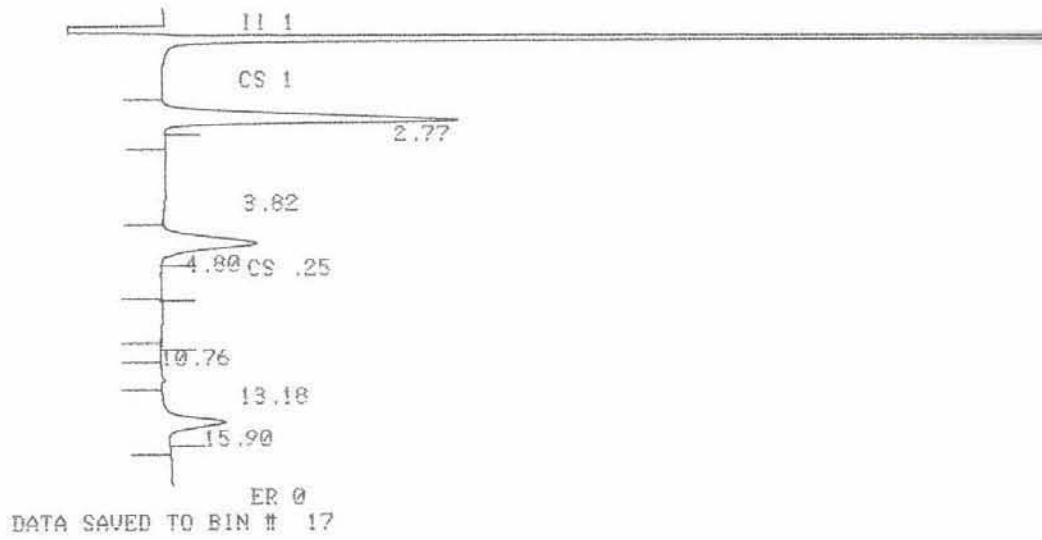


INPUT OVERRANGE AT RT= 0.77

ANIONES

FILE 1.	METHOD 0.	RUN 283	INDEX 283
PEAK#	AREA%	RT	AREA BC
1	43.765	2.74	439751 01
2	19.19	4.79	192823 01
3	37.045	15.87	372236 01

Cromatograma de disolución estándar de mezcla de aniones (12.0 ppm).



INPUT OVERRANCE AT RT= 0.76

ANIONES

FILE 1.	METHOD 0.	RUN 284	INDEX 284
PEAK#	HT%	RT	PK HT BC
1	64.665	2.77	35781 01
2	0.477	3.82	264 02
3	20.67	4.8	11437 03
4	0.2	10.76	111 01
5	0.911	13.18	504 02
6	13.077	15.9	7236 03

Cromatograma de la muestra de CU del 10,11-mayo-2004.



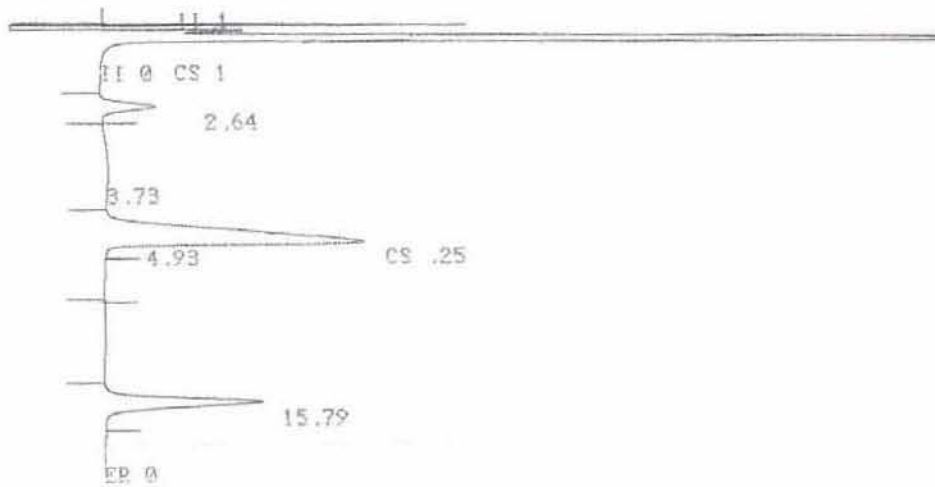
INPUT OVERRANGE AT RT= 0.76

ANIONES

FILE 1, METHOD 0, RUN 292 INDEX 292

PEAK#	AREA%	RT	AREA BC
1	13.594	2.66	98560 01
2	46.829	4.8	339512 01
3	39.577	15.87	286937 01

Cromatograma de la muestra de CU del 31-mayo-2004.



INPUT OVERRANGE AT RT= 9.73

ANIONES

FILE 1.	METHOD 0	RUN 291	INDEX 291
PEAK#	AREA%	RT	AREA BC
1	3.81	2.64	109326 01
2	2.192	3.73	62917 02
3	37.896	4.93	1087501 03
4	56.102	15.79	1609947 01
TOTAL	100.		2869691