

INFORME ANUAL 1996



PRECIPITACIONES ACIDAS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

DIRECCION GENERAL DE PREVENCIÓN
Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO
ATMOSFÉRICO - RAMA

II. Introducción

La composición química del agua de lluvia ha recibido considerable atención durante los últimos 20 años, particularmente en áreas con altos niveles de contaminación atmosférica, Buijsman, *et al.*, 1991. Su estudio representa una tarea necesaria dentro de las actividades de evaluación de calidad del aire.

En las áreas urbanas el agua de lluvia es influenciada por fuentes naturales y antropogénicas. Polvos y partículas provenientes de suelos erosionados, de campos de cultivo barbechados, de áreas no pavimentadas y carentes de vegetación, así como la emisión de contaminantes asociados con la quema de combustibles fósiles que consumen los vehículos automotores, las industrias, los comercios y servicios, originan la formación de compuestos ácidos que contribuyen a modificar significativamente la composición natural del agua de lluvia.

Durante la temporada de lluvias 1996, en los sitios localizados en la zona suroeste (Lomas, Pedregal y Felipe Ángeles) se registraron los valores de pH más bajos del agua de lluvia. Manifestándose así, la presencia de precipitación ácida en esta zona. Sin embargo, existen aspectos inciertos asociados a éste problema ambiental en la ciudad; ¿hasta donde abarca el área geográfica, en la cual el pH del agua de lluvia es ácida?, ¿existen daños?, ¿cuáles son las tasas de acidificación?..., etc.

Actualmente, en la ZMCM existen normas de calidad del aire establecidos para los precursores¹ de lluvia ácida, que permiten su evaluación y vigilancia en la atmósfera. Respecto a su control el mejoramiento de combustibles representa una medida de prevención en la formación de precipitación ácida.

¹ **Bióxido de azufre:** 0.13 partes por millón , promedio de 24 horas.

Bióxido de nitrógeno: 0.21 partes por millón, promedio de una hora.

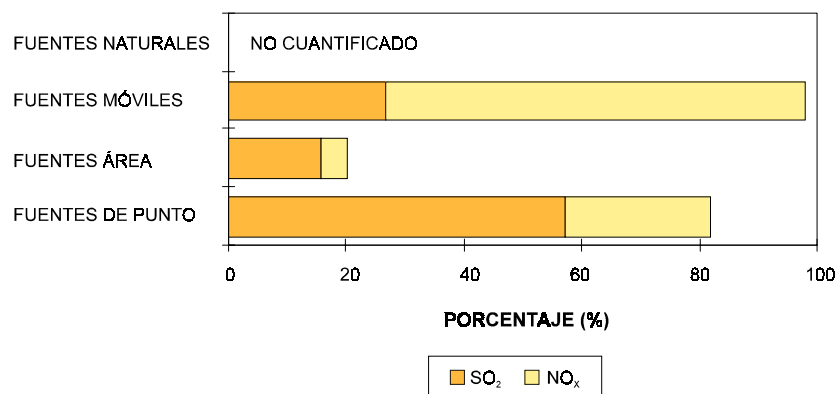
III. El fenómeno de precipitación ácida

El agua de lluvia por naturaleza es ligeramente ácida, causada por la formación de ácido carbónico, cuando la humedad atmosférica alcanza su equilibrio con el bióxido de carbono presente en el ambiente. En áreas remotas del mundo el valor promedio de pH del agua de lluvia es de 4.9, con episodios de pH 4.0 - 6.0. Tales mediciones asociadas al ciclo natural del azufre sugieren que en ausencia de la actividad humana y las emisiones naturales de polvo alcalino, ácidos orgánicos y nitrógeno influyen en la acidez natural (pH) del agua de lluvia, por lo que en estudios recientes los investigadores han considerado un valor de 5.0 como el pH natural del agua de lluvia, denominando las lluvias ácidas cuando el pH es inferior al valor de 5.0. Irwin and Williams, 1988; NAPAP, 1990.

La formación de precipitación ácida en la atmósfera se asocia con procesos de transformación química, en donde participan los precursores óxidos de azufre y de nitrógeno, provenientes de fuentes naturales y antropogénicas (de área¹, de punto y móviles). Originando ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃), principalmente.

En la ZMCM la contribución de SO_x y NO_x provenientes de diferentes fuentes se presenta en la Gráfica No. 1. La contribución de SO₂ proveniente de las fuentes de punto son significativas, su distribución espacial se muestra en la Figura No. 1, en el cual las zonas de mayor emisión se constituyen en el noroeste (Municipios de Tlanepantla y Atizapan de Zaragoza) y en el noreste de la ciudad (delegación Gustavo A. Madero, Municipio de Ecatepec, Netzahualcóyotl, Chimalhuacan, la Paz e Ixtapaluca). Niveles de emisión asociados con la alta densidad industrial en dichas áreas, las cuales utilizan gas natural (61.2%), gasóleo (68%), diesel especial (70%) y gas LP (22.8%), combustibles con contenido de azufre menor a 2%. García, *et al.*, 1996.

Gráfica No. 1. Contribución de SO₂ y NO_x



Fuente: Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación, 1996.

¹ Las **fuentes de área** incluyen aquellos puntos de emisión que por ser pequeños y/o numerosos no son considerados como fuentes fijas. Sus emisiones son menores a 10 ton/año. Algunos ejemplos lo constituyen los talleres de artes gráficas, tintorerías, panaderías, hospitales, hoteles, restaurantes, gasolineras, etc.

IV. Metodología

IV.1 Sitios de monitoreo

El número de sitios monitoreados fueron doce, once de ellos ubicados dentro de la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (RMMA) y uno en el Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica (LBFQ). La distribución de los sitios de monitoreo cubren las cinco zonas de la ZMCM, Figura No. 3.

IV.2 Técnica de muestreo

La evaluación de las precipitaciones ácidas en diferentes regiones del mundo se lleva a cabo, mediante diversos equipos de muestreo que permiten la aplicación de las técnicas de muestreo por *depósito total*, *depósito húmedo - seco*, *depósito húmedo*, *depósito semihúmedo* y *depósito secuencial*, Colin, J. L. *et al.*, 1990; Davies, T. D. *et al.*, 1990; Forti, *et al.*, 1990; Gatz, 1991.

En la ZMCM el monitoreo del agua de lluvia se efectuó a través de un embudo acoplado a una botella¹, obteniéndose el depósito húmedo y seco. A esta técnica de muestreo se le denomina *depósito total*. Figura No. 4, y ha sido descrita como la técnica de muestreo que permite captar el depósito húmedo más algunos componentes introducidos al colector en forma seca. De esta forma es posible obtener un grupo razonable de datos que permite evaluar la composición atmosférica en una región específica, Forti, *et al.*, 1990, además de estimar la contribución total del depósito atmosférico, Durst, R. A., *et al.*, 1991.

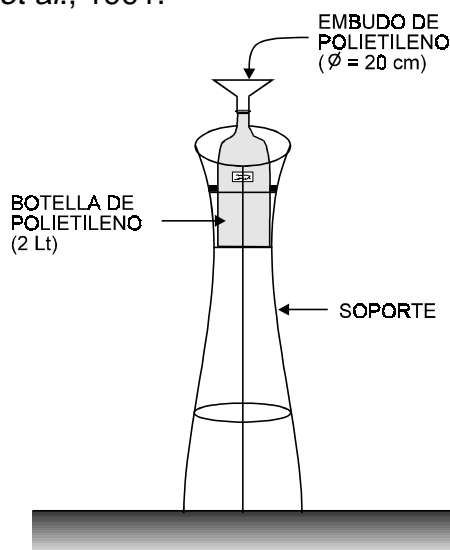


Figura No. 4. Colector de agua de lluvia.

¹ En la elección de material para realizar la captación del agua de lluvia es recomendable el uso de materiales libres de catalizadores, en especial aquellos fabricados bajo alta presión (polietileno, polipropileno, etc.), material que evita que el pH del agua se altere, Peñaranda, L. F., 1988.

V. Resultados y análisis

Los datos fueron sometidos a un proceso de validación previo a su tratamiento estadístico. Considerando principalmente; período de recolección no mayor a 8 días, concentración superior al límite de detección de la técnica de análisis químico, valores de concentración no dudosos, especificación clara del período de recolección y sitio de monitoreo. Resultando 221 muestras con datos confiables.

El análisis estadístico inició con un análisis estadístico descriptivo, seguido de la fragmentación de datos en clases, lo que permitió conocer la cantidad de valores frecuenciales relacionados con los «cortes» o «clases» que definieron el comportamiento grupal de los valores de cada parámetro fisicoquímico.

Así mismo, se realizaron mapas de distribución espacial a través del Software ARC/INFO. Lo cual permitió determinar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua de lluvia en la ZMCM.

Se realizó un estudio simultáneo de los constituyentes químicos a través de un análisis de correlación. Las variables pH y conductividad fueron sujetas a un análisis comparativo con las mediciones obtenidas *in-situ* y en laboratorio. La información sobre observación microscópica de sedimentos en las muestras de agua de lluvia fue analizada cualitativamente. Finalmente, se relacionaron los niveles de mayor acidez con las condiciones meteorológicas prevalecientes, obteniéndose el campo de vientos del día 20 de agosto a diferentes horas del día, a través de la metodología propuesta en el modelo fotoquímico desarrollado por el Instituto de California (subrutina de interpolación del campo de vientos adecuada a las condiciones de la ciudad de México).

La recolección del agua de lluvia durante la campaña de muestreo 1996 se efectuó en períodos de recolección de 3 a 8 días. En la Gráfica No. 2 se muestra que los períodos de 6 y 7 días fueron los que agruparon el mayor número de muestras, con 107 y 71 muestras, representando el 48.4% y 32.1% respectivamente. Alcanzando un 80.5% del total de muestras recolectadas. El porcentaje alcanzado cumplió con el protocolo de muestreo establecido previo a la campaña de monitoreo. Las muestras agrupadas en los períodos restantes fueron obtenidas en períodos no normales, debido principalmente a la dificultad de acoplar los tiempos de recolección de muestras de la Red Manual y del Programa de Precipitaciones Ácidas.

VI. Distribución espacial de los componentes iónicos

VI.1 Potencial Hidrógeno (pH)

Durante 1996 los valores más ácidos de pH 4.3 - 4.6 y 4.6 - 5.0 se distribuyeron en la zona suroeste de la ZMCM, dichos valores de pH se ubicaron por debajo de los valores criterio (5.0 y 5.6) a partir de los cuales se considera el agua de lluvia como ácida.

En contraste, los valores menos ácidos de pH 5.6 - 6.0 y 6.0 - 6.6 se obtuvieron en la zona noreste de la ciudad, niveles influenciados por partículas y polvos de naturaleza alcalina suspendidos en la atmósfera y precipitados a través de la lluvia, lo que originó un efecto amortiguador en el pH del agua de lluvia.

Los intervalos de pH 5.0 - 5.4 y 5.4 - 5.6 obtenidos principalmente en las zonas noroeste - centro - sureste corresponden a niveles de pH normal del agua de lluvia.

Semejante a los años pasados, en la zona suroeste continúan detectándose eventos de precipitación pluvial con pH ácidos. En este año los intervalos de pH más bajos fueron comparables a 1994 y 1995. Las delegaciones impactadas por los niveles de mayor acidez incluyen a: Alvaro Obregón, Magdalena Contreras, Coyoacán y Tlalpan. Figura No. 6.

VI.2 Conductividad

La conductividad se distribuyó en la ZMCM en dos intervalos. El primero de 40 - 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se presentó en casi toda la ZMCM. Mientras que el segundo de $>60 - 100 \mu\text{S}/\text{cm}$ se estableció en los sitios Xalostoc (zona noreste) y Xochimilco (zona sureste). Figura No. 7.

Los valores de conductividad son el resultado del balance iónico de las muestras. Es así que en los sitios Xalostoc (zona noreste) y Xochimilco (zona sureste) la conductividad se relaciona con los niveles altos de cationes. En comparación con el resto de los sitios de monitoreo, donde la concentración de los cationes es baja, y en consecuencia los niveles de conductividad son bajos.

En 1996, la conductividad registrada mostró una disminución considerable de sus valores, respecto a 1994 y 1995. Como resultado de la protección del embudo, ayudando a reducir los problemas de contaminación en las muestras.

VII. Análisis de correlación de los componentes iónicos

La Figura No. 13 muestra la matriz de correlación obtenida para la campaña de muestreo 1996, en ella se aprecia que el pH presentó mayor relación con el ion calcio ($r = 0.48$). La conductividad mostró mayor correlación con los iones calcio ($r = 0.90$) y sulfatos ($r = 0.72$). Los nitratos también presentaron afinidad con la conductividad ($r = 0.70$). Los sulfatos con el calcio ($r = 0.61$). Mientras que el sodio con la conductividad ($r = 0.69$) y con el calcio ($r = 0.68$). Por su parte, el potasio con el sodio ($r = 0.50$) y finalmente el magnesio con el calcio ($r = 0.54$).

Por lo anterior, se observa que la conductividad y el ion calcio prevalecen sus correlaciones con el resto de los iones. Demostrando que el calcio puede influenciar notablemente el balance iónico de las muestras. No obstante, el promedio ponderado de pH durante la campaña de muestreo 1996 fue de 4.8, valor típico de las lluvias ácidas, en el cual la influencia del ion sulfato sobre el pH fue más significativa, a pesar de su relación con el ion calcio.

**Figura No. 13. Matriz de correlaciones totales
mayo - octubre de 1996**

	Días	pHL	Volumen	Conductividad	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Días	1.00									
pH	0.20	1.00								
Volumen	0.01	-0.33	1.00							
Conductividad	-0.08	0.29	-0.43	1.00						
NO ₃ ⁻	-0.13	0.02	-0.30	0.70	1.00					
SO ₄ ⁼	0.02	0.30	-0.50	0.72	0.50	1.00				
Na ⁺	0.04	0.36	-0.30	0.69	0.46	0.45	1.00			
K ⁺	0.10	0.35	-0.39	0.43	0.24	0.31	0.50	1.00		
Ca ⁺⁺	0.04	0.48	-0.38	0.90	0.52	0.61	0.68	0.43	1.00	
Mg ⁺⁺	0.02	0.30	-0.15	0.49	0.37	0.26	0.49	0.38	0.54	1.00

En la Tabla No. 1 se observa que los valores promedio más altos de aniones y cationes corresponden a los iones sulfato y calcio, respectivamente.

**Tabla No. 1. Concentración promedio de los parámetros
físicoquímicos del agua de lluvia
mayo - octubre de 1996**

pH Lab ⁵	Volumen ml	Conductividad μS/cm	SO ₄ ⁼ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l
4.8	767.0	54.58	7.29	5.28	1.18	0.61	4.26	0.42

⁵ Promedio ponderado de las mediciones de pH determinadas en el laboratorio.

VIII. Condiciones meteorológicas prevalecientes durante los períodos de mayor acidez

Durante la campaña de muestreo 1996, los eventos de precipitación pluvial más ácidos fueron:

**Tabla No. 2 Períodos de mayor acidez
mayo - octubre de 1996**

Fecha	Sitio	Zona	pH
Del 14 al 20 de agosto	XCH	Sureste	3.62
Del 15 al 21 de agosto	LOM	Suroeste	3.85
Del 13 al 19 de septiembre	LOM	Suroeste	3.87
Del 31 de julio al 07 de agosto	PED	Suroeste	3.91
Del 14 al 20 de agosto	FAN	Suroeste	3.97

El período del 14 al 20 de agosto fue elegido para analizar las condiciones meteorológicas prevalecientes en las zonas en donde se registró el primero y segundo valor de mayor acidez. Por lo que, se seleccionó a las estaciones de la Red Automática (las cuales reportan datos meteorológicos) más cercanas a los sitios de monitoreo de agua de lluvia.

Estás fueron en la zona sureste el sitio Cerro de la Estrella y en la zona suroeste el sitio Pedregal, éste último se localiza en el mismo lugar donde se encuentra el colector de agua de lluvia. Lo anterior con el fin de establecer la posible influencia de las condiciones meteorológicas en la química de las precipitaciones pluviales monitoreadas durante ese período.

En la Gráfica No. 13 se observa que en el sitio Cerro de la Estrella, la humedad relativa fluctuó de 36 a 90 %, la temperatura fue de 12.6 a 22 °C, mientras que la velocidad del viento registrada se ubicó en 0.06 a 2.75 m/seg.

Mientras que en el sitio Pedregal en el mismo período, Gráfica No. 14 la humedad relativa osciló de 37 a 89 %, la temperatura de 12.10 a 21.6 °C y la velocidad del viento registró valores de 0.07 a 3.66 m/seg.

En ambos sitios las condiciones prevalecientes de humedad relativa, temperatura y velocidad del viento en el período del 14 al 20 de agosto fueron similares. Considerando la dirección y velocidad del viento como una variable que influye de manera importante en las concentraciones de iones. Posteriormente, se procedió con el análisis del comportamiento de la dirección y velocidad del viento a diferentes horas del día (de las 01:00 a las 24:00 horas) durante los días del 14 al 20 de agosto, después de su análisis se seleccionaron los campos de viento del

IX. Análisis del pH en el sitio de monitoreo y en el laboratorio

Exceptuando al sitio de monitoreo Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica (zona noroeste) en el resto de los sitios se realizó la medición de pH en campo (*in-situ*) al finalizar el período de muestreo, posteriormente se enviaron las muestras al laboratorio para su análisis físicoquímico (incluyendo nuevamente la medición de pH). Un total de 152 muestras reportaron mediciones de pH de campo y laboratorio.

En la Gráfica No. 15 se aprecia el análisis de correlación obtenido, un valor de 0.78 representó buena correlación entre ambas variables. El cual se relaciona con las mediciones de pH efectuadas antes (campo) y después (laboratorio). Ambas lecturas obtenidas en períodos de tiempo corto, es decir en el mismo día. Por lo que, los valores de pH obtenidos en campo y laboratorio fueron semejantes para la mayoría de las muestras.

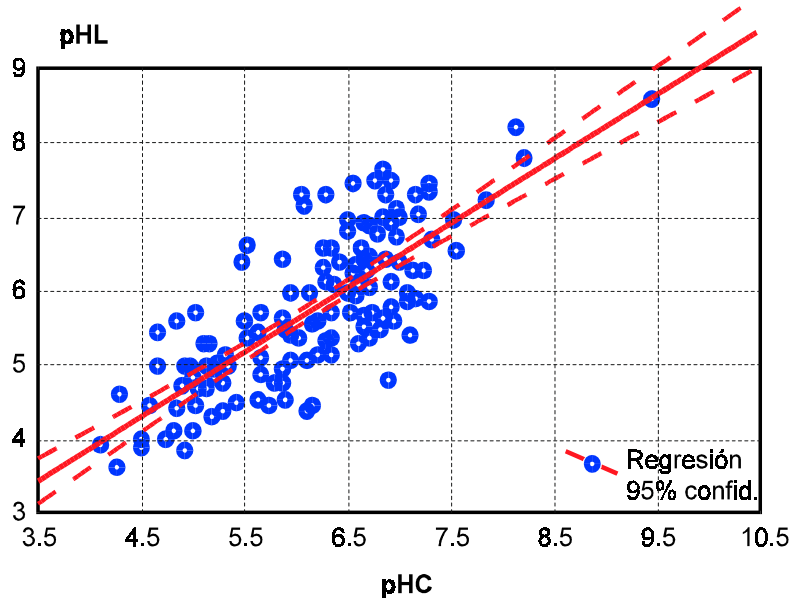
Sin embargo, analizando las mediciones de pH por sitio de monitoreo se observa que los valores de correlación fueron: Lomas: 0.94, Xochimilco: 0.93, Tlalnepantla: 0.84, Netzahualcóyotl Sur: 0.83, Chapingo: 0.79, Xalostoc: 0.78, Cerro del Tepeyac: 0.77, Secretaría de Hacienda: 0.76, Felipe Ángeles: 0.70, Pedregal: 0.64 y Museo: 0.54. En los últimos sitios las mediciones de pH presentaron valores de correlación bajos, influenciando al valor global de correlación. Figura No. 20.

Para disminuir las diferencias de los valores de correlación entre los sitios de monitoreo, es necesario controlar variables como temperatura, tiempo, equipo de medición y grado de apreciación de los analistas.

Gráfica No. 15. pH Laboratorio (pHL) vs. pH Campo (pHC)

$$\text{pHL} = .37367 + .87052 * \text{pHC}$$

correlación: $r = 0.78$



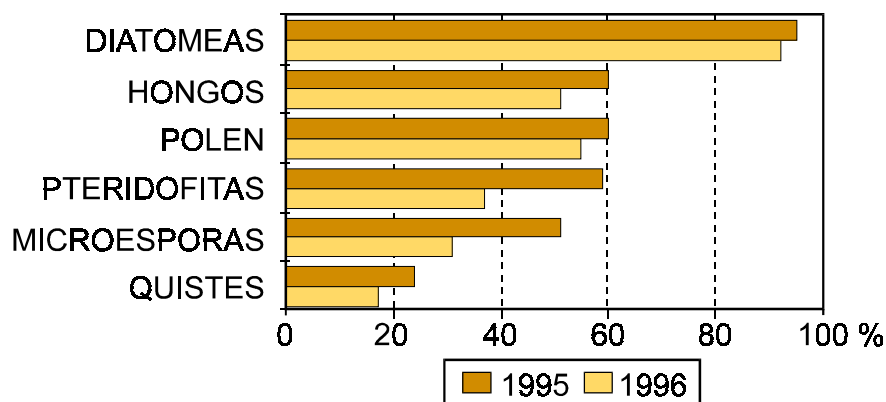
X. Análisis biológico del agua de lluvia

Después de una revisión minuciosa de las muestras de agua de lluvia se establecieron los indicadores biológicos: quistes (huevecillos de parásitos), estructuras de reproducción (hongos -que en las muestras de agua de lluvia solamente se han observado *hifas*-, esporas, microesporas, polen), diatomeas y pteridofitas¹.

Se realizó un análisis cualitativo del material biológico, determinando la presencia o ausencia de éstos en 216 muestras de agua de lluvia. La filtración de las muestras (300 ml) se realizó en membrana estéril de nitrocelulosa de 47 mm y de 0.45 μ de diámetro de poro y la observación microscópica a 10X, 40X y 100X.

Los resultados representados en la Gráfica No. 17 muestran el porcentaje registrado para cada elemento biológico y su relación porcentual respecto al año pasado. Las diatomeas registraron el porcentaje más alto (95%), seguido del polen y hongos (60%), pteridofitas (59%), microesporas (51%) y quistes (24%). Asimismo, se aprecia una ligera disminución de cada uno respecto a 1995.

