

Concentración de contaminantes SO_2 , NO_2 y correlación con H^+ , SO_4^{2-} y NO_3^- durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México

MARIO GARCÍA G.* , HERMES RAMÍREZ S.* , HÉCTOR ULLOA G.* ,
OMAR GARCÍA G.* , ÁNGEL MEULENERT P.* y JAIME ALCALÁ G.*

Concentration of pollutants SO_2 , NO_2 and correlation with H^+ , SO_4^{2-} and NO_3^- during wet season in the Metropolitan Zone of Guadalajara, Jalisco, Mexico

In the last 30 years, the Metropolitan Zone of Guadalajara (ZMG) has experienced a quick urban and industrial growth, situation which results in high rates of pollution and poor air quality harmful to the health of the population. The main purpose of this work was to analyze the SO_2 and NO_2 in the air, as well as ions H^+ , SO_4^{2-} and NO_3^- during the wet season of 2005. Results of the network of monitoring stations showed significant acidity in north-northwest and southeast of the study area. The maximum concentrations of SO_4^{2-} occurred in southeast and south, while the maximum NO_3^- was found in the south. Maximum levels of SO_2 and NO_2 occurred in the dry season, but it decreased in wet season. The higher frequency about acidity produced by NO_2 is caused by mobile sources as the primary indicator.

Key words: Atmospheric contaminants, rain acidity, public health.

Resumen

En los últimos 30 años, la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) ha experimentado un acelerado crecimiento urbano-industrial, realidad traducida en contaminantes nocivos para la salud de la población. El objetivo de este trabajo fue analizar la concentración de dióxido de azufre (SO_2) y de nitrógeno (NO_2) en el aire, así como, los iones hidrógeno (H^+), sulfatos (SO_4^{2-}) y nitratos (NO_3^-) durante la temporada de lluvias del año 2005. Mediante una red de estaciones de monitoreo, se obtuvieron resultados que revelaron acidez significativa al norte-noroeste y sureste. Las concentraciones máximas de SO_4^{2-} ocurrieron al sureste y sur, mientras que, las de NO_3^- se localizaron al sur. Los niveles máximos de SO_2 y NO_2 sucedieron en el período seco, disminuyendo en el húmedo. Se observó mayor frecuencia de acidez por NO_2 , siendo el indicador principal las fuentes móviles.

Palabras clave: Contaminantes atmosféricos, acidez de lluvia, salud pública.

Introducción

La contaminación atmosférica (CA) es un problema de deterioro ambiental que el ser humano padece actualmente y se enfrenta ante la disyuntiva de cómo detenerlo. La explotación excesiva de los recursos naturales, los cambios de uso de suelo, las concentraciones urbano-industriales y la gran cantidad de contaminantes

emitidos a la atmósfera, dañan el medio ambiente en un proceso que parece ser irreversible. Estos efectos no sólo perjudican a los seres vivos, sino también, generan fenómenos que afectan al ecosistema; tal es el caso de las *lluvias ácidas*. Este tipo de lluvias contienen contaminantes que pueden trasladarse cientos o miles de kilómetros por los vientos (transporte de largo alcance de contaminantes aéreos) y causar daños en ciudades

* Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. División de Ciencias Básicas. Departamento de Física. Instituto de Astronomía y Meteorología. Guadalajara, Jalisco, México.

alejadas de la fuente de emisión¹⁻³. Estudios en Europa y Norteamérica reportan que el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) son los contaminantes precursores de las lluvias ácidas debido a la interacción con la radiación solar y la humedad atmosférica, creando especies de SO₄²⁻ y NO₃⁻ (ácido sulfúrico: H₂SO₄ y nítrico: HNO₃ diluidos). Su frecuencia en las ciudades afecta a la salud humana, al ecosistema y a los materiales^{4,5}.

En México, la CA ha deteriorado la calidad del aire en diversas ciudades, entre ellas, la Zona Metropolitana del Valle de México, la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y la Zona Metropolitana de Monterrey. Es oportuno señalar que también existe un problema de percepción en la sociedad que no siempre advierten la gravedad del problema al no existir una clara conciencia sobre las emisiones de contaminantes, sus concentraciones y los daños a la salud, a la infraestructura urbana y a los ecosistemas. Los factores meteorológicos y geográficos constituyen elementos que agravan la CA^{6,7}.

Los efectos en la salud por la exposición al SO₂ son afecciones respiratorias (como asma) y debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes y muerte. Los niños y ancianos son los más afectados^{3,8}. Los óxidos de azufre (SO_x) al hidratarse con la humedad de las mucosas conjuntiva y respiratoria forman ácidos agresivos que generan irritación e inflamación aguda y crónica. Suelen absorberse en las partículas suspendidas generando mayor riesgo por su acción sinérgica. La magnitud de respuesta de un individuo asmático es típicamente la broncoconstricción. Aunque ésta es inducida por cualquier concentración de SO₂, la realización de una actividad a exposición $\geq 0,4-0,5$ ppm implica un riesgo importante para su salud. Los SO_x penetran vía pulmonar convirtiéndose en un agente irritante del tracto respiratorio inferior cuando se absorben en las partículas que se inhalan o al disolverse en las gotas de agua que penetran por la misma vía. Los aerosoles de SO₄²⁻ son agentes irritantes tres a cuatro veces más potentes que el SO₂. Estas partículas penetran y se depositan en los pulmones, y si el SO₂ no está como SO₄²⁻, el ambiente húmedo de los pulmones los oxida. Se ha demostrado que los SO₄²⁻ a concentraciones de 8-10 µg/m³ afectan a individuos asmáticos, adultos mayores y personas susceptibles con problemas respiratorios crónicos⁹.

Por su parte, el óxido nítrico (NO) es un gas altamente reactivo que al igual que el dióxido de nitrógeno (NO₂), es esencial en la formación

de ozono (O₃) troposférico. El NO₂ irrita los pulmones, causa bronquitis y neumonía, además de reducir la resistencia a las infecciones respiratorias⁸. Hasselbland y cols¹⁰, comunicaron un aumento de enfermedades respiratorias asociado con exposición a concentraciones altas de NO₂. Una diferencia de 28,5 µg/