Gráfica No. 17. Observación microscópica del agua de lluvia mayo - octubre de 1996



Un análisis por sitio de monitoreo mostró que las *diatomeas* se presentaron en todos los sitios con la frecuencia más alta en comparación con el resto de los elementos biológicos. Siendo Pedregal (zona suroeste) el sitio con mayor número de muestras con diatomeas. Por su parte, los *quistes* se presentaron mayor frecuencia en muestras de los sitios Lomas y Pedregal (zona suroeste). Las *microesporas* se detectaron en mayor número en el sitio Xochimilco (zona sureste). El *polen* predominó en muestras recolectadas en los sitios Pedregal y Felipe Ángeles (zona suroeste). Mientras que las *pteridofitas* se encontraron con mayor repetición en el sitio Felipe Ángeles (zona suroeste) y los *hongos* mostraron mayor incidencia en el sitio Museo de la Cd. de México (zona centro), Gráfica No. 18.

¹ Ver glosario.

XI. Comportamiento histórico del pH del agua de lluvia

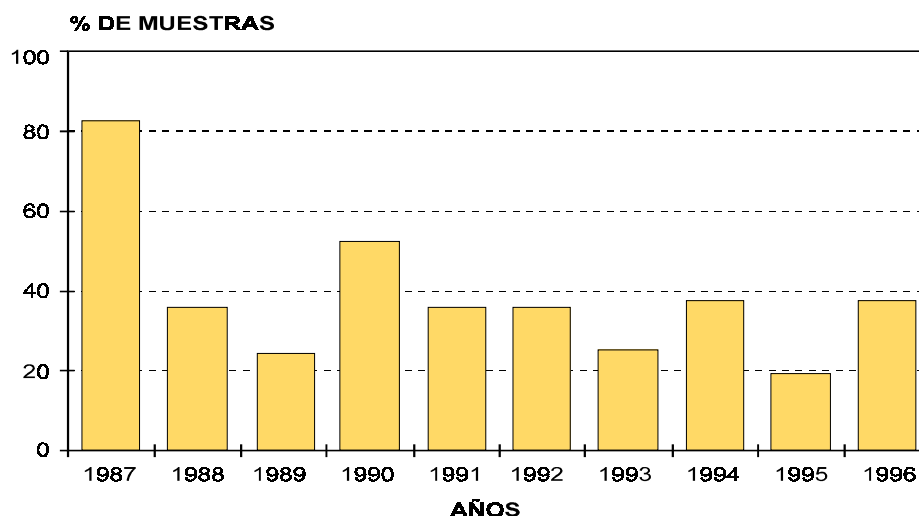
La cantidad de muestras de agua de lluvia con pH menor a 5.6 ha fluctuado cada año. No se observa ningún comportamiento, en la mayoría de los años el porcentaje de valores ácidos se ha ubicado entre el 19.1% y 37.65%. En 1987 y 1990 el porcentaje de muestras ácidas fue de 82.6 y 52.3%, Gráfica No. 19.

En la Gráfica No. 20, los valores de concentración más bajos de pH (es decir los más ácidos) en el período 1987 - 1996 presentan un comportamiento estable, los niveles se han mantenido en el intervalo de 3.4 a 3.9 unidades de pH y se han registrado en un 80% en la zona suroeste, como se ilustra en la Tabla No. 3.

**Tabla No. 3. pH histórico mínimo
período 1987 - 1996**

Año	Zona	Sitio	pH
1987	Suroeste	Felipe Ángeles	3.9
1988	Noreste	Cerro del Tepeyac	3.6
1989	Suroeste	Lomas	3.4
1990	Suroeste	Pedregal	3.7
1991	Suroeste	Felipe Ángeles	3.8
1992	Suroeste	Pedregal	3.9
1993	Suroeste	Lomas	3.7
1994	Suroeste	Inst. Nac. Ecología y Felipe Ángeles	3.5
1995	Suroeste	Pedregal	3.5
1996	Sureste	Xochimilco	3.6

**Gráfica No. 19. Porcentaje de precipitación ácida en la ZMCM
criterio utilizado pH < 5.6
depósito total**



XII. Bibliografía

- [1] Buijsman, ED *et al.*, 1991. ***Chemical Composition of Precipitation Collected on a Weathership on the North Atlantic***. Atmospheric Environment Vol. 25A No. 5 págs. 873 - 883.
- [2] Butler J. Thomas and Likens E. Gene, 1991. ***The Impact of Changing Regional Emissions on Precipitation Chemistry in the Eastern United States***. Atmospheric Environment Vol. 25A No. 2 págs. 305 - 315.
- [3] Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación, 1996. ***Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000***. México.
- [4] Colin, J. L., *et al.*, 1990. ***Solubility of Major Species in Precipitation: Factors of Variation***. Atmospheric Environment Vol. 24A págs. 537 - 544.
- [5] Davies, D.T., *et al.*, 1990. ***Use of Simple Daily Atmospheric Circulation Types for the Interpretation of Precipitation Composition at a Site (Eskdalemuir) in Scotland, 1978 - 1984***. Atmospheric Environment Vol. 24A No. 1 págs. 63 - 72.
- [6] DDF., 1987. ***Atlas de la Ciudad de México***. Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México.
- [7] DGCOH, 1996. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. ***Datos Mensuales de Precipitación Pluvial***.
- [8] Durst, R. A., *et al.*, 1991. ***Analysis of Wet Deposition (Acid Rain): Determination of The Major Anionic Constituents by Ion Chromatography***. Pure & Appl. Chem. Vol 63 No. 6 págs. 907 - 915.
- [9] EPA, 1988. Washington DC. ***Trends in the Quality of the Nation's Air***.
- [10] Forti, *et al.*, 1990. ***Elements in the Precipitation of S. Paulo City (Brazil)***. Atmospheric Environment Vol. 24B No. 2 págs. 355 - 360.
- [11] García, *et al.*, 1996. ***Contribution of Natural and Anthropogenic Emissions to Acid Precipitation Formation in the Mexico City Metropolitan Area***. The Emission Inventory: Key to Planning, Permits, Compliance and Reporting. September 4-6, 1996. New Orleans. Louisiana, E.U.A. A&WMA-EPA.
- [12] Gatz, F., 1991. ***Urban Precipitation Chemistry: A Review and Synthesis***. Atmospheric Environment Vol. 25B No. 1 págs. 1 - 15
- [13] Irwin, J. G and Williams, M.L., 1988. ***Acid Rain: Chemistry and Transport***. Environmental Pollution Vol. 50 págs. 29 - 59.

XIII. A N E X O S

ANEXO No. XIII.1

Glosario

Depósito ácido atmosférico. Transferencia de sustancias ácidas de la atmósfera. El depósito puede presentarse como lluvia, granizo, nieve, aguanieve, llovizna o niebla (**depósito húmedo**) o como polvos, partículas (**depósito seco**).

Depósito total. Técnica de muestreo que permite captar el depósito húmedo y seco. La cual proporciona un grupo razonable de datos que permiten evaluar la composición atmosférica en una región específica y estimar la contribución total del depósito ácido atmosférico.

Diatomeas. Plantas microscópicas unicelulares, pueden presentarse solas o en colonias agrupadas. Adicional a la clorofila a y c, los cloroplastos contienen carotenos α , β y ϵ , xantofila y fucoxantina (pigmentos de las hojas). Células rodeadas por paredes rígidas de sílice y finamente esculpadas en dos valvas. Son abundantes en aguas dulces y marinas y se encuentran tanto en el plancton como en el bentos. En el pasado innumerables células sílicadas formaron tierras de sílice o de diatomeas. Consideradas como microfósiles importantes en la paleolimnología.

Hongos. Organismos carentes de clorofila, saprotrofos, parásitos o simbióticos, acelulares con tejido relativamente simple, su unidad organizacional es la hypha, las estructuras más complejas son los cuerpos reproductores que envuelven una espora productora.

LBFQ. Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica.

Microespora. Las más pequeñas de dos tipos de esporas producidas por plantas hetero-esporas (ej. helechos, plantas de semilla).

pH. Expresión numérica de la concentración de iones hidrógeno en una solución. Sus unidades son expresadas como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno. La escala de pH fluctúa de 0-14: un pH de 7 indica una solución neutra; arriba de pH 7, las soluciones son básicas; inferiores a 7, son ácidas. Debido a que la escala de pH es logarítmica, un cambio de una unidad de pH representa un cambio de diez veces en la concentración de iones hidrógeno.

Polen. Microesporas de plantas de semillas, contienen un megatofito maduro o inmaduro.

RAMA. Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

ZMCM. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

ANEXO No. XIII.2
HOJA DE REPORTE
Precipitaciones Ácidas en la ZMCM
Informe de Actividades

Campaña de muestreo: mayo - octubre de 1996
Técnica de muestreo *depósito total*

Zona y clave del sitio de monitoreo	Fecha inicial (colocación de la botella)	Fecha final (recolección de la muestra)	Hora de recolección	Se presentó evento	No se presentó evento	Contaminación			Análisis químico de la muestra		
						1*	2**	3***	Volumen (ml)	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	pH
Zona sur											
PED											
FAN											
XCH											
NTS											
CHA											
Zona norte											
MCM											
LBFQ											
TEC											
XAL											
TLA											
SHA											
LOM											
Comentarios											

* Insectos ** Pastos *** Otros

JEFE DE DEPTO

TECNICO RESPONSABLE

TECNICO RESPONSABLE

LABORATORIO

ANEXO No. XIII. 3

Precipitaciones Ácidas en la ZMCM Métodos analíticos utilizados en el Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica (LBFQ)

Las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo con las siguientes normas:

Parámetro	Unidades	Norma asociada en la determinación	Métodos analíticos
Volumen	ml		Probeta
pH	pH	NOM-AA-8-1980	CONDUCTRONIC, modelo PC-18
Conductividad	μS/cm	NOM-AA-93-1984	CONDUCTRONIC, modelo PC-18
Sulfatos	mg/l	NOM-AA-74/1981	Turbidimétrico
Nitratos	mg/l	NOM-AA-79-1986	Colorimétrico
Cloruros	mg/l	NOM-AA-73-1981	Argentométrico
Sodio	mg/l	ASTM-D 5089-90	Espectrofotometría de absorción atómica
Potasio	mg/l	ASTM-D 5089-90	Espectrofotometría de absorción atómica
Magnesio	mg/l	ASTM-D 5089-90	Espectrofotometría de absorción atómica
Calcio	mg/l	ASTM-D 5089-90	Espectrofotometría de absorción atómica

Para todas estas determinaciones el LBFQ contó con los estándares asociados para garantizar la confiabilidad de los resultados.

ANEXO No. XIII.4

Datos estadísticos: número de datos, valor mínimo, valor máximo, media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación período de muestreo: mayo - octubre de 1996 técnica de muestreo depósito total

Zona/sitio/ clave	Datos estadísticos	Vol. (ml)	pH Lbfq	CondL ⁺ µS/cm	SO ₄ ⁼ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)
Zona Noroeste Tlalnepantla (TLA)	No. datos	18	18	18	***	17	17	17	17	17
	Mínimo	110	4.79	13.1	***	0.14	0.09	0.07	0.19	0.06
	Máximo	1780	7.43	175.6	***	16.93	5.16	1.35	22.20	1.54
	Media arit.	826	5.36**	56.11	***	6.27	1.34	0.46	4.44	0.41
	Desv. est.	554	0.86	37.87	***	4.40	1.48	0.31	5.56	0.45
Coef. var.	65	13.50	65.60	***	68.15	106.60	66.16	121.56	107.03	
Secretaría de Hacienda (SHA)	No. datos	19	19	19	15	17	19	19	19	19
	Mínimo	50	4.36	22.70	3.15	0.65	0.18	0.09	0.29	0.07
	Máximo	1745	8.19	146.60	13.60	13.22	4.94	1.16	9.99	4.28
	Media arit.	700	4.96**	55.01	8.34	6.65	1.21	0.40	3.33	0.56
	Desv. est.	460	1.21	31.29	2.87	2.96	1.37	0.28	2.95	0.96
Coef. var.	63.99	19.20	55.36	33.26	43.13	110.14	68.51	86.24	165.84	
Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica (LBFQ)	No. datos	17	17	17	14	16	17	17	17	17
	Mínimo	120	4.48	16.40	4.50	1.02	0.12	0.17	0.88	0.12
	Máximo	1400	7.17	75.30	10.98	11.43	2.73	1.35	7.24	0.57
	Media arit.	628.8	5.23**	40.82	7.15	4.72	0.80	0.49	2.36	0.27
	Desv. est.	400.7	0.76	16.30	1.78	2.60	0.72	0.31	1.66	0.16
Coef. var.	61.82	12.87	38.75	23.98	53.25	86.46	60.93	68.33	58.54	
Zona Noreste Xalostoc (XAL)	No. datos	18	18	18	***	16	18	18	18	18
	Mínimo	120	5.89	25.60	***	1.9	0.34	0.18	0.47	0.08
	Máximo	1845	8.59	213.00	***	10.63	11.04	3.04	33.99	3.31
	Media arit.	597	6.38**	100.81	***	5.09	3.23	1.10	14.50	0.99
	Desv. est.	468.8	0.84	64.61	***	2.79	3.29	0.93	11.17	0.98
Coef. var.	76.33	11.64	62.28	***	52.96	98.76	82.11	74.83	96.64	
Cerro del Tepeyac (antes La Villa) (TEC)	No. datos	17	17	17	16	16	16	16	16	16
	Mínimo	140	4.76	18.30	3.97	0.21	0.18	0.18	0.24	0.08
	Máximo	1410	7.34	97.70	11.94	7.89	3.55	2.69	13.32	1.41
	Media arit.	749	5.49**	47.45	8.08	4.38	1.09	0.59	3.21	0.28
	Desv. est.	399.3	0.65	21.34	2.44	2.24	1.03	0.68	3.31	0.33
Coef. var.	51.8	10.37	43.63	29.28	49.42	91.26	111.21	99.78	113.23	
Netzahualcóyotl Sur (NTS)	No. datos	19	19	19	***	16	19	19	19	19
	Mínimo	75	4.66	16.30	***	0.19	0.02	0.13	0.44	0.08
	Máximo	1550	7.45	149.80	***	10.84	5.00	1.72	14.43	2.92
	Media arit.	631	5.32**	51.70	***	5.04	1.38	0.63	4.10	0.56
	Desv. est.	504	0.76	32.36	***	3.13	1.35	0.44	4.28	0.70
Coef. var.	77.76	11.88	60.92	***	60.13	94.71	67.45	101.65	121.18	
Chapingo (CHA)	No. datos	19	19	19	***	15	18	18	18	18
	Mínimo	70	4.42	11.80	***	0.48	0.19	0.18	0.27	0.04
	Máximo	1920	7.48	131.80	***	15.91	2.22	4.70	8.99	1.51
	Media arit.	533	5.52**	44.39	***	4.60	0.78	0.80	2.28	0.36
	Desv. est.	456	0.75	32.06	***	3.87	0.67	1.03	2.85	0.43
Coef. var.	83.23	12.16	70.29	***	81.24	82.95	125.83	121.24	115.81	

Continuación...

Zona/sitio/ clave	D. Est.	Vol. (ml)	pH Lbfq	CondL* µS/cm	SO ₄ ⁼ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)
Zona Centro Museo Cd. de México (MCM)	No. datos	17	17	17	14	16	16	16	16	16
	Mínimo	225	4.45	16.10	2.33	1.45	0.13	0.17	0.19	0.08
	Máximo	1560	7.8	125.60	10.95	14.13	4.44	3.90	13.10	1.38
	Media arit.	776	5.03**	45.96	7.21	5.29	0.88	0.77	2.78	0.31
	Desv. est.	429	0.97	27.65	2.36	3.41	1.07	0.90	3.76	0.37
	Coef. var.	53.65	16.17	58.37	31.50	62.47	118.3	113.23	131.14	117.15
Zona Suroeste Lomas (LOM)	No. datos	19	19	19	16	18	16	18	18	18
	Mínimo	130	3.85	20.60	3.30	1.95	0.12	0.03	0.12	0.03
	Máximo	2020	7.78	99.20	8.98	9.34	2.78	1.74	6.44	0.98
	Media arit.	1021	4.54**	40.98	6.57	4.58	0.57	0.439	1.84	0.21
	Desv. est.	657	1.20	19.59	1.76	2.32	0.63	0.419	1.77	0.23
	Coef. var.	62.64	20.80	46.54	25.96	49.17	106.73	92.81	93.67	107.72
Pedregal (PED)	No. datos	20	20	20	18	18	19	19	19	19
	Mínimo	50	3.91	23.10	4.06	0.43	0.09	0.10	0.13	0.05
	Máximo	2020	7.14	108.90	10.96	10.68	3.89	2.92	9.66	1.24
	Media arit.	1000	4.49**	45.92	6.85	4.70	0.90	0.72	2.23	0.27
	Desv. est.	647	0.95	23.76	1.77	2.91	1.14	0.78	2.82	0.34
	Coef. var.	63.10	17.82	50.42	25.11	60.10	122.82	105.69	122.87	122.04
Felipe Angeles (FAN)	No. datos	20	20	20	16	19	19	20	20	20
	Mínimo	50	3.97	20.50	3.77	0.51	0.10	0.10	0.21	0.07
	Máximo	1920	7.30	139.10	10.58	14.23	6.94	1.64	17.43	1.73
	Media arit.	938	4.55**	47.64	6.63	5.53	0.96	0.44	3.09	0.39
	Desv. est.	637	1.00	29.45	1.58	3.88	1.59	0.41	4.30	0.46
	Coef. var.	66.22	18.04	60.25	23.10	68.29	161.08	89.90	135.80	114.99
Zona Sureste Xochimilco (XCH)	No. datos	18	18	18	***	17	17	17	17	17
	Mínimo	100	3.62	23.30	***	0.69	0.10	0.15	0.14	0.06
	Máximo	1920	7.51	352.00	***	12.70	3.66	1.38	34.63	1.49
	Media arit.	762	4.69**	79.68	***	6.33	0.88	0.47	7.10	0.36
	Desv. est.	560	1.12	82.24	***	3.57	1.05	0.33	9.78	0.39
	Coef. var.	71.37	18.80	100.30	***	54.73	115.50	67.63	133.73	105.10

- * Conductividad
** Promedio ponderado
*** Datos insuficientes

ANEXO No. XIII.5

Listado de gráficas, figuras y tablas

Gráficas		Pág.
Gráfica No. 1	Contribución de SO ₂ y NO _x	7
Gráfica No. 2.	Períodos de recolección del agua de lluvia	15
Gráfica No. 3.	Valores cero	15
Gráfica No. 4.	Volumen del agua de lluvia	16
Gráfica No. 5.	pH del agua de lluvia (laboratorio)	17
Gráfica No. 6.	Conductividad (laboratorio)	18
Gráfica No. 7.	Sulfatos (SO ₄ ⁻)	19
Gráfica No. 8.	Nitratos (NO ₃ ⁻)	20
Gráfica No.9.	Sodio (Na ⁺)	20
Gráfica No. 10.	Potasio (K ⁺)	22
Gráfica No. 11.	Calcio (Ca ⁺⁺)	22
Gráfica No. 12.	Magnesio (Mg ⁺⁺)	23
Gráfica No. 13.	Humedad relativa, temperatura, viento. Cerro de la Estrella	39
Gráfica No. 14.	Humedad relativa, temperatura, viento. Pedregal.	39
Gráfica No. 15.	pH campo vs pH laboratorio	44
Gráfica No. 16.	Intervalos de pH campo - laboratorio	47
Gráfica No. 17.	Observación microscópica del agua de lluvia	48
Gráfica No. 18.	Observación microscópica del agua de lluvia por sitio	49
Gráfica No. 19.	Porcentaje de precipitación ácida en la ZMCM	50
Gráfica No. 20.	Concentración máxima y mínima de pH	51

Figuras		
Figura No. 1.	Emisión total de óxidos de azufre (SO _x)	8
Figura No. 2.	Mecanismos de transformación química	10
Figura No. 3.	Localización de los sitios de monitoreo	12
Figura No. 4.	Colector de agua de lluvia	11
Figura No. 5.	Distribución porcentual de iones	24, 25
Figura No. 6.	Distribución espacial de pH	30
Figura No. 7.	Distribución espacial de conductividad	31
Figura No. 8.	Distribución espacial NO ₃ ⁻	32
Figura No. 9.	Distribución espacial de Ca ⁺⁺	33
Figura No. 10.	Distribución espacial K ⁺	34
Figura No. 11.	Distribución espacial Na ⁺	35
Figura No. 12.	Distribución espacial de Mg ⁺⁺	36
Figura No. 13.	Matriz de correlaciones totales	37
Figura No. 14.	Campo de vientos 02:00 horas	41
Figura No. 15.	Campo de vientos 08:00 horas	41
Figura No. 16.	Campo de vientos 12:00 horas	42
Figura No. 17.	Campo de vientos 14:00 horas	42
Figura No. 18.	Campo de vientos 16:00 horas	43
Figura No. 19.	Campo de vientos 18:00 horas	43

Figura No. 20. Variación del pH *campo - laboratorio* 45,46

Tablas

Tabla No. 1.	Concentración promedio de parámetros fisicoquímicos	37
Tabla No. 2.	Períodos de mayor acidez	38
Tabla No. 3.	pH histórico mínimo	50
Tabla No. 4.	pH histórico máximo	51

Lic. Oscar Espinosa Villarreal
Jefe del Departamento del Distrito Federal

Dr. Eduardo Palazuelos Rendón
Secretario del Medio Ambiente

Ing. Rodolfo Lacy Tamayo
Director General de Prevención y Control de la Contaminación

Ing. José Luis Pedroza Serrano
Director de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico

Biol. Lilia García Galván
Dirección del Programa

Colaboración:

Red Automática de Monitoreo Atmosférico:

Ing. Luis Alejandro Castellanos Fajardo
Tec. Miguel Sánchez Rodríguez
Tec. Antonio Silva Hernández
Ing. Mario Alberto Briones Muñoz

Ing. Francisco Rivera Nava
Tec. Raymundo Juárez Hernández
Tec. Julio Cesar Argueta Rodríguez

Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica:

Dra. Liliana Saldivar Osorio
M. en C. Ma. Dolores Lastra A.
Dr. José Luis Moya Ortega
Q. Ma. Angélica Hernández Gante
Q. Rosa Ma. Hernández Nájera
Tec. Q. Norma Vargas Montes
Ing. Ma. del Carmen G. Anzures M.
Ing. Hugo Chávez García
Tec. Q. Winnie Nellie Hernández M.
Q.F.B. Armando A. Tiburcio Báez
P. de Q. Daniel A. Quiroz Pérez
Ing. Jesús Muñoz Ocotero

Dr. Alain Quere Thorent
M. en C. Juan Lartigue Gordillo
Ing. Julio Sánchez Figueroa
Q. Ma. Luisa Hernández Quintero
Q.F.B. Leticia Rivera Vázquez
Biol. Carlos Domínguez Tirado
Ing. José Antonio Muñoz Moya
C. Francisco Sánchez Suarez
QFB. Julieta Lombardero Ventura
Tec. Q. Irma López Marín
Tec. Q. Adalid García Plancarte

Diseño Gráfico y Elaboración:

Biol. Lilia García Galván
Ing. Luis Alejandro Castellanos Fajardo
Ing. Mario Alberto Briones Muñoz



CUADRO DE MEXICO

DIRECCION GENERAL DE PREVENCIÓN
Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN



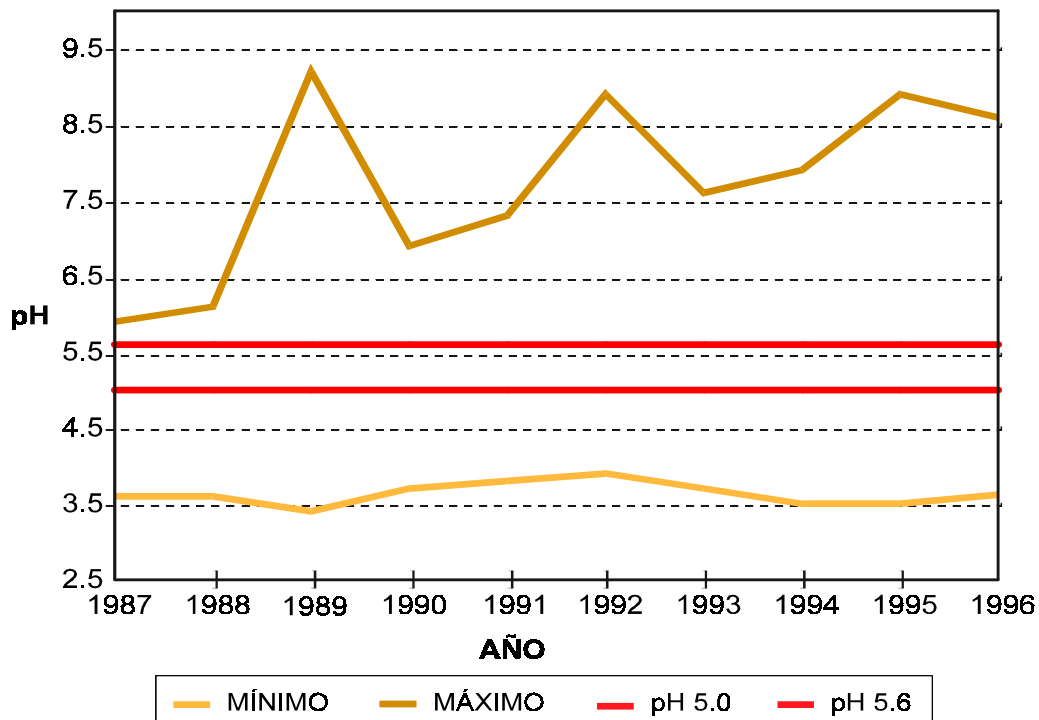
- [14] Mohnen, 1988. ***The Challenge of Acid Rain***. Scientific American Vol. 259 No. 2.
- [15] NAPAP, 1990. National Acid Precipitation Assessment. ***Program Acidic Deposition: State of Science and Technology***. Report on the NAPAP International Conference. Hilton Head, SC.
- [16] Nature, 1955. ***Occurrence of the Alga Gloeocapa in the Air***. Vol. 176. December 31, 1955.
- [17] NILU (Norwegian Institute for Air Research), 1995. ***Quality Assurance in Monitoring Acid Deposition***. Third Expert Meeting on Acid Deposition Monitoring Network in East Asia, Niigata, Japan, 14 - 16 November.
- [18] Peñaranda L. F. , 1988. ***Precipitaciones Ácidas: Metodología para su Caracterización y Estudio en la Ciudad de México***. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- [19] Rivera, 1988. ***Amibas en el Aire Libre de la Ciudad de México***. Información Científica y Tecnológica. Vol. 10 No. 139. Abril de 1988.
- [20] Rich and Waggoner, 1962. ***Atmospheric Concentration of Cladosporium Spores***. Science Vol. 137.
- [21] UNIPUB, 1985. ***Acid Rain and Transported Air Pollutants, Implications for Public Policy***. Office of Technology Assessment Congress of the United States, Washington, D.C.

En comparación, los valores de la concentración máxima de pH, no manifiestan una tendencia, los niveles han fluctuado entre 5.9 y 9.2 unidades de pH. Cabe mencionar que estos niveles de pH predominan en la zona noreste, Tabla No. 4.

Tabla No. 4. pH histórico máximo período 1987 - 1996

Año	Zona	Sitio	pH
1987	Noreste	Cerro del Tepeyac	5.9
1988	Noreste	Cerro del Tepeyac	6.1
1989	Suroeste	Lomas	9.2
1990	Noreste	Cerro del Tepeyac	6.9
1991	Sureste, Noreste	Xochimilco, Xalostoc	7.3
1992	Noreste	Xalostoc	8.9
1993	Noreste	Xalostoc	7.6
1994	Noreste, centro	Xalostoc, Museo de la Cd. México	7.9
1995	Noreste	Chapingo	8.9
1996	Noreste	Xalostoc	8.5

Gráfica No. 20. Concentración máxima y mínima de pH depósito total



Éstos elementos biológicos detectados en las muestras de agua de lluvia manifiestan su presencia en la atmósfera de la ZMCM, por lo que es necesario determinar su origen (natural o antropogénico) y especie a la que pertenece cada uno de ellos. Ya que ciertas esporas aerotransportadas pueden provocar en el ser humano alergias en la piel, molestias en el sistema respiratorio y enfermedades como histoplasmosis, criptococosis y aspergilosis. También, algunas amibas patógenas aisladas de la atmósfera de la ciudad de México, se ha comprobado que son capaces de formar quistes y que pueden permanecer viables en la atmósfera. Rivera, 1988; Rich and Waggoner, 1962; Nature, 1955.

Las tolvaneras, el fecalismo al aire libre, los suelos erosionados y las condiciones atmosféricas, son los factores asociados al transporte, dispersión y presencia de éstos elementos biológicos en la atmósfera. La precipitación pluvial, es el principal mecanismo que contribuye a remover éstos elementos biológicos.

Respecto a la presencia de diatomeas en la atmósfera de la ZMCM su origen se remonta a los lagos, ríos y arroyos que existieron en el pasado. El Distrito Federal, por su posición geográfica quedó comprendido en partes bajas y de escaso relieve, generalmente las áreas que antiguamente ocuparon lagos fueron las delegaciones: Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y una superficie considerable de las delegaciones Coyoacán y Xochimilco, DDF., 1987. Por lo que la presencia de diatomeas en todos los sitios de monitoreo se relaciona a la desecación de lagos, reducidos en algunas áreas a tierras cenagosas, suelos erosionados y áreas carentes de vegetación.

Gráfica No. 18. Observación microscópica del agua de lluvia mayo - octubre de 1996

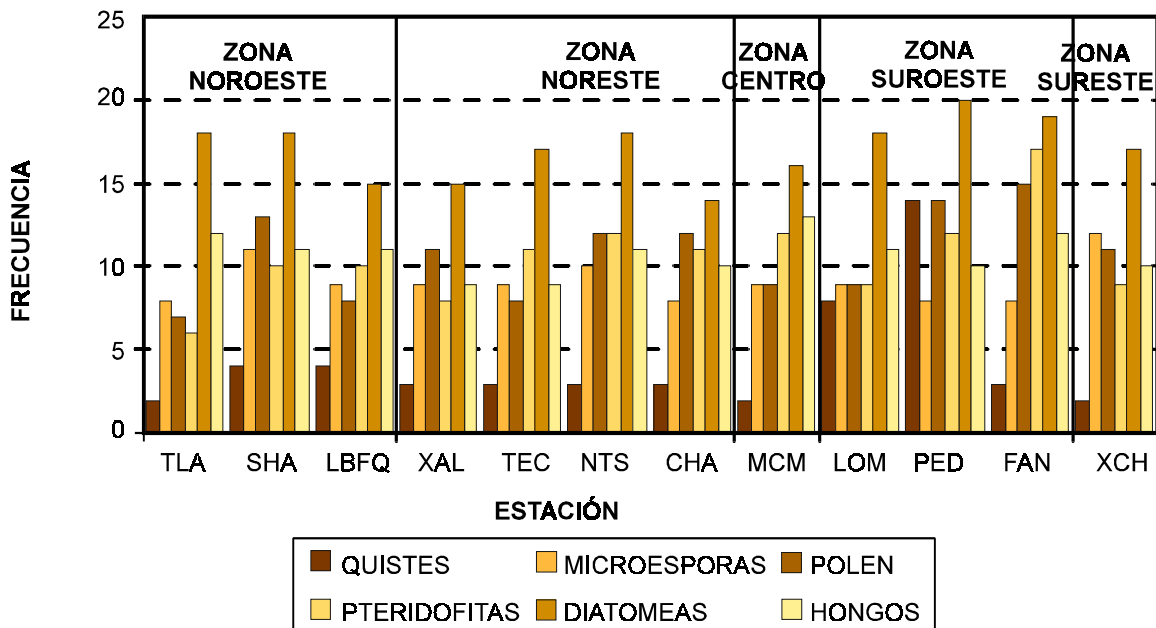
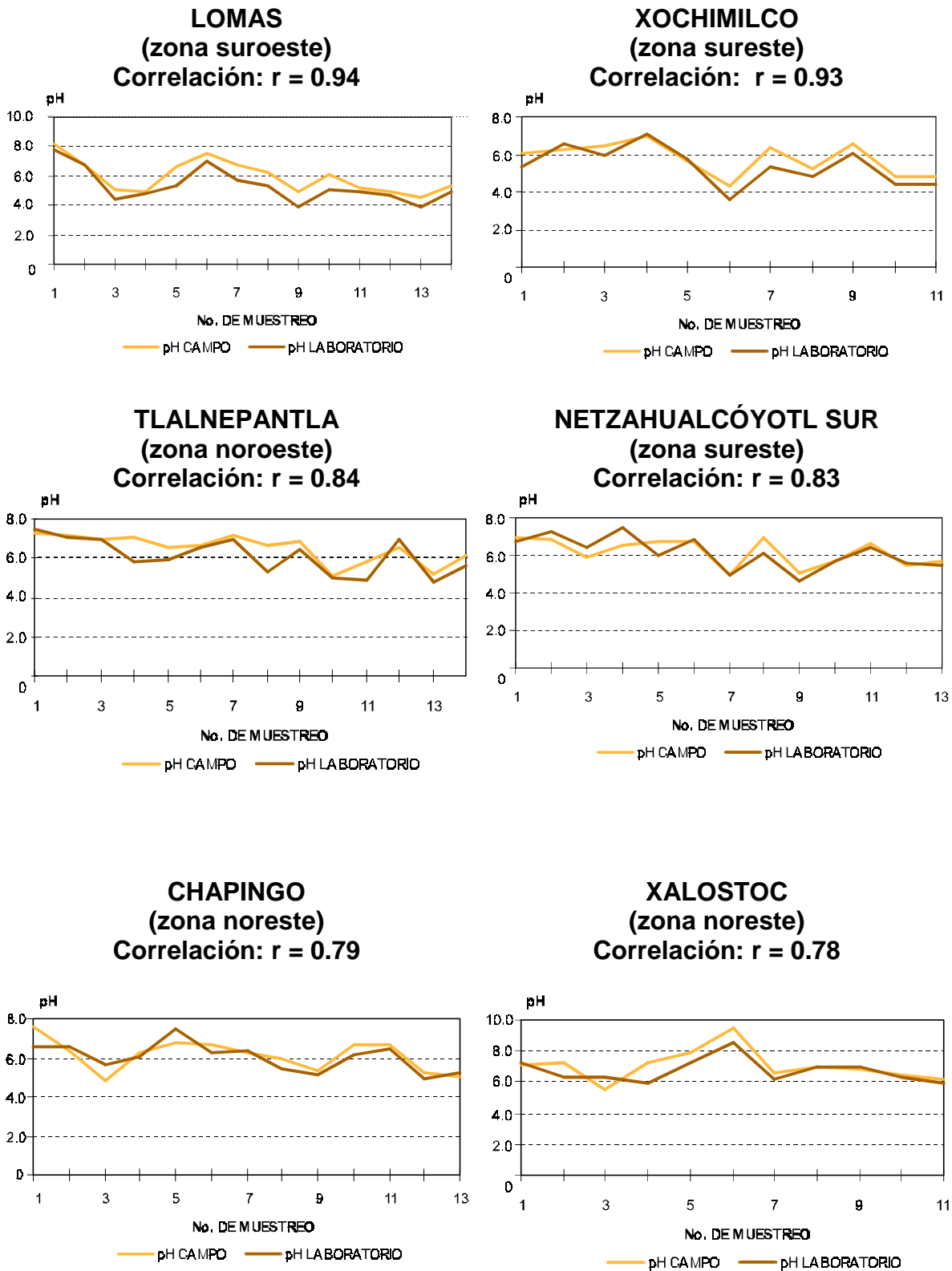
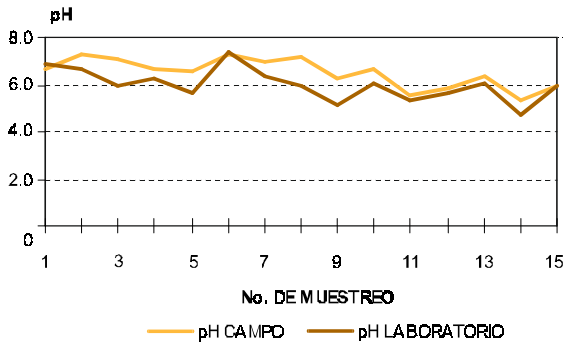


Figura No. 20. Variación del pH.

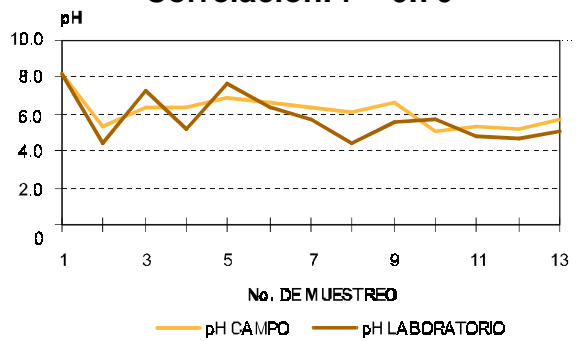


Continuación...

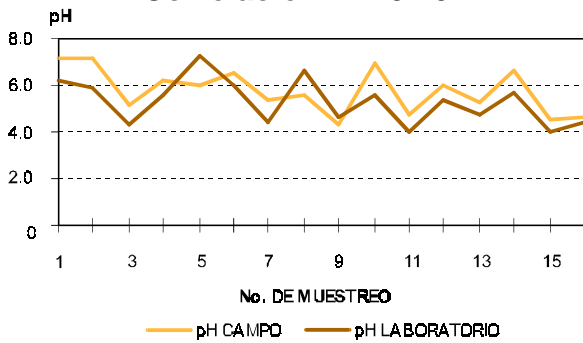
CERRO DEL TEPEYAC
(zona noreste)
Correlación: $r = 0.77$



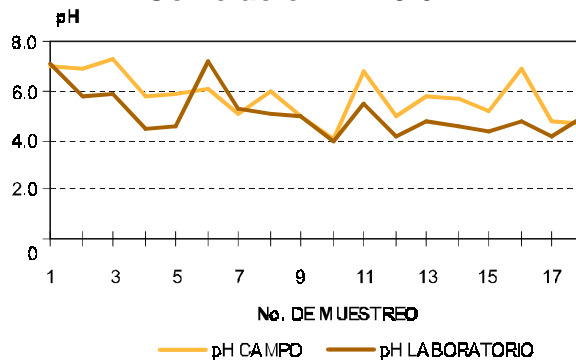
SECRETARÍA DE HACIENDA
(zona noroeste)
Correlación: $r = 0.76$



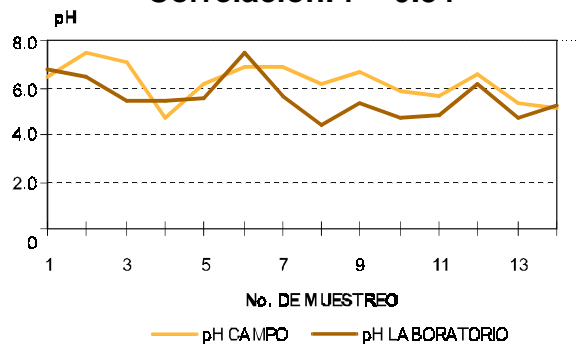
FELIPE ÁNGELES
(zona suroeste)
Correlación: $r = 0.70$



PEDREGAL
(zona suroeste)
Correlación: $r = 0.64$



MUSEO
(zona centro)
Correlación: $r = 0.54$



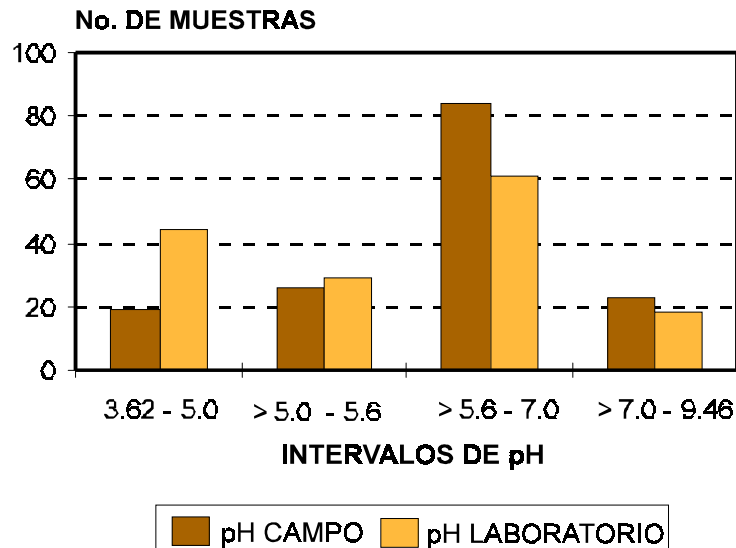
En la Gráfica No. 16 se observa la distribución de los valores de pH obtenidos en campo y en laboratorio. El primer intervalo de pH de 3.62 - 5.0 agrupó datos que con mayor frecuencia correspondieron a los sitios Lomas, Pedregal y Felipe Ángeles (zona suroeste). Comparando ambas mediciones de campo y laboratorio, se registró mayor frecuencia en las mediciones efectuadas en laboratorio.

El segundo intervalo de pH >5.0 - 5.6 reunió las mediciones efectuadas principalmente en los sitios Felipe Ángeles, Lomas (zona suroeste) y Secretaría de Hacienda (zona noroeste), siendo semejantes sus frecuencias.

El tercer intervalo de >5.6 - 7.0 relacionó los datos de pH fundamentalmente de los sitios Netzahualcóyotl Sur, Cerro del Tepeyac, Chapingo (zona noreste) y Tlalnepantla (zona noroeste), predominando la frecuencia de los datos obtenidos en campo.

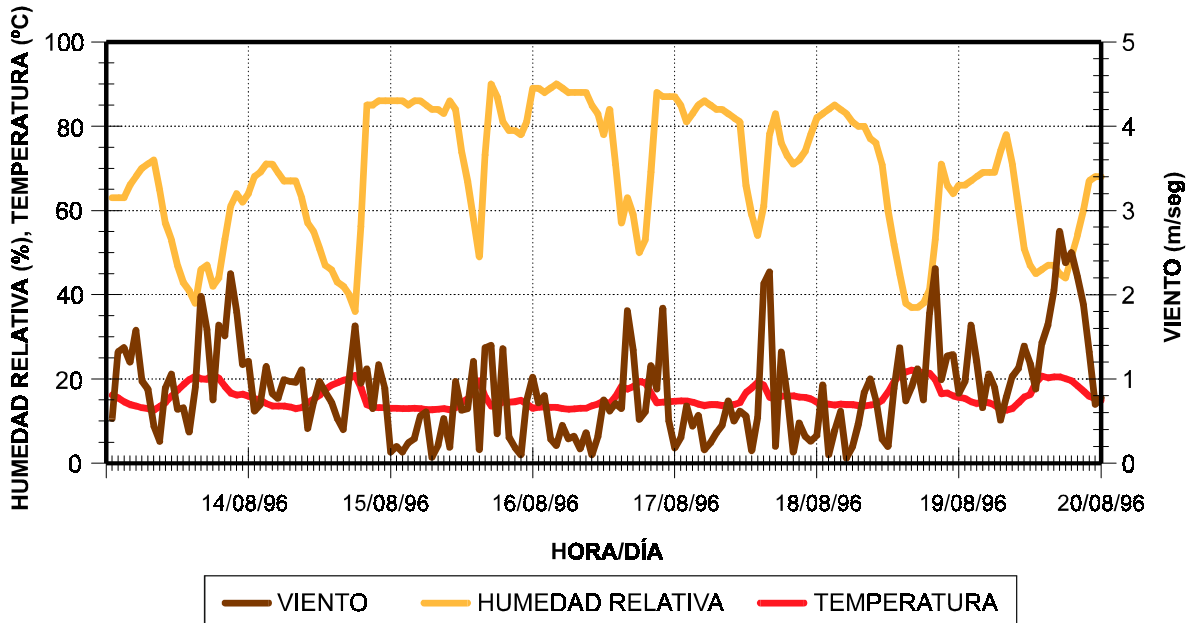
En el cuarto intervalo de >7.0 - 9.46 el sitio Xalostoc (zona noreste), contribuyó con mayor número de datos en ambas mediciones. En Cerro del Tepeyac (zona noreste) y Tlalnepantla (zona noroeste) fueron mayores las frecuencias en campo. En el resto de los sitios los datos de pH en campo y laboratorio fueron comparables.

Gráfica No. 16. Intervalos de pH campo/laboratorio mayo - octubre de 1996

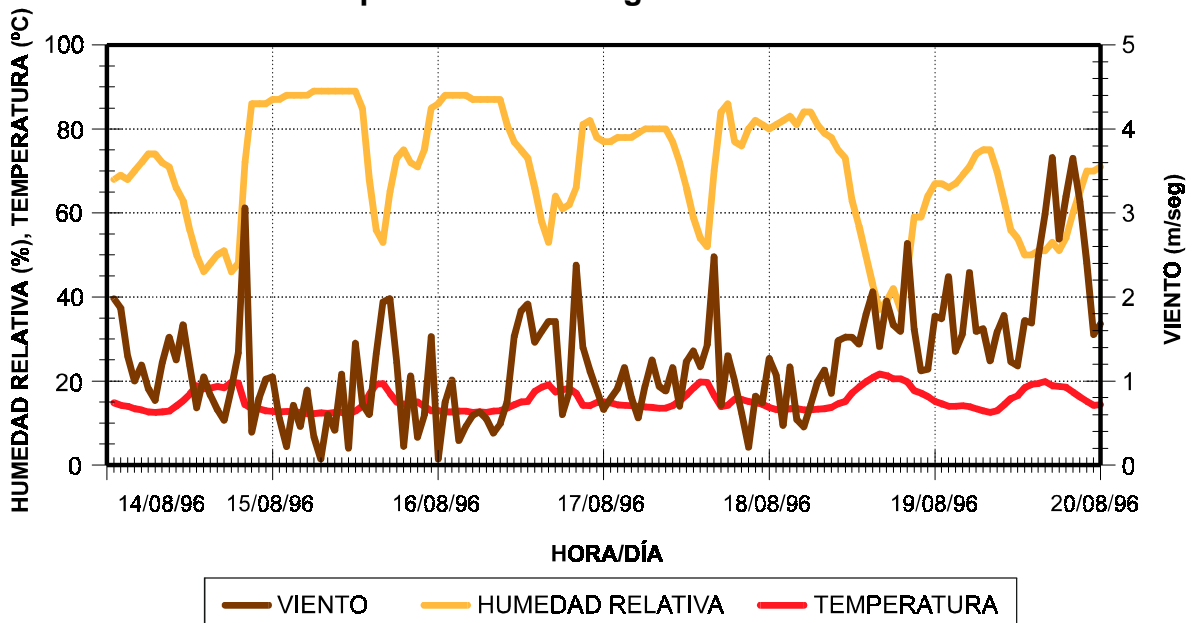


día 20 de agosto como el representativo del período, el cual nos permitió establecer la relación patrón de viento predominante y pH del agua de lluvia.

**Gráfica No. 13 Humedad relativa, temperatura y viento
sitio Cerro de la Estrella (zona sureste)
período: 14 - 20 de agosto de 1996**



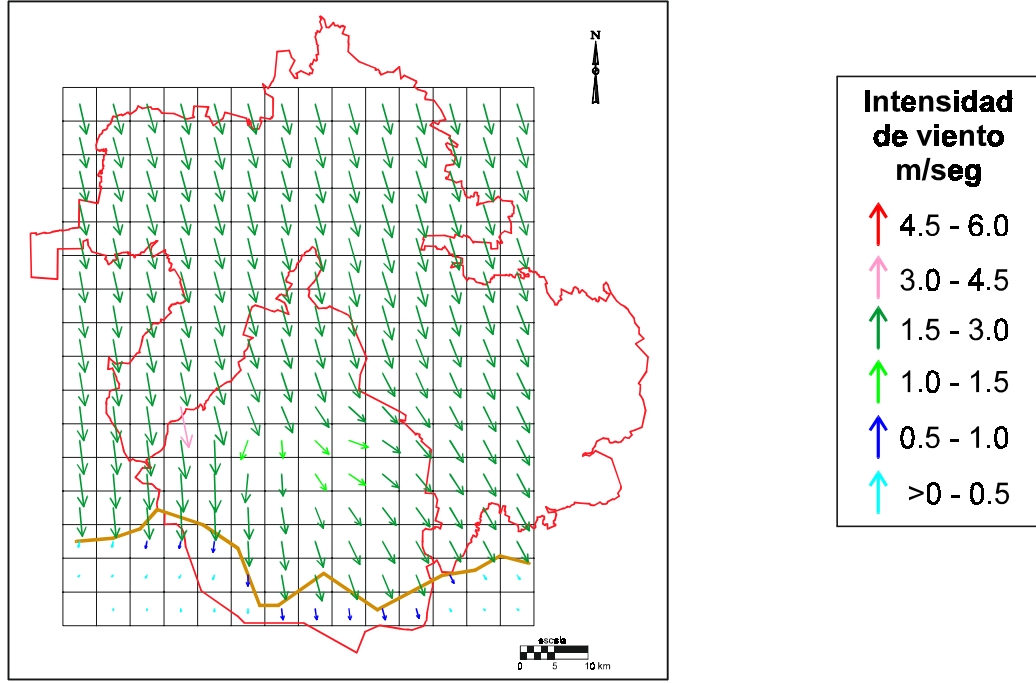
**Gráfica No. 14 Humedad relativa, temperatura y viento
sitio Pedregal (zona suroeste)
período: 14 - 20 agosto de 1996**



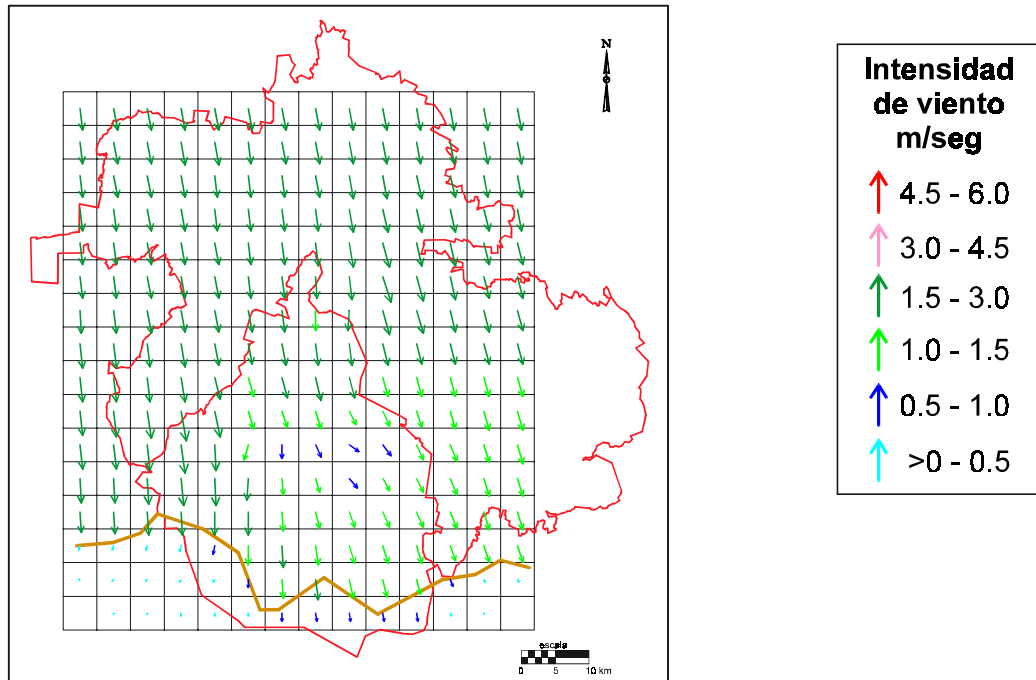
En la Figura No. 14 correspondiente a las 02:00 horas, se aprecia vientos provenientes del noroeste y noreste, los que se registraron en la zona centro se dirigieron hacia la zona sureste de la ciudad. A las 08:00 horas, Figura No. 15 se observó el mismo comportamiento, sin embargo disminuyó la velocidad del viento a valores más cercanos a 1.5 m/seg. A las 12:00 horas, Figura No. 16, se acentuó la trayectoria de los vientos del norte, los que se registraron en la zona centro y los que provinieron de la zona noreste convergieron hacia el sureste, la intensidad del viento presentó diferentes magnitudes de 0.5 a 3.0 m/seg. El patrón de vientos a estas horas mostró el posible transporte de contaminantes atmosféricos dirigiéndose hacia la zona sureste, reflejando su posible participación en la formación de sustancias ácidas, las cuales alteraron los niveles naturales de pH del agua de lluvia. De esta forma se explica el pH de 3.62 registrado en el sitio Xochimilco (zona sureste). Y en el cual la sumatoria de los equivalentes químicos para aniones fue 0.37 superior a la sumatoria de equivalentes químicos de cationes de 0.09, por lo que en éste período el pH fue influenciado fuertemente por los aniones NO₃⁻ y SO₄⁼.

A las 14:00 horas, Figura No. 17 de este mismo día los vientos provenientes del norte se dirigieron hacia la zona sur, con velocidades de mayor magnitud respecto a las horas anteriores. Los vientos de la zona suroeste convergieron hacia el oeste, con una magnitud de 1.0-1.5 m/seg y 1.5-3.0 m/seg. Detectándose las intensidades más altas de 3.0-4.5 m/seg en la zona norte. El mismo comportamiento fue registrado en horas posteriores, incrementándose la intensidad de viento a las 16:00 horas, con magnitudes de 3.0-4.5 m/seg en la zona noreste, incrementándose en algunos puntos hasta 4.5-6.0 m/seg, también con trayectoria hacia la zona suroeste, Figura No. 18. A las 18:00, se intensificó la intensidad del viento en la ZMCM con velocidades de: 1.5-3.0 m/seg, 3.0-4.5 m/seg y de 4.5-6.0 m/seg, obteniéndose a está hora el patrón de viento más significativo con dirección noreste-suroeste, Figura No. 19. Lo cuál nos permitió relacionar el transporte de contaminantes atmosféricos hacia esta zona y su influencia en el pH de 3.85.

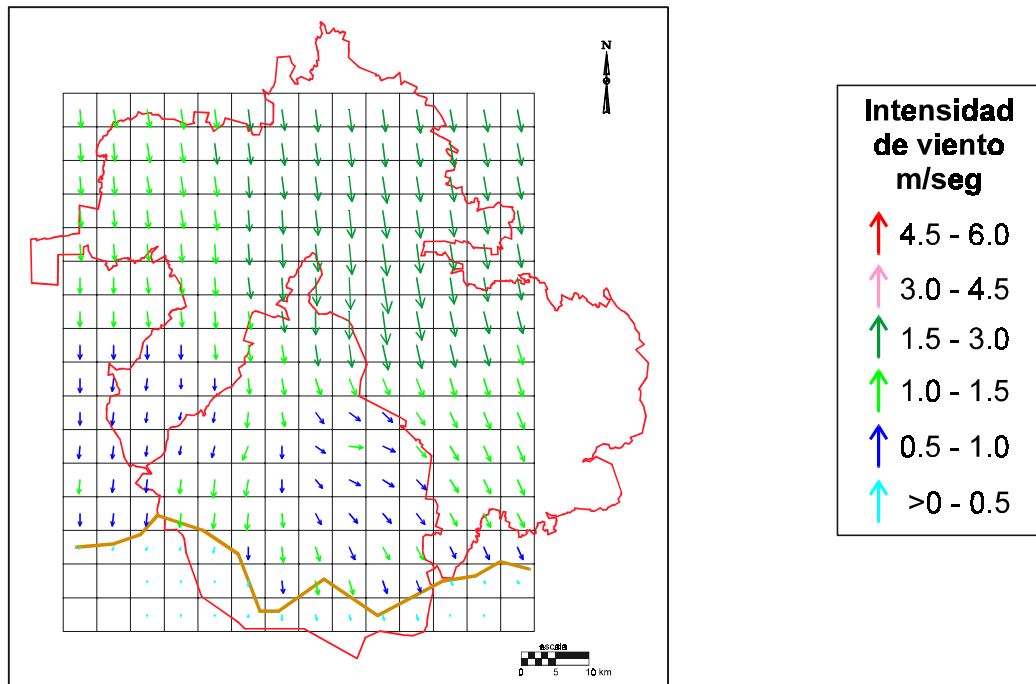
**Figura No. 14. Campo de viento predominante
20 de agosto de 1996
02:00 horas**



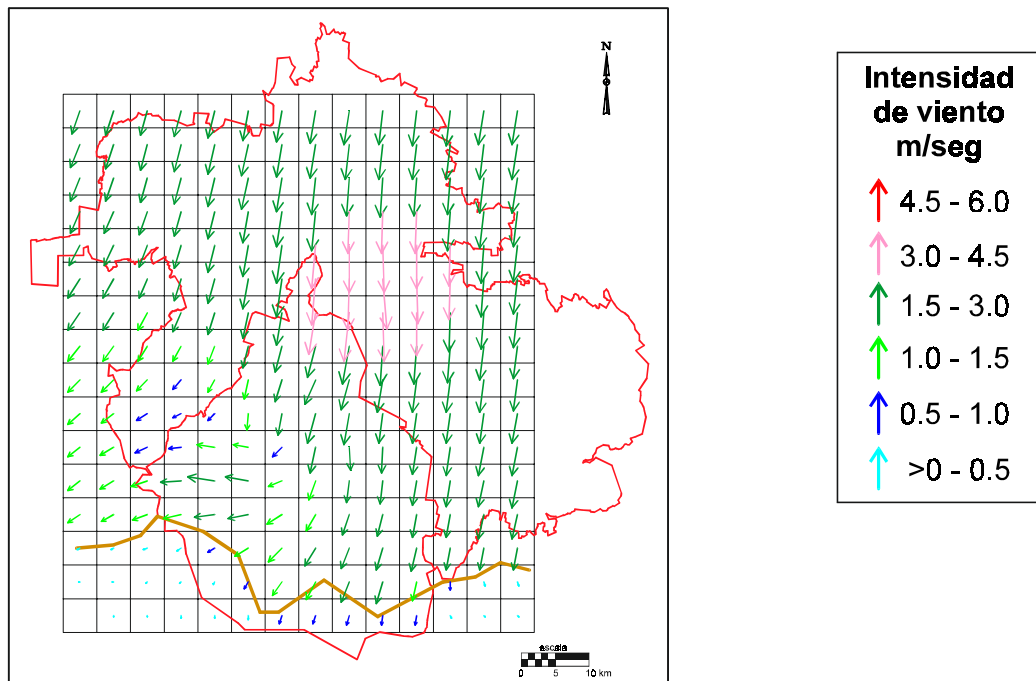
**Figura No. 15. Campo de viento predominante
20 de agosto de 1996
08:00 horas**



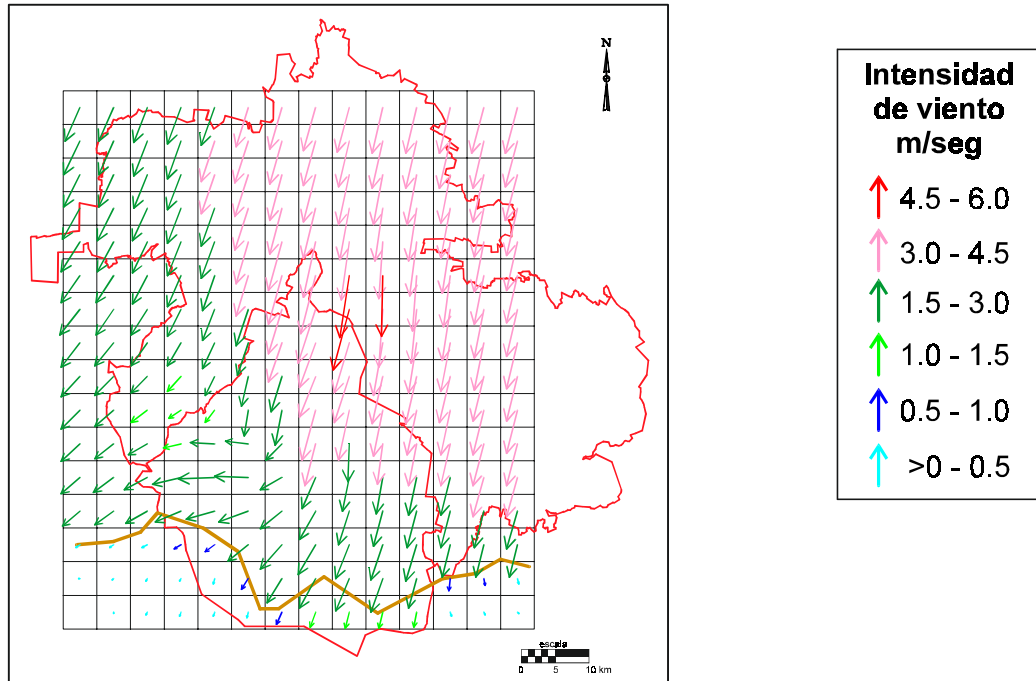
**Figura No. 16. Campo de viento predominante
20 de agosto de 1996
12:00 horas**



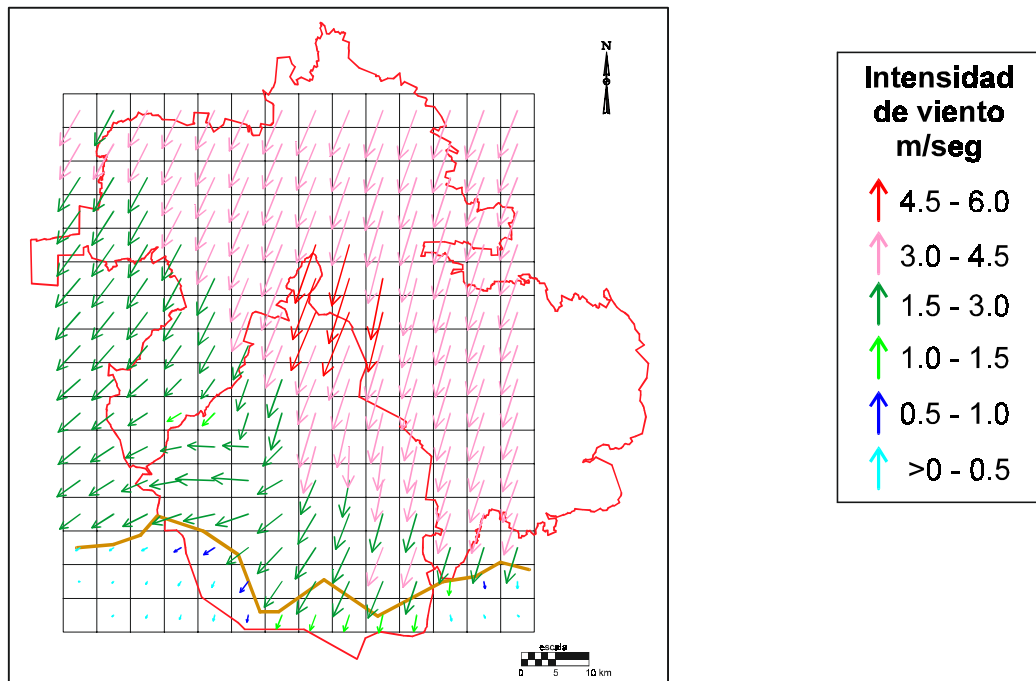
**Figura No. 17. Campo de viento predominante
20 de agosto de 1996
14:00 horas**



**Figura No. 18. Campo de viento predominante
20 de agosto de 1996
16:00 horas**



**Figura No. 19. Campo de viento predominante
20 de agosto de 1996
18:00 horas**



VI.3 Nitratos (NO_3^-)

La distribución espacial de las concentraciones del ion nitrato en la ZMCM mostró niveles muy altos (4.40-6.65 mg/l) en comparación con los años 1994 (0.8-2.1 mg/l) y 1995 (2.0-4.4 mg/l). Las concentraciones se incrementaron notablemente, obteniéndose los valores más altos en los sitios de monitoreo Tlalnepantla, Secretaría de Hacienda (zona noroeste) y Xochimilco (zona sureste) con intervalos de concentración de 5.6-6.0 y 6.1-6.65 mg/l. Figura No. 8.

La distribución de las concentraciones de éste ion en la ZMCM muestran su influencia en la concentración de pH. En este año los nitratos registraron concentraciones altas de 6.1 a 6.65 mg/l en los sitios Xochimilco (zona sureste), Tlalnepantla y Secretaría de Hacienda (zona noroeste), el pH promedio obtenido en éstos sitios fue: 4.69, 5.36 y 4.96, Anexo XIII.4.

Por otra parte, la concentración más baja de nitratos fué de 4.4 a 5.0 mg/l en los alrededores de los sitios Cerro del Tepeyac, Chapingo, Xalostoc (zona noreste), Lomas y Pedregal (zona suroeste), los valores promedio de pH obtenidos fueron: 5.49, 5.52, 6.38, 4.54 y 4.49, Anexo XIII.4.

Lo anterior muestra que los nitratos no son los únicos que contribuyen a modificar el pH, es así por ejemplo que en el sitio Tlalnepantla (zona noroeste) que presentó concentraciones altas de nitratos, se esperaría un pH ácido, sin embargo su valor promedio de pH fué de 5.36, influenciado por la concentración alta de calcio, lo que promovió una neutralización de compuestos ácidos. Mientras que los sitios Lomas y Pedregal (zona suroeste) se localizan donde las concentraciones de nitratos son bajas, el pH promedio esperado en estos sitios serían no ácidos, sin embargo lo son por la influencia de otros iones (SO_4^-) y las bajas concentraciones de cationes (Ca^{++} , K^+ , Na^+ y Mg^{++}).

VI.4 Calcio, potasio, sodio y magnesio (Ca^{++} , K^+ , Na^+ , Mg^{++})

Estos elementos muestran una relación estrecha entre sí. La forma en que se distribuyeron cada uno de los cationes en la ZMCM fue semejante a 1994 y 1995. Sin embargo, se observa gran variación en las concentraciones obtenidas. Los iones calcio, sodio y magnesio presentaron concentraciones similarmente comparables a las de 1994 y 1995, mientras que la excepción la constituye el ion potasio, cuyas concentraciones descendieron considerablemente en 1996.

VI.4.1 Calcio (Ca^{++})

Este catión presentó concentraciones (1.84-14.50 mg/l) similares a las de los años 1994 (1.5-13.0 mg/l) y 1995 (2.0-17.5 mg/l). Mientras que su distribución muestra al igual que los años pasados las más bajas concentraciones (1.84-4.0 mg/l), en las zonas suroeste, centro, suroeste y parte de la zona noroeste.

Sin embargo, el sitio de monitoreo Chapingo (zona noreste) mostró un comportamiento totalmente diferente a los años anteriores, mientras que en 1994 y 1995 obtuvo los intervalos de concentración más altos (1994: 8.0-13.0 y 1995: 13.0-17.5 mg/l), en este año sus niveles se ubicaron dentro del intervalo más bajo de 1.84-4.0 mg/l.

Por su parte, los niveles de concentración más altos en éste año correspondieron a los sitios de monitoreo Xochimilco (zona sureste) y Xalostoc (zona noreste) con >6.0 - 8.0 y >8.0 - 14.50 mg/l, respectivamente. Figura No. 9.

VI.4.2 Potasio (K^+)

Las concentraciones de éste ion descendieron significativamente en la ZMCM. Los niveles obtenidos se distribuyeron dentro del intervalo de 0.40 hasta 1.10 mg/l. Mientras que en 1994 y 1995 los intervalos de concentración se ubicaron en 0.3 - 9.9 mg/l y 0.8 - 12.3 mg/l respectivamente.

Durante 1996, el intervalo de concentración 0.40 - 0.5 mg/l se presentó en los sitios de monitoreo Tlalnepantla, Secretaría de Hacienda (zona noroeste); Lomas, Felipe Ángeles (zona suroeste) y Xochimilco (zona sureste), comportamiento similar a 1994. Excepto el sitio de monitoreo Xalostoc, el intervalo de concentración >0.5 - 0.8 mg/l se distribuyó en el resto de la ZMCM. Mientras que la concentración >0.8 - 1.10 mg/l se ubicó en el sitio de monitoreo Xalostoc. Figura No. 10.

La distribución de los niveles de concentración en este año se relaciona fuertemente a las bajas concentraciones obtenidas en los sitios de monitoreo localizados en la zona noreste (Xalostoc, Cerro del Tepeyac, Netzahualcóyotl Sur y Chapingo) y sureste (Xochimilco) de la ZMCM. En comparación con los años 1994 y 1995 donde las concentraciones registraron valores altos.

VI.4.3 Sodio (Na^+)

La distribución de sodio presentó concentraciones que van de 0.6 hasta 3.23 mg/l. Concentraciones muy similares a las obtenidas en 1994 y 1995; 0.4-3.9 mg/l y 0.6-3.9 mg/l, respectivamente.

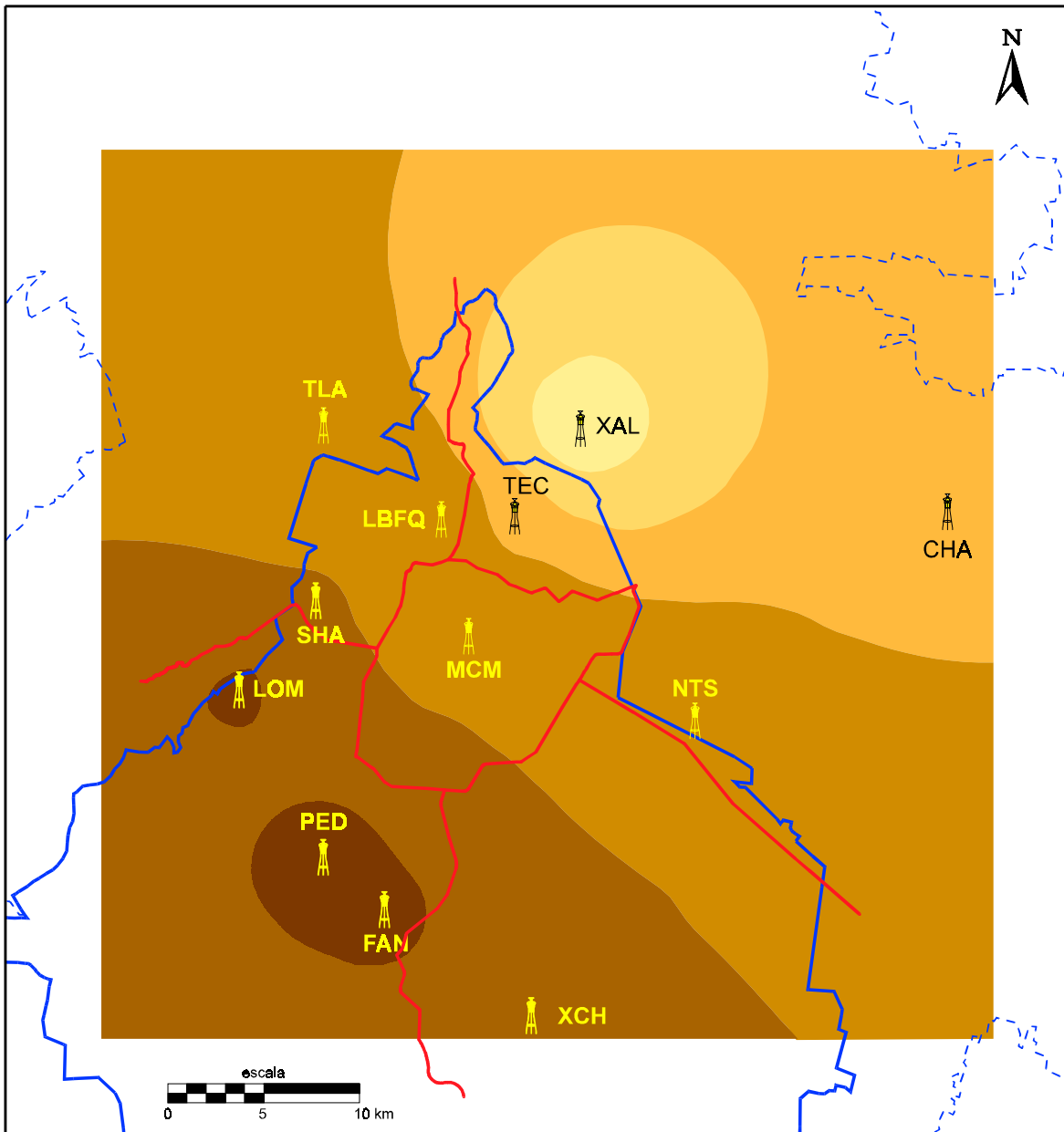
El intervalo de concentración de 0.6 - 1.0 mg/l fue el más bajo y se distribuyó en los sitios Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica (zona noroeste); Museo de la Cd. de México (zona centro); Chapingo (zona noreste) y Lomas, Pedregal, Felipe Ángeles (zona suroeste). Mientras que el intervalo de concentración más alto de >2.0-3.23 mg/l se ubicó en el sitio Xalostoc (zona noreste). Figura No. 11.

Exceptuando al sitio Chapingo (zona noreste), la forma en que se manifestaron las concentraciones en los sitios restantes en la ZMCM fue ligeramente similar a 1994 y 1995.

VI.4.4. Magnesio (Mg^{++})

Las concentraciones de magnesio de 0.2 hasta 1.0 mg/l fueron ligeramente similares a las obtenidas en 1994 (0.1 - 1.9 mg/l) y 1995 (0.2 - 1.7 mg/l). En éste año las concentraciones más bajas de 0.2 - 0.4 mg/l se ubicaron en los sitios Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica (zona noroeste); Cerro del Tepeyac, Chapingo (zona noreste); Museo de la Cd. de México (zona centro); Lomas, Pedregal, Felipe Ángeles (zona suroeste) y; Xochimilco (zona sureste). Mientras que el intervalo más alto de concentración >0.6 - 1.0 mg/l se situó en el sitio Xalostoc (zona noreste). Figura No. 12.

Es importante mencionar que el sitio de monitoreo Chapingo (zona noreste), el cual presentó en los dos últimos años concentraciones altas de éste compuesto, en éste año las concentraciones registradas se ubicaron en el primer intervalo de concentración, es decir en el más bajo.



Intervalos de pH







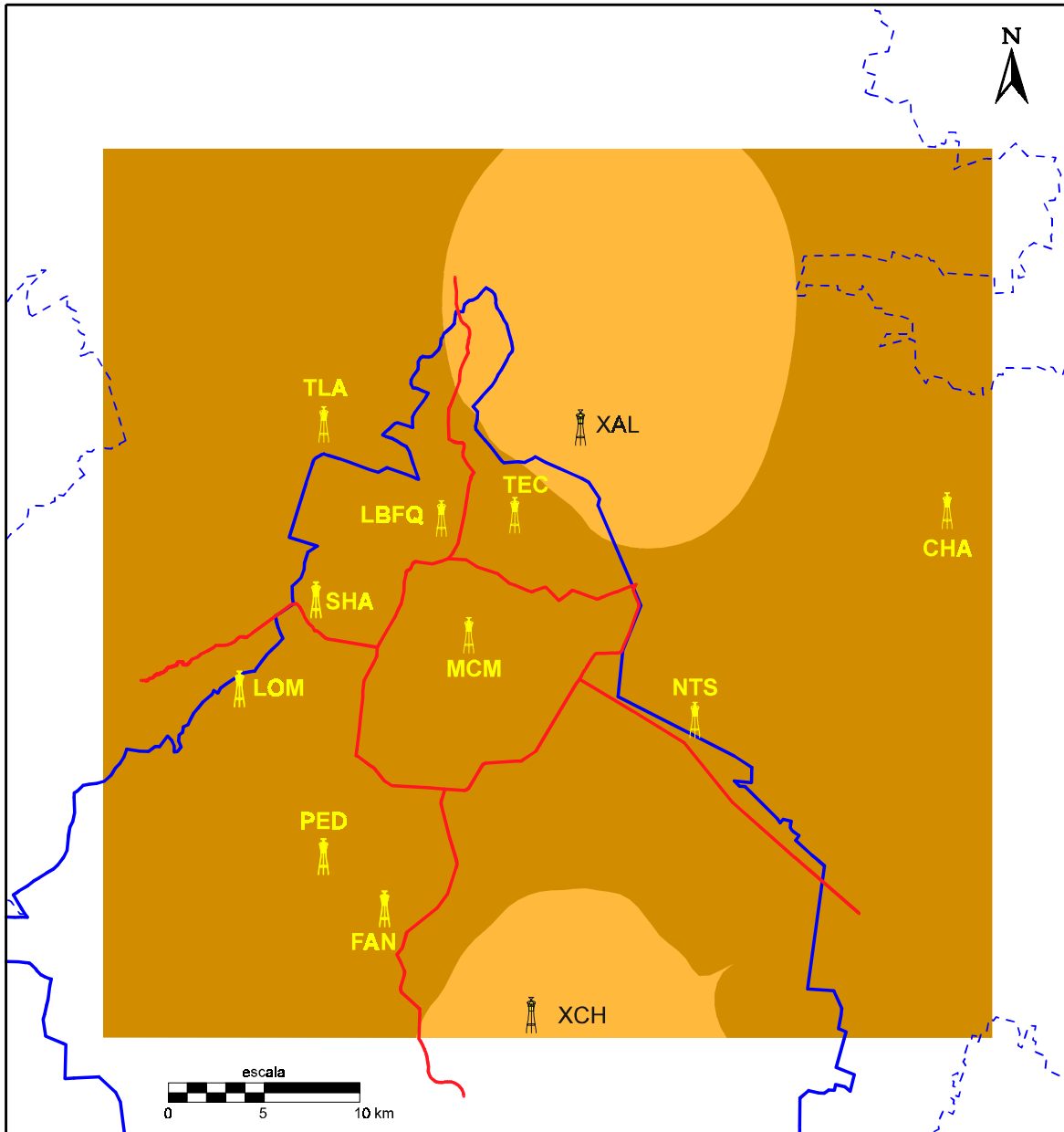
	4.3 - 4.6	} LLUVIA ACIDA
	4.6 - 5.0	
	5.0 - 5.4	
	5.4 - 5.6	
	5.6 - 6.0	
	6.0 - 6.4	

Figura No. 6. Distribución espacial del pH.



**Intervalos de concentración
µS/cm**

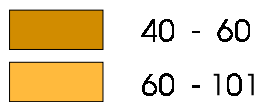
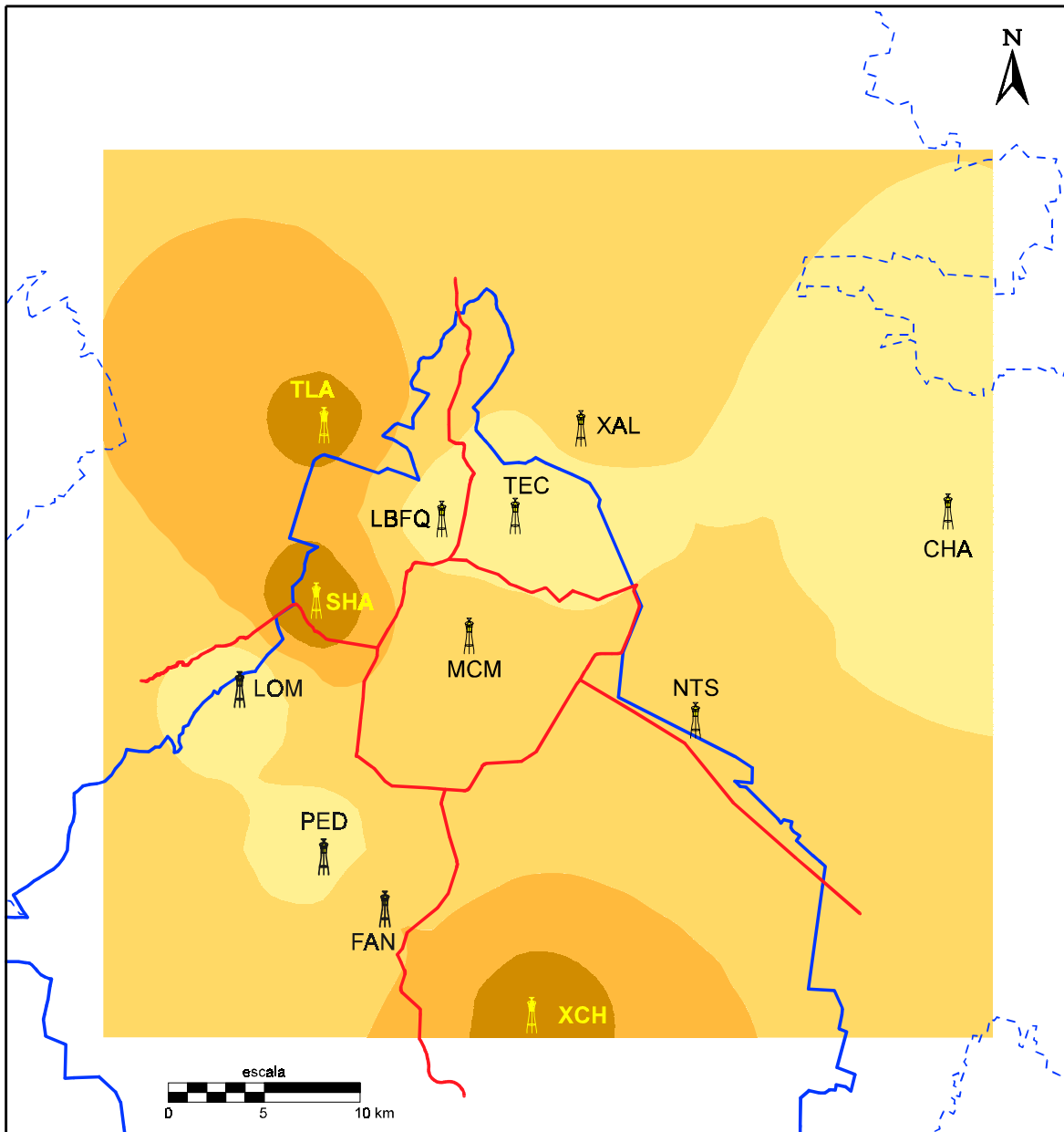


Figura No 7. Distribución espacial de conductividad.



**Intervalos de concentración
mg/l**





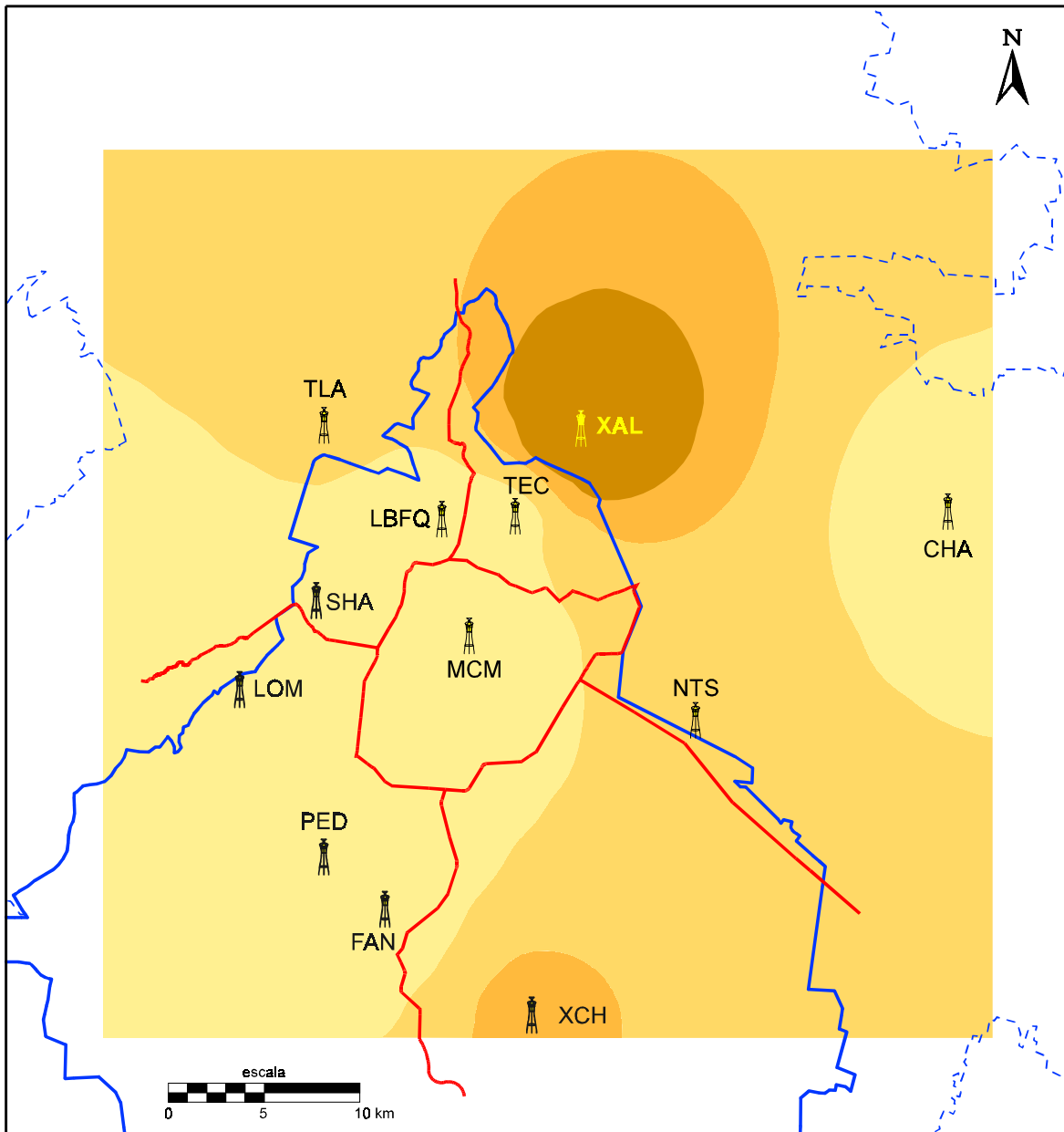
	4.5 - 4.6
	4.6 - 5.0
	5.0 - 5.4
	5.4 - 5.6

Figura No. 8. Distribución espacial de NO_3^- .



**Intervalos de concentración
mg/l**





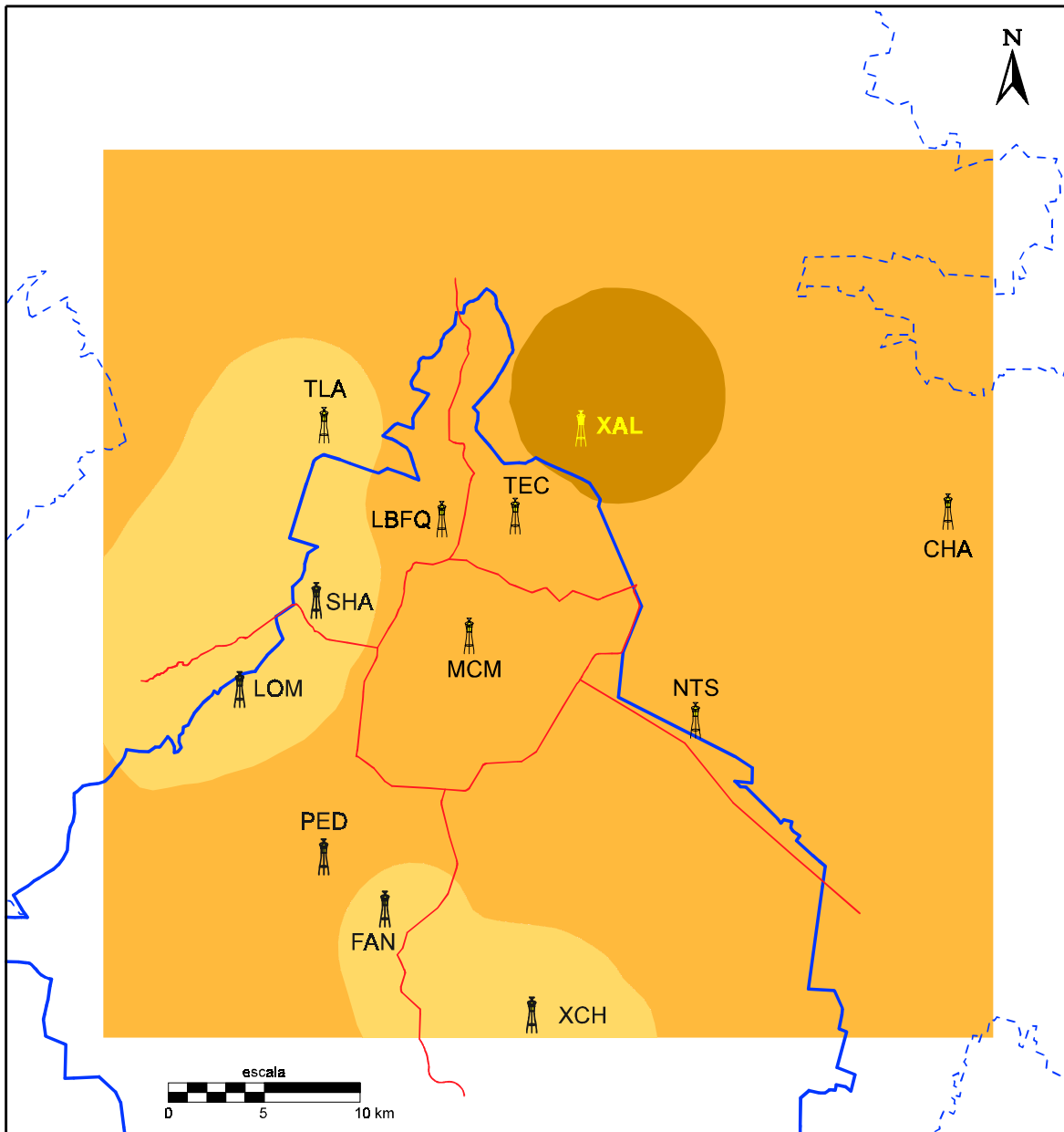
	8.0 - 14.5
	6.0 - 8.0
	4.0 - 6.0
	1.8 - 4.0

Figura No. 9. Distribución espacial de Ca^{++} .



**Intervalos de concentración
mg/l**

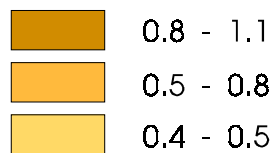
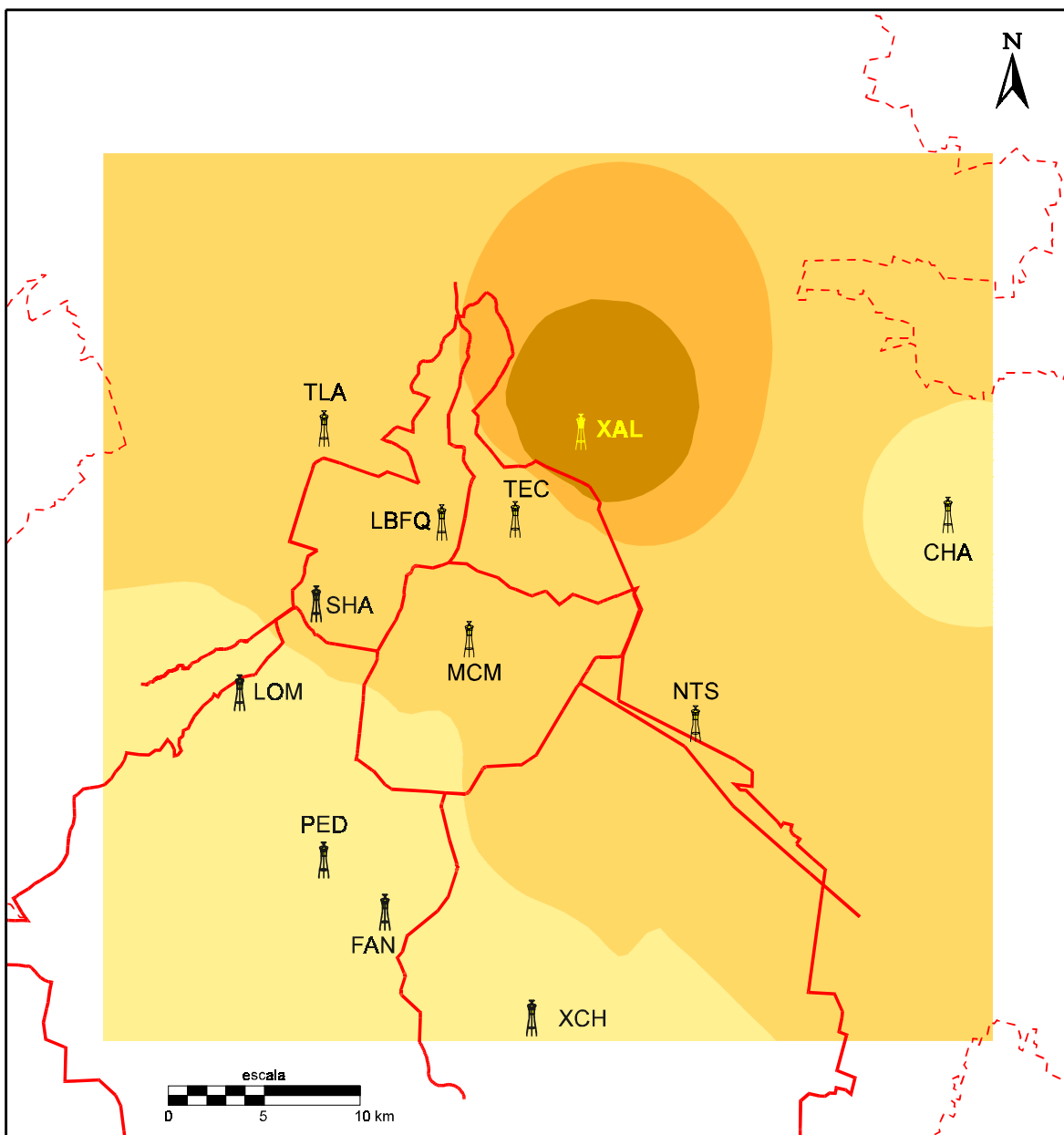


Figura No. 10. Distribución espacial de K^+ .



**Intervalos de concentración
mg/l**





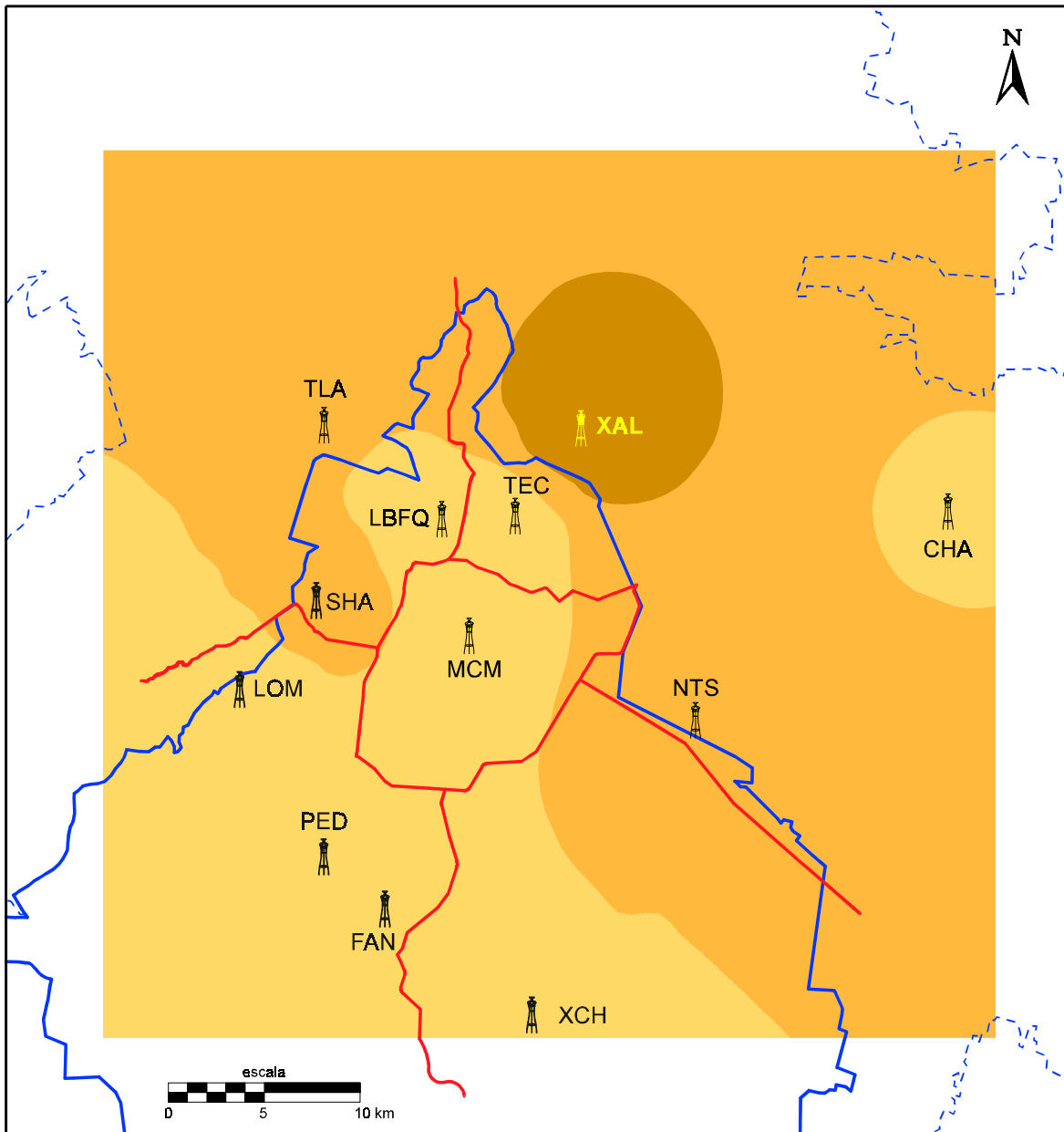
	2.0 - 3.2
	1.6 - 2.0
	1.0 - 1.6
	0.6 - 1.0

Figura No. 11. Distribución espacial de Na^+ .



**Intervalos de concentración
mg/l**




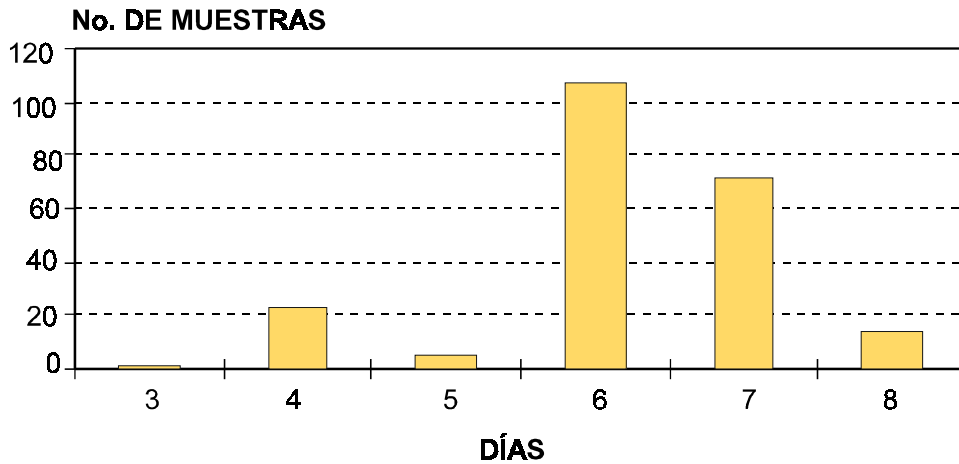
	0.6 - 1.0
	0.4 - 0.6
	0.2 - 0.4

Figura No. 12. Distribución espacial de Mg^{++} .

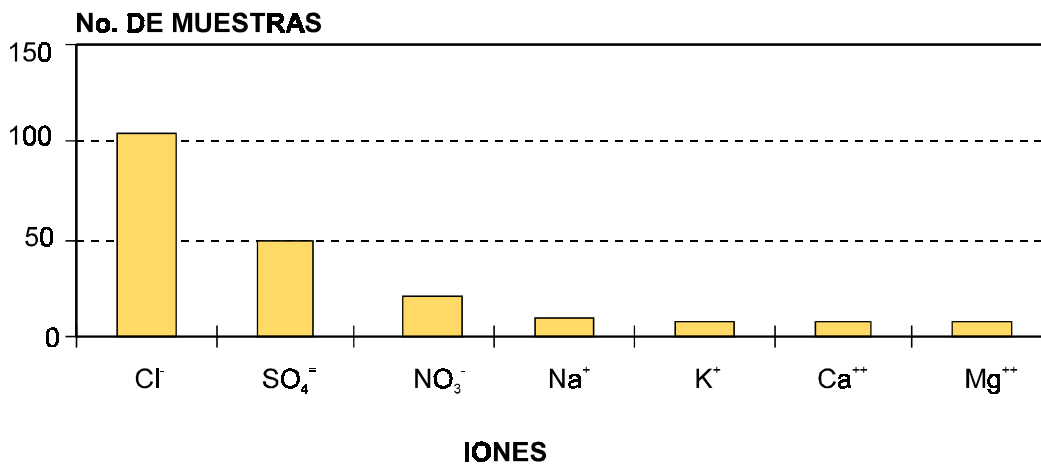
**Gráfica No. 2. Períodos de recolección del agua de lluvia
mayo - octubre de 1996**



V.1 Valores cero

Durante la campaña de muestreo 1996 se registraron valores cero en las variables Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , Gráfica No. 3. Debido a los volúmenes escasos de agua de lluvia captados, imposibilitando su determinación y en algunas ocasiones la concentración no fue detectada por el método de análisis (principalmente en Cl^-).

**Gráfica No 3. Valores cero
mayo - octubre de 1996**



V.2 Volumen

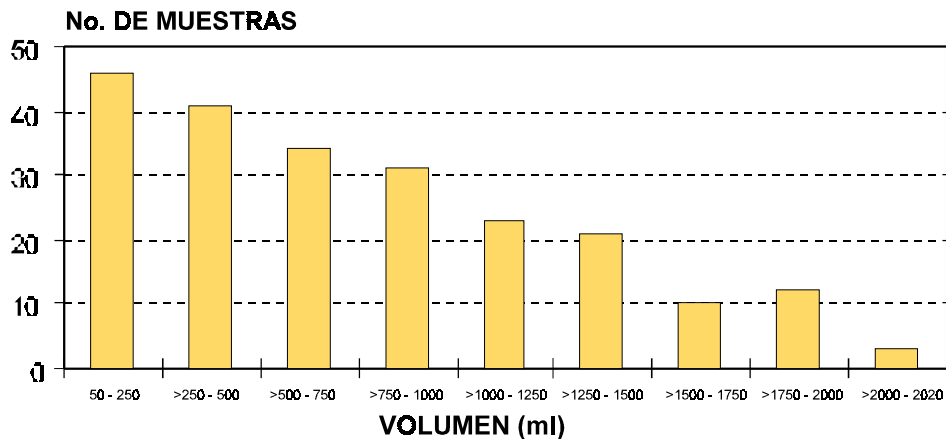
El volumen de agua captado en los doce sitios, Gráfica No. 4 mostró el mayor número de muestras de 21% en el primer intervalo de 50 - 250 ml. Mientras que el último intervalo de 2000 - 2020 ml sólo agrupó al 1.4% de las muestras.

Durante los meses monitoreados, el volumen promedió un valor de 767.0 ml, el cual se ubicó en el cuarto intervalo (>750-1000 ml), Gráfica No. 4. Por su parte, la distribución porcentual en el intervalo de 230.98 a 1302.91 fué del 63%. Figura No. 5 (a).

En los meses de recolección, septiembre alcanzó el valor promedio más alto de precipitación pluvial (129.23 mm), DGCOH, 1996. También, en este mes se captaron con mayor frecuencia los más grandes volúmenes de agua en los recipientes de recolección.

El valor máximo del volumen captado en las muestras fué de 2020 ml en los sitios de monitoreo Pedregal (del 14 al 20 de junio de 1996) y Lomas (del 13 al 19 de septiembre de 1996; del 19 al 25 de septiembre de 1996), respectivamente. El valor mínimo de 50 ml se registró en los sitios de monitoreo Secretaría de Hacienda (del 29 de mayo al 05 de junio de 1996), Pedregal (del 20 al 26 de junio de 1996) y Felipe Ángeles (del 10 al 14 de junio de 1996). Mientras, que los promedios máximo y mínimo obtenidos fueron de 1021 ml y 533 ml en los sitios Lomas y Chapingo, localizados en las zonas suroeste y noreste respectivamente.

**Gráfica No. 4. Volumen
mayo - octubre de 1996**



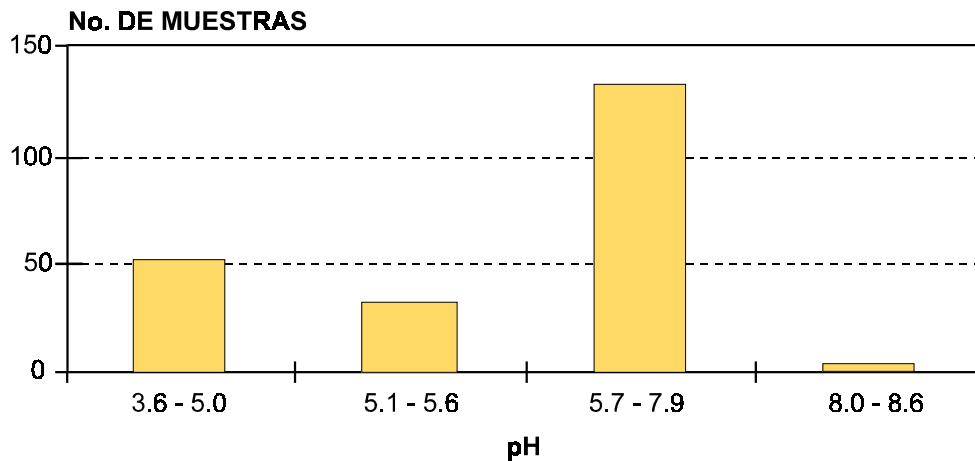
V.3. Potencial hidrógeno (pH) *determinado en laboratorio*

En la Gráfica No. 5 se aprecia los cuatro intervalos de pH establecidos. El primer intervalo (3.6 - 5.0) agrupó muestras con pH que caracterizan presencia de lluvias ácidas, representando el 23.53%. El segundo intervalo (5.1 - 5.6) integró muestras cuyo pH es el normal en el agua de lluvia, alcanzando el 14.93%. Mientras, que los dos últimos intervalos (5.7 - 7.9 y 8.0 - 8.6) reunieron muestras con pH que van de ligeramente ácidos a alcalinos, constituyendo el 61.54%. Por lo que, durante la temporada de lluvias 1996 el comportamiento del pH del agua de lluvia fue ligeramente alcalino.

Los valores máximo y mínimo de la concentración de pH se obtuvieron en los sitios Xalostoc (del 17 al 24 de julio de 1996) y Xochimilco (del 14 al 20 de agosto de 1996) con 8.59 y 3.62. En tanto que los valores promedio máximo y mínimo correspondieron a los sitios Xalostoc y Pedregal con 6.38 y 4.49. Lo anterior muestra que a pesar de que el sitio Xochimilco (zona sureste) registró la concentración más baja de pH, fue el sitio Pedregal (zona suroeste) el que registró el mayor número de eventos ácidos. Anexo XIII.4.

En la Figura No. 5 (b), se observa la distribución porcentual, respecto al valor promedio obtenido, en el intervalo 4.89 - 6.94, el cual representó el 62.0%.

**Gráfica No. 5. pH (Laboratorio)
Intervalos de concentración de pH
mayo - octubre de 1996**



V.4 Conductividad

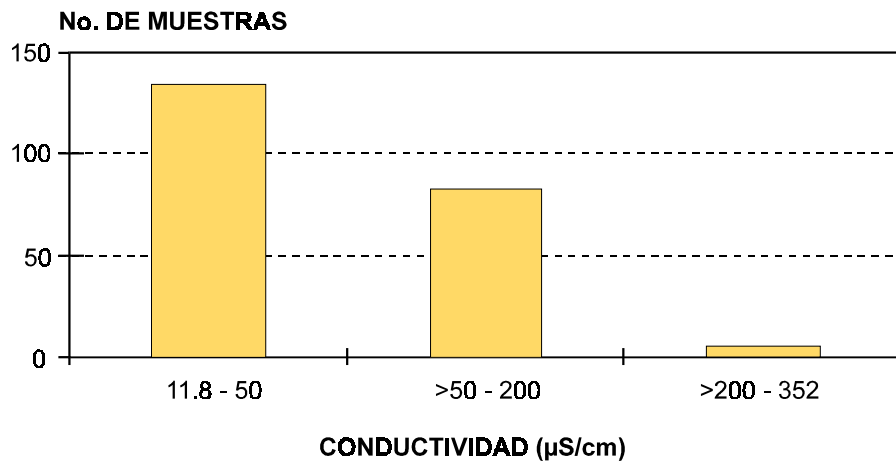
La distribución en clases de este parámetro disminuyó a 3 intervalos, comparado con 1995 en el que se determinaron 6 intervalos, comportamiento relacionado con el dispositivo de protección del embudo, utilizado en la campaña de muestreo 1996 y que permitió minimizar la contaminación de muestras por excremento de aves, reduciendo significativamente la cantidad de sales disueltas que alteran la conductividad del agua de lluvia.

En la Gráfica No. 6 se observa que el primer intervalo de 11.8 - 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ agrupó el mayor número de datos (61%). En este mismo intervalo se ubicaron los valores promedio de los sitios Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica (zona noroeste), Cerro del Tepeyac, Chapingo (zona noreste), Museo de la Cd. de México (zona centro), Lomas, Pedregal y Felipe Ángeles (zona suroeste). Mientras que el promedio de los sitios restantes se ubicó en el segundo intervalo de >50 - 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El tercer intervalo (>200-352 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sólo agrupó 4 muestras (1.8%) que correspondieron a los sitios Xalostoc y Chapingo (zona noreste).

El valor máximo de 352.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y mínimo de 11.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fueron registrados en los sitios Xochimilco (zona sureste) y Chapingo (zona noreste). Anexo XIII.4.

En la Figura No. 5 (c) se muestra la distribución porcentual de este parámetro en el intervalo 12.62- 96.49 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el cual representa el 88.2% de los datos con una tendencia alrededor del valor promedio.

**Gráfica No. 6. Conductividad (Laboratorio)
Intervalos de concentración $\mu\text{S}/\text{cm}$
mayo - octubre de 1996**



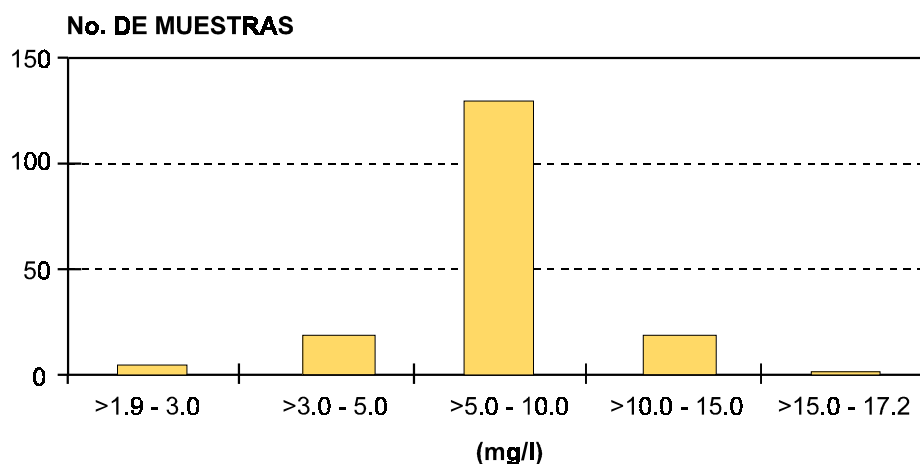
V.5. Sulfatos (SO_4^-)

La concentración de sulfatos se distribuyó en 5 intervalos que van de 1.93 hasta 17.17 mg/l. El tercero de $> 5 - 10$ mg/l agrupó el mayor número de muestras (75.4%), Gráfica No. 7. En este mismo intervalo se ubicó el valor promedio obtenido para los sitios Secretaría de Hacienda, Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica (zona noroeste), Cerro del Tepeyac (zona noreste), Museo de la Cd. de México (zona centro), Lomas, Pedregal y Felipe Ángeles (zona suroeste). Los sitios restantes presentaron datos insuficientes para su tratamiento estadístico. Anexo XIII.4.

Por su parte, la concentración máxima y mínima registrados fué 13.60 mg/l y 2.33 mg/l en los sitios Secretaría de Hacienda (zona noroeste) y Museo de la Cd. de México (zona centro). Anexo XIII.4.

Asimismo, la distribución porcentual alrededor del valor promedio del ion SO_4^- fue del 74.0%, Figura No. 5 (d).

Gráfica No. 7. Sulfatos
Intervalos de concentración mg/l
mayo - octubre de 1996



V.6 Nitratos (NO_3^-)

Los niveles del ion NO_3^- se distribuyeron en 6 intervalos de concentración de 0.14 hasta 16.93 mg/l, Gráfica No. 8. El quinto intervalo (>4.0 - 9.0 mg/l) reunió el mayor número de muestras (46.8%), comportamiento similar al del año pasado (31.9%). Asimismo, en este intervalo se ubicaron los valores promedio de todos los sitios estudiados. Por su parte, los valores máximo (16.93 mg/l) y mínimo (0.14 mg/l) correspondieron ambos al sitio Tlalnepantla (zona noroeste). Anexo XIII.4.

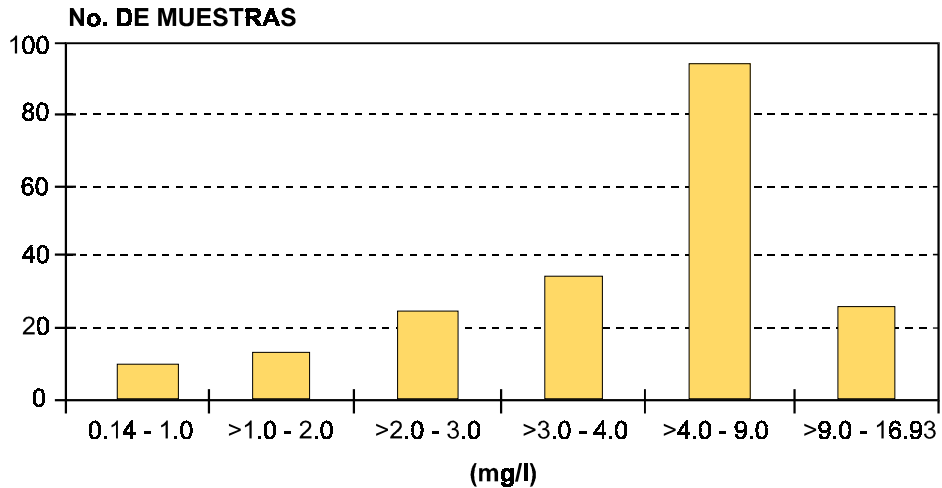
El 72.6% de los datos presentan una distribución porcentual en el intervalo 2.04-8.51 mg/l, Figura No. 5 (e).

V.7. Sodio (Na^+)

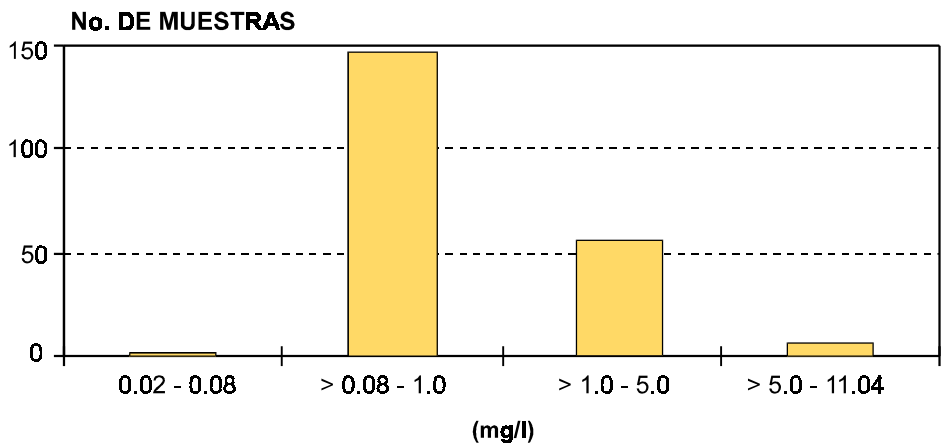
Las concentraciones de sodio se presentan ordenados en 4 intervalos (de 0.022 hasta 11.04 mg/l), Gráfica No. 9. El segundo intervalo de (>0.08 - 1.0 mg/l) acumuló el mayor número de muestras (69.7%), comparable a los años 1994 (71.7%) y 1995 (64.0%). También, en este intervalo se ubicaron los valores promedio de los sitios Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica (zona noroeste), Chapingo (zona noreste), Museo de la Cd. de México (zona centro), Lomas, Pedregal, Felipe Ángeles (zona suroeste) y Xochimilco (zona sureste), Anexo XIII.4.

Por su parte, los valores máximo (11.04 mg/l) y mínimo (0.02 mg/l) se registraron en los sitios Xalostoc y Netzahualcóyotl Sur (zona noreste), Anexo XIII.4. El ion sodio representó una distribución porcentual de 88.2% en el intervalo de -0.393-2.75 mg/l, respecto a su valor promedio, Figura No. 5 (f).

Gráfica No. 8. Nitratos
Intervalos de concentración mg/l
mayo - octubre de 1996



Gráfica No. 9. Sodio
Intervalos de concentración mg/l
mayo - octubre de 1996



V. 8. Potasio (K⁺)

Las concentraciones de este compuesto se presentan en 4 intervalos (de 0.03 hasta 4.70 mg/l), Gráfica No. 10. El segundo intervalo (>0.08 - 1.0 mg/l) agrupó el mayor número de muestras (85.9%), similar a los años 1994 (79.5%) y 1995 (62.1%). Los valores promedio obtenidos en cada uno de los sitios de monitoreo se ubicaron en este mismo intervalo, excepto el sitio Xalostoc (zona noreste), cuyo valor promedio se situó en el tercer intervalo (de >1.0-3.0 mg/l).

La concentración máxima y mínima de 4.70 y 0.03 mg/l se registró en los sitios Chapingo (zona noreste) y Lomas (zona suroeste). Mientras que los valores promedio máximo y mínimo correspondieron a los sitios Xalostoc (zona noreste) y Secretaría de Hacienda (zona noroeste) con 1.10 y 0.40 mg/l respectivamente. Anexo XIII.4.

En éste año el potasio presentó una disminución considerable en sus valores de concentración, respecto al año pasado. En 1995, el intervalo de mayor concentración de 38.5 - 108.8 mg/l agrupó valores registrados en los sitios de monitoreo Chapingo, Xalostoc, Cerro del Tepeyac (zona noreste), Xochimilco (zona sureste) y Felipe Ángeles (zona suroeste). Mientras que en 1996 el intervalo de mayor concentración de >3.00 - 4.70 mg/l, reunió las mediciones de éste ion de los sitios de monitoreo Chapingo, Xalostoc (zona noreste) y Museo de la Cd. de México (zona centro). Generalmente, las concentraciones registradas en los sitios de monitoreo Chapingo y Xalostoc (zona noreste) se ubicaron en el intervalo de mayor concentración. También en estos sitios se registraron los valores más altos de conductividad.

La disminución significativa de los niveles del ion potasio en éste año, es posible que se relacionen con el dispositivo de protección del embudo, el cual ayudó a prevenir la contaminación de las muestras.

La distribución porcentual del ion potasio en el intervalo -0.03 - 1.25 mg/l representó el 90.2%. Figura No. 5. (g).

V.9. Calcio (Ca⁺⁺)

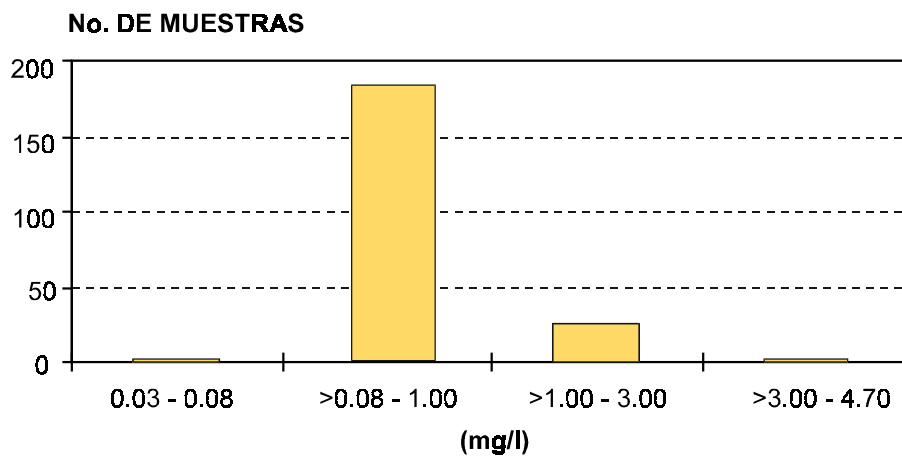
Las concentraciones de este elemento se distribuyeron en 5 intervalos de concentración de 0.122 hasta 34.63 mg/l, Gráfica No. 11. Los intervalos que agruparon mayor número de muestras fueron el segundo (>1.0 - 2.0 mg/l) con 30.8% y el quinto (>4.0 - 34.63 mg/l) con 26.2%, comportamiento similar al obtenido en 1995 (segundo intervalo: 38.2%; quinto intervalo: 27.4%). En éste último intervalo el 50 % de los datos registrados corresponden a la zona noreste, correspondiéndole al sitio Xalostoc el 26.7 % y el porcentaje restante a los sitios Chapingo, Cerro del Tepeyac y Netzahualcóyotl Sur.

Los valores promedio obtenidos en cada uno de los sitios se ubicaron en el segundo intervalo (Lomas); tercer intervalo (Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica, Chapingo, Museo de la Cd. de México y Pedregal); cuarto intervalo

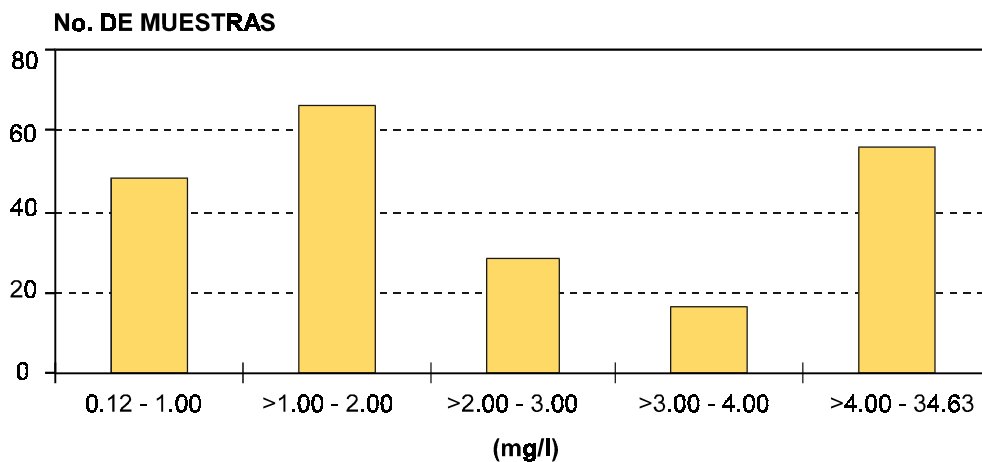
(Secretaría de Hacienda, Cerro del Tepeyac y Felipe Ángeles); quinto intervalo (Tlalnepantla, Xalostoc, Netzahualcóyotl Sur y Xochimilco). La concentración mínima (0.12 mg/l) y máxima (34.63 mg/l) correspondió a los sitios Lomas (zona suroeste) y Xochimilco (zona sureste) respectivamente. Anexo XIII.4.

Así mismo, el calcio alcanzó una distribución porcentual del 90.2%, Figura No. 5 (h), en el intervalo -1.93 y 10.46 mg/l.

Gráfica No. 10. Potasio (K⁺)
Intervalos de concentración mg/l
mayo - octubre de 1996



Gráfica No. 11. Calcio (Ca⁺⁺)
Intervalos de concentración mg/l
mayo - octubre de 1996



V.10. Magnesio (Mg⁺⁺)

Las concentraciones de éste ion se distribuyeron en 7 intervalos que van de 0.03 hasta 4.28 mg/l, Gráfica No. 12. El tercer intervalo (>0.08 - 1.0 mg/l) agrupó el mayor número de datos (78.0%), similar a los años 1994 (80.3%) y 1995 (83.8%). En este intervalo, el número de muestras por sitio fue semejante.

En el intervalo >0.08 - 1.0 mg/l se ubicaron los valores promedio de cada uno de los sitios de monitoreo. Respecto a la concentración máxima y mínima, éstas fueron: 0.03 mg/l (Lomas, zona suroeste) y 4.28 mg/l (Secretaría de Hacienda, zona noroeste), respectivamente, Anexo XIII.4.

La distribución porcentual del ion magnesio representó el 88.3% en el intervalo -0.16 - 0.99 mg/l, Figura No. 5. (i).

**Gráfica No. 12. Magnesio (Mg⁺⁺)
Intervalos de concentración mg/l
mayo - octubre de 1996**

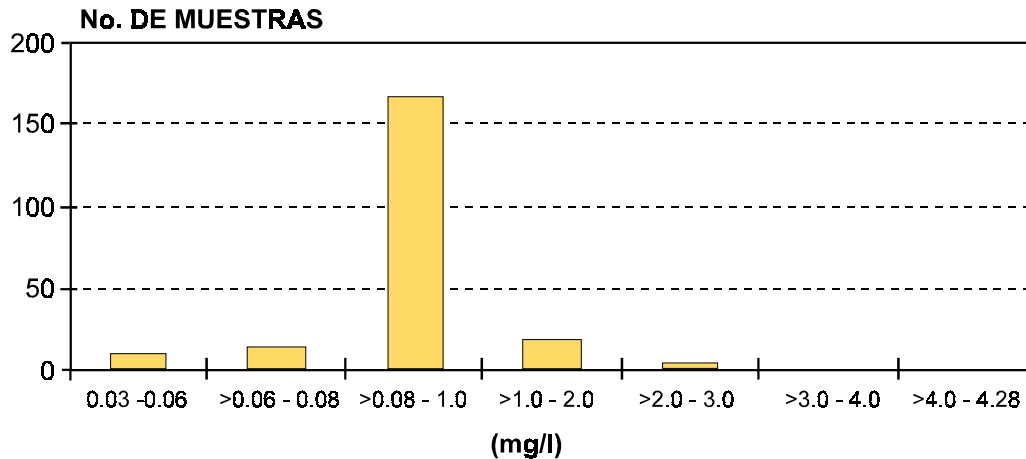
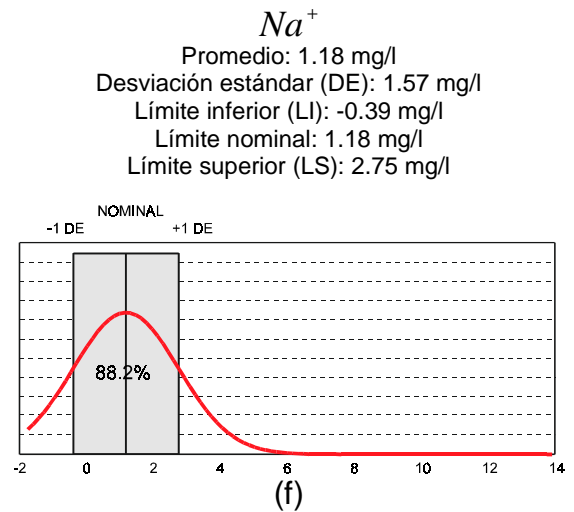
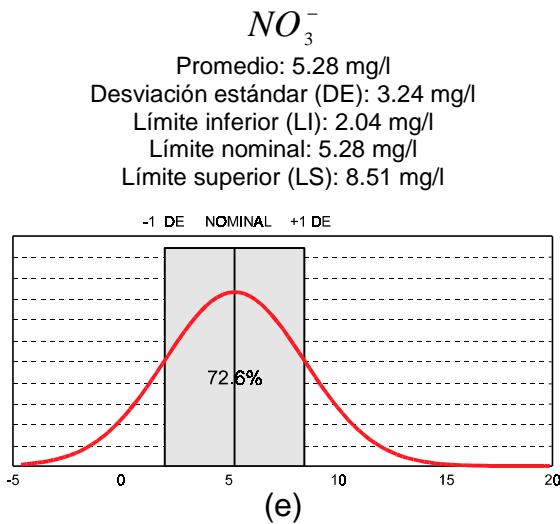
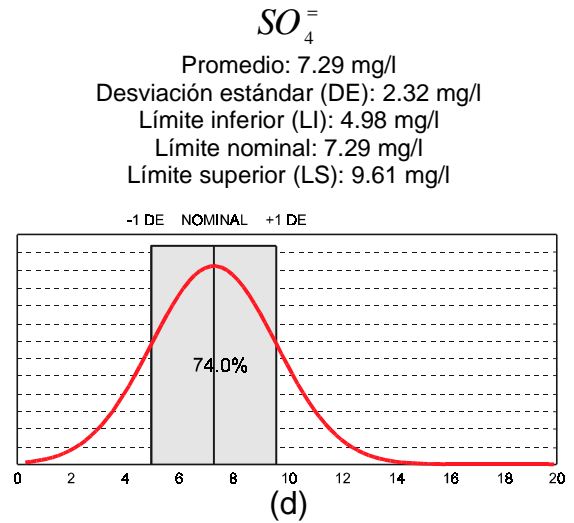
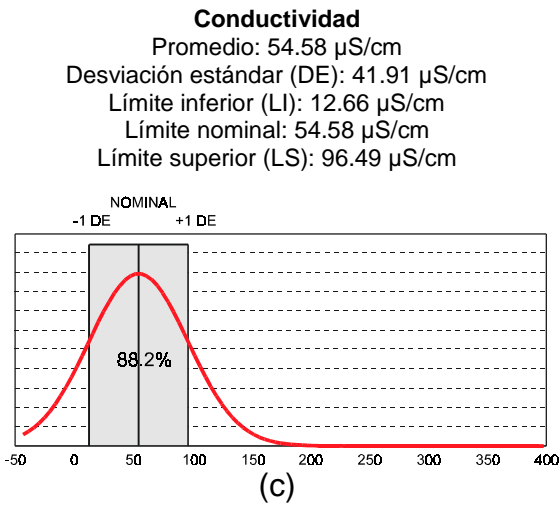
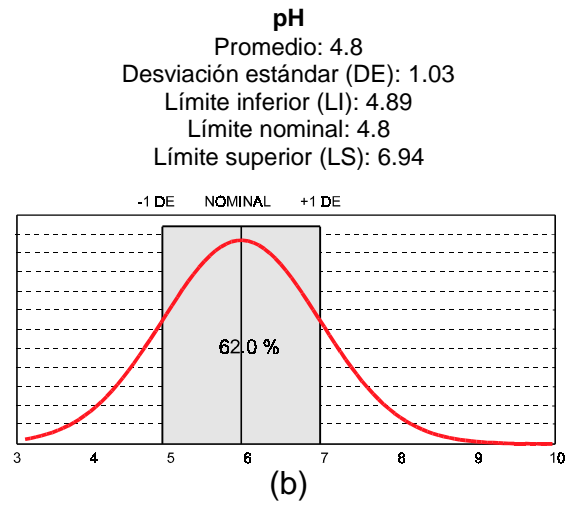
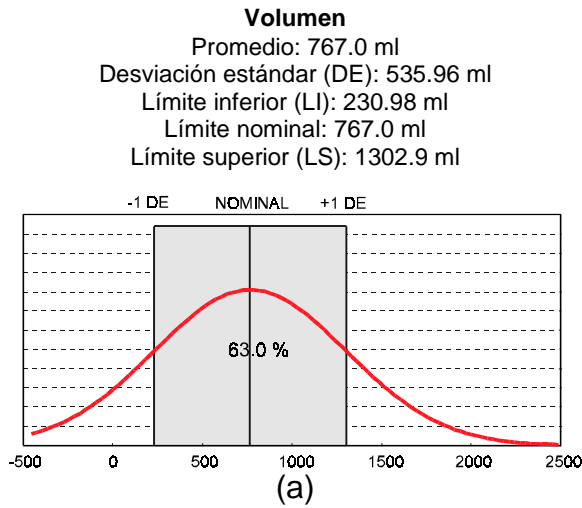


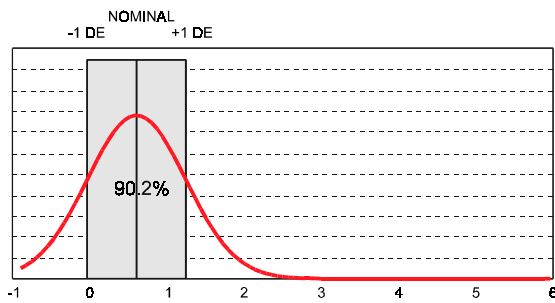
Figura No. 5. Distribución porcentual de iones.



Continuación...



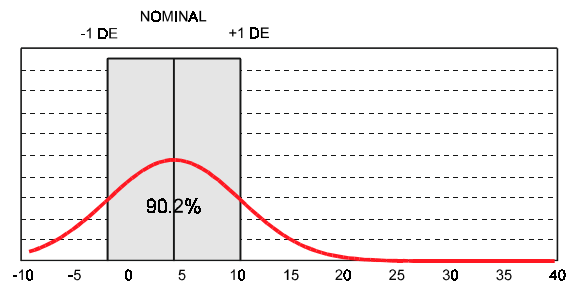
Promedio: 0.61 mg/l
 Desviación estándar (DE): 0.64 mg/l
 Límite inferior (LI): -0.03 mg/l
 Límite nominal: 0.61 mg/l
 Límite superior (LS): 1.25 mg/l



(g)



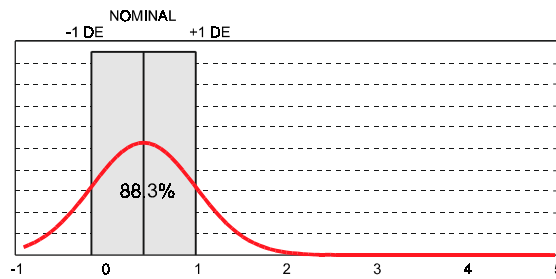
Promedio: 4.26 mg/l
 Desviación estándar (DE): 6.20 mg/l
 Límite inferior (LI): -1.93 mg/l
 Límite nominal: 4.26 mg/l
 Límite superior (LS): 10.46 mg/l



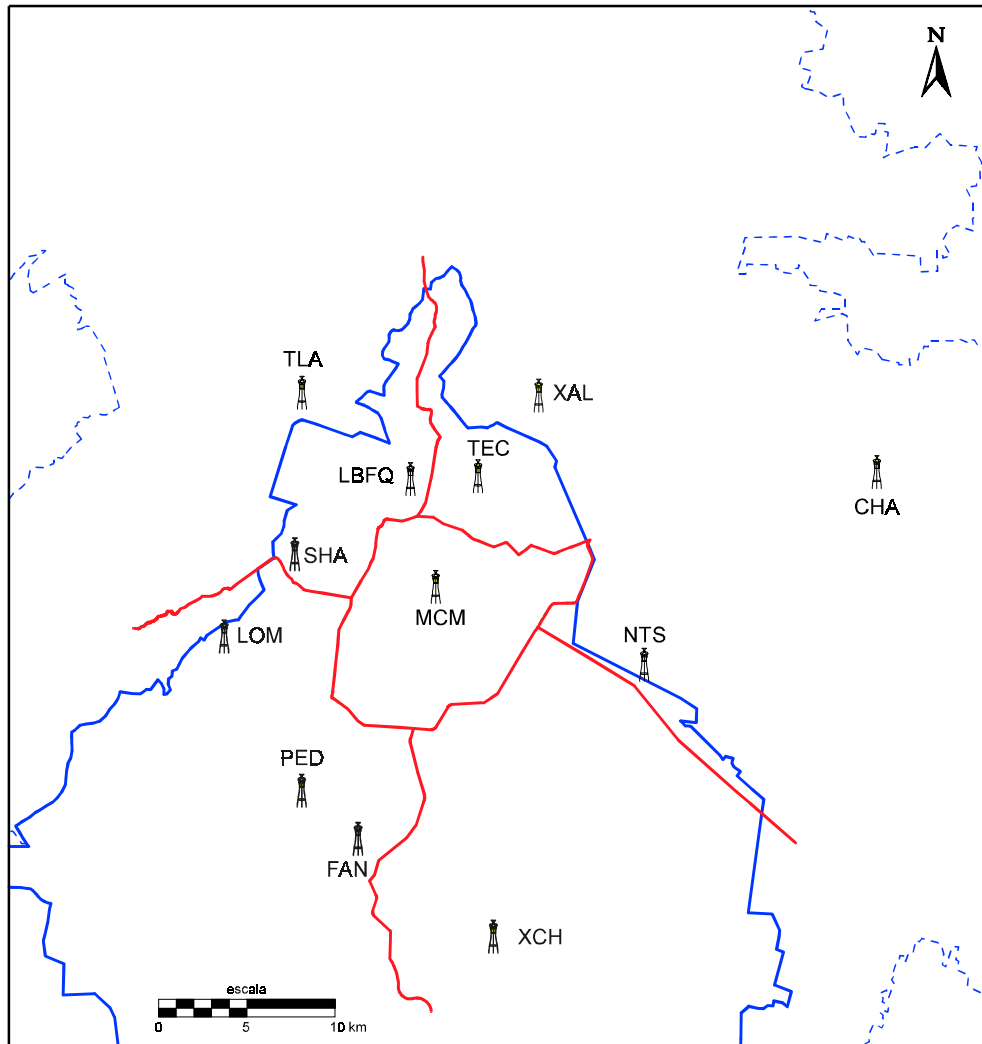
(h)



Promedio: 0.42 mg/l
 Desviación estándar (DE): 0.58 mg/l
 Límite inferior (LI): -0.16 mg/l
 Límite nominal: 0.42 mg/l
 Límite superior (LS): 0.99 mg/l



(i)



Zona	Sitio	Clave
Noroeste	Tlalnepantla	TLA
	Secretaría de Hacienda	SHA
	Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica	LBFQ
Noreste	Xalostoc	XAL
	Cerro del Tepeyac	TEC
	Netzahualcóyotl Sur	NTS
	Chapingo	CHA
Centro	Museo de la Cd. de México	MCM
Suroeste	Lomas	LOM
	Pedregal	PED
	Felipe Ángeles	FAN
Sureste	Xochimilco	XCH

Figura. No. 3 Localización de los sitios de monitoreo.

IV.3 Frecuencia de recolección

El período de muestreo comprendió los meses de mayo a octubre. La frecuencia de recolección de las muestras fué de seis días en cada sitio de monitoreo.

Cada botella de polietileno fué reemplazada aún cuando no se presentó evento de precipitación, la botella fué enviada al laboratorio para su limpieza y se detalló en la hoja de reporte (Anexo No. XIII.2) la ausencia de precipitación.

Por su parte, cada botella con muestra de agua de lluvia fué sellada, etiquetada y colocada en una hielera para su transporte hacia el Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica.

IV.4 Medición de la conductividad y el pH en el sitio de monitoreo

Con el fin de detectar cambios en el pH del agua de lluvia, la medición de conductividad y pH se llevó a cabo en el sitio de monitoreo, una vez efectuado el reemplazo de la botella. Los procedimientos utilizados se detallan a continuación:

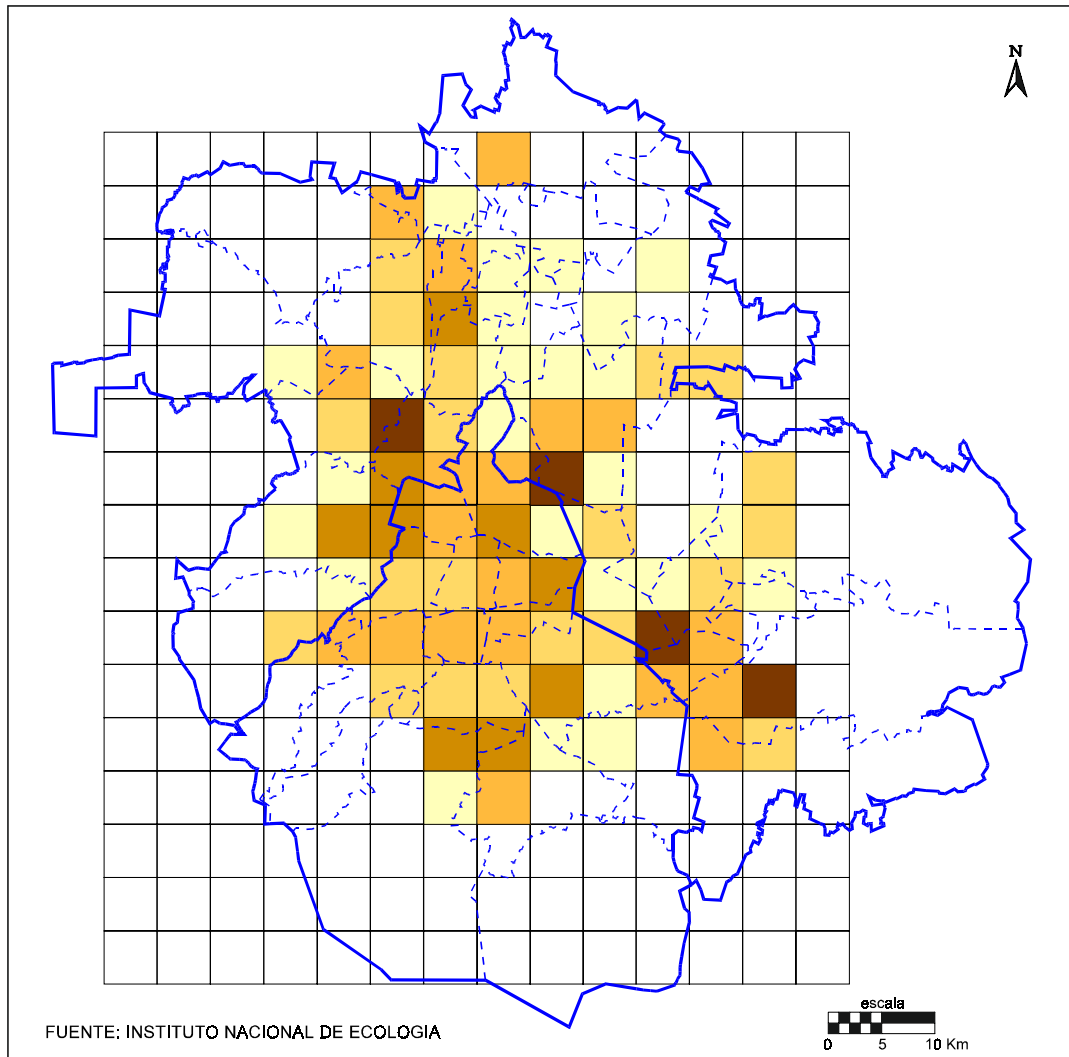
- Se determinó el volumen de agua de la muestra, si fué alrededor de 500 mililitros (ml) se efectuó la medición de conductividad y pH. Cuando el volumen de la muestra fué inferior a 500 ml se omitió la medición de estos parámetros.
- Cuando el volumen de la muestra fluctuó alrededor de 500 ml, se apartó una alícuota de 20 ml para la medición de éstos parámetros.

IV.5 Recepción de muestras y análisis químico-biológico

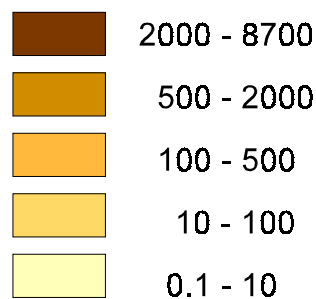
Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Bacteriología y Físicoquímica, donde se analizó: pH (potencial hidrógeno), conductividad y diferentes iones en solución: sulfatos (SO_4^-), nitratos (NO_3^-), cloruros (Cl^-), sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{++}) y calcio (Ca^{++}). Anexo XIII.3.

Una vez las muestras en el laboratorio, se procedió a realizar la filtración de 300 ml de muestra (0.45 μm , tamaño de poro) tan pronto como fué posible, Durst R. A., *et al.*, 1991, 1994 y NILU, 1995 y se determinó la presencia de artrópodos, estructuras vegetales, estructuras de reproducción vegetal (grano de polen y microesporas), parásitos de coníferas, algas microscópicas, hongos microscópicos, huevecillos y quistes de parásitos. Posteriormente, las muestras se refrigeraron a 4°C² mientras se efectuó el análisis químico.

² Con base en estudios realizados en los Estados Unidos de América, la preservación a 4°C no provoca cambios significativos en el pH de la solución de la muestra.



**OXIDOS DE AZUFRE
TON/AÑO**



Fuente: García *et al.*, 1996.

Figura No. 1. Emisión total de óxidos de azufre (SOx) provenientes de fuentes de punto en la ZMCM.

La industria en la ZMCM en general, no cuenta con sistemas de control de emisiones a la atmósfera para este contaminante, sin embargo su control se lleva a cabo mediante el uso de combustibles con menor contenido de azufre (Diesel Especial 0.5% por Diesel desulfurado 0.05%).

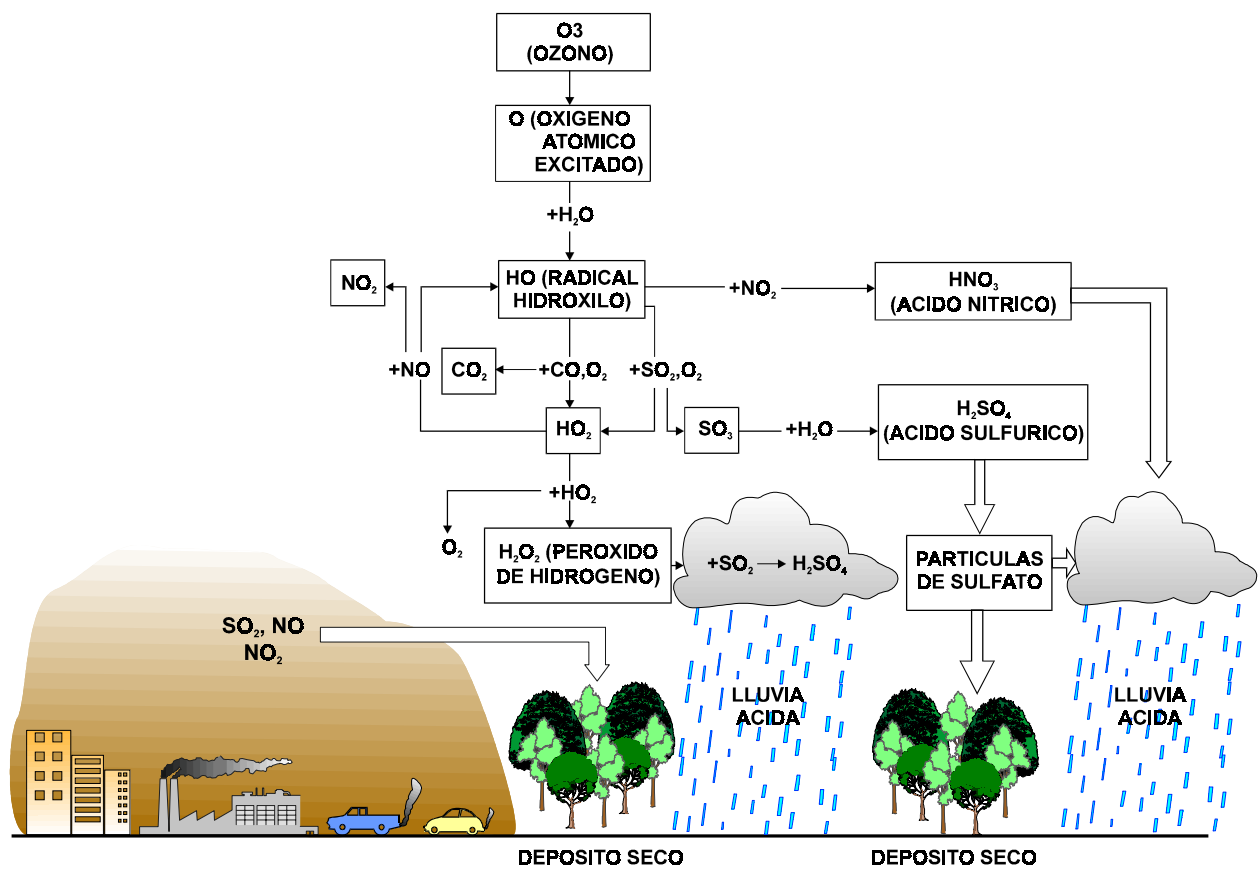
Otros compuestos químicos que determinan la formación de precipitación ácida en la atmósfera incluye a los agentes oxidantes: O_3 , H_2O_2 , OH (Figura No. 2), además de los factores físicos (radiación solar, humedad atmosférica y lluvia, etc.), la distancia de las fuentes de emisión, la altura de las chimeneas y el mismo pH del agua de lluvia. UNIPUB, 1985; Mohnen, 1988; Butler and Likens, 1991.

A través del depósito atmosférico húmedo (lluvia, nieve, granizo, etc.) y seco (polvo, gases, partículas), las precipitaciones ácidas caracterizan uno de los problemas ambientales de las grandes ciudades, comúnmente identificado como *lluvia ácida*.

La lluvia ácida es un fenómeno que ha surgido alrededor de los centros urbanos e industriales, sin embargo sus efectos no se limitan únicamente a estas áreas, sino que se extienden a miles de kilómetros de su origen. Los efectos dañinos producidos por lluvia ácida se han manifestado en la biota de diversos ecosistemas (lagos, ríos, bosques, cultivos), incluyendo la pérdida de nutrientes del suelo forestal, la disminución de la productividad de bosques y el deterioro en materiales construidos por el hombre (monumentos históricos, estatuas, etc.). Figura No. 2.

En países como Europa, Canadá y E.U.A. el impacto producido por lluvia ácida ha sido tema de discusión por diversos grupos de estudio, de donde han surgido recomendaciones para un control adicional de las emisiones de precursores de lluvia ácida. NAPAP, 1990; EPA, 1988; y UNIPUB, 1985.

En el estudio del transporte de precursores y la efectividad de reducir emisiones que permitan abatir los niveles actuales, se han utilizado herramientas computacionales, sin embargo la precisión de los resultados es incierto. La variabilidad de las condiciones climáticas y la complejidad de la química atmosférica hace difícil que los modelos puedan ser capaces de predecir como una fuente de emisión contribuye en el depósito atmosférico en un área pequeña. No obstante, los modelos pueden ser utilizados para evaluar patrones anuales de contaminantes transportados a través de grandes regiones geográficas. Los resultados podrían establecer patrones anuales del depósito de azufre en el agua de lluvia, UNIPUB, 1985.



Fuente: Mohnen, 1988.

Figura No. 2. Mecanismos de transformación química.

**Departamento del Distrito Federal
Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación
Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico
(R.A.M.A)**

Programa **"PRECIPITACIONES ÁCIDAS EN LA ZONA
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO"**

INFORME ANUAL 1996

Brasil 74 Col. Centro
México D.F. CP 06010
Tel. 526-4792 y 526-4852
email: jlpedroza@spin.com.mx

México D. F., agosto de 1997.

Contenido

Capítulo	Pág.
I. Resumen.....	4
II. Introducción.....	6
III. El fenómeno de precipitación ácida	7
IV. Metodología	
IV.1 Sitios de monitoreo	11
IV.2 Técnica de muestreo	11
IV.3 Frecuencia de recolección	13
IV.4 Medición de la conductividad y el pH en el sitio de monitoreo.....	13
IV.5 Recepción de muestras y análisis químico - biológico	13
V. Resultados y análisis	14
V.1 Valores cero	15
V. 2 Volumen	15
V.3 Potencial hidrógeno (pH)	16
V.4 Conductividad	17
V.5 Sulfatos (SO_4^-)	18
V.6 Nitratos (NO_3^-)	19
V.7 Sodio (Na^+)	19
V.8 Potasio (K^+)	20
V.9 Calcio (Ca^{++})	21
V.10 Magnesio (Mg^{++})	23
VI. Distribución espacial de los componentes iónicos	26
VI.1 Potencial hidrógeno (pH)	26
VI.2 Conductividad	26
VI.3 Nitratos (NO_3^-)	27
VI.4 Calcio, potasio, sodio y magnesio (Ca^{++} , K^+ , Na^+ , Mg^{++})	27
VI.4.1 Calcio (Ca^{++})	27
VI.4.2 Potasio (K^+)	28
VI.4.3 Sodio (Na^+)	28
VI.4.4 Magnesio (Mg^{++})	29
VII. Análisis de correlación de los componentes iónicos	37
VIII. Condiciones meteorológicas prevalcientes durante los períodos de mayor acidez	38
IX. Análisis del pH en el sitio de monitoreo y en el laboratorio	44
X. Análisis biológico del agua de lluvia	48
XI. Comportamiento histórico del pH del agua de lluvia	50
XII. Bibliografía	52
XIII. Anexos	54
XIII.1 Glosario	55
XIII.2 Hoja de reporte	56
XIII.3 Métodos analíticos	57

Continuación...

XIII.4 Datos estadísticos por sitio de monitoreo	58
XIII.5 Listado de gráficas, figuras y tablas	60
Directorio	62

I. Resumen

Durante los meses de mayo a octubre se monitoreó el agua de lluvia en la ZMCM. Los muestreos se efectuaron en 12 sitios, a través de la técnica por *depósito total*. Se obtuvieron 221 muestras confiables para su análisis biológico, químico y estadístico. El período de recolección de muestras fué de seis días, sin embargo debido a situaciones extraordinarias se registraron fluctuaciones de 3 a 8 días. A pesar de ello, el período de recolección de 6 días fue el predominante.

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Bacteriología y Fisicoquímica (LBFQ), en donde se filtraron 300 ml de cada muestra para su análisis biológico. El análisis químico incluyó la determinación de: pH, conductividad, sulfatos (SO_4^-), nitratos (NO_3^-), cloruros (Cl^-), sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{++}) y calcio (Ca^{++}).

A los datos se les aplicó un análisis estadístico descriptivo, posteriormente se efectuó la fragmentación en clases de cada variable, se obtuvo la distribución porcentual de cada componente iónico. Se elaboraron mapas de distribución espacial para ilustrar los niveles de concentración en la ZMCM. Se realizó un estudio simultáneo de todos los constituyentes químicos a través de un análisis de correlación. Así mismo las variables pH y conductividad fueron sujetas a un análisis comparativo con las mediciones obtenidas en campo y en laboratorio. El análisis biológico fue estudiado cualitativamente. Y con el fin de relacionar los niveles de mayor acidez con las condiciones meteorológicas prevaletientes, se generaron campos de vientos a diferentes horas del día.

Durante 1996 se captó el volumen más grande (2020 ml) de agua de lluvia en los sitios Pedregal y Lomas (zona suroeste). Obteniéndose un valor promedio de 767 ml de agua de lluvia.

El pH del agua de lluvia registró una concentración máxima de 8.59 (sitio Xalostoc; zona noreste) y mínima de 3.62 (sitio Xochimilco; zona sureste). El segundo y tercer valor de concentración mínima se registró en la zona suroeste. En éste año el 23.53% de las muestras registraron valores de pH que caracterizan la presencia de lluvias ácidas, el 14.93% presentó pH considerado como el normal en el agua de lluvia y en el 61.54% se detectó pH de ligeramente ácido a alcalino. En el análisis espacial se observaron los niveles de mayor acidez en la zona suroeste. Históricamente el pH más ácido se ha registrado en la zona suroeste, en un 80% y su tendencia es estable, mientras que en la zona noreste predominan valores de pH alcalinos.

La conductividad registró disminución en sus concentraciones debido al dispositivo de protección del embudo en todos los sitios, logrando minimizar los problemas de contaminación por excremento de aves, que se había observado en años anteriores, principalmente en el sitio Chapingo (zona noreste). Los niveles altos de conductividad $>60 - 100 \mu\text{S}/\text{cm}$ correspondieron a los sitios Xalostoc (zona noreste) y Xochimilco (zona sureste).

Respecto a los constituyentes iónicos restantes, los porcentajes más altos obtenidos en las concentraciones correspondientes, fueron:

Ion	Porcentaje %	Concentración mg/l
Sulfato (SO_4^-)	75.4	>5.0 - 10.0
Nitrato (NO_3^-)	46.8	>4.0 - 9.0
Sodio (Na^+)	69.7	>0.08 - 1.0
Potasio (K^+)	85.9	>0.08 - 1.0
Calcio (Ca^{++})	30.8	>1.0 - 2.0
Magnesio (Mg^{++})	78.0	>0.08 - 1.0

Los cloruros no fueron analizados estadísticamente, por su invalidación al no reunir los criterios necesarios para su tratamiento.

En relación a los resultados de la distribución espacial, los sulfatos no fueron analizados debido a la información insuficiente en algunos sitios. Los NO_3^- incrementaron sus concentraciones en relación a 1994 y 1995, las más altas concentraciones de 5.6 hasta 6.65 mg/l se obtuvieron en las zonas noroeste y sureste, influenciando a los valores de pH en estas zonas.

La forma y los niveles de concentración en que se distribuyeron los cationes en la ZMCM fue comparable a 1994 y 1995, sin embargo el ion potasio registró una disminución considerable en sus concentraciones, dicho comportamiento es posible relacionarlo al dispositivo de protección implementado en el embudo.

En el análisis de correlación aplicado a todas las variables estudiadas, la conductividad y el calcio mostraron mayor relación entre los iones. Indicando que el calcio puede influir notablemente en el balance iónico del agua de lluvia.

Las condiciones meteorológicas que prevalecieron en el período en el que se registraron los pH más ácidos permitieron determinar a la dirección y velocidad del viento como el factor que influye de manera importante en las concentraciones de iones.

Se obtuvo una buena correlación (0.78) entre el pH de campo y el de laboratorio debido a que ambas mediciones se realizaron en el mismo día.

En éste año, los indicadores biológicos presentaron porcentajes inferiores a 1995. Predominando la presencia de diatomeas en las muestras recolectadas en todos los sitios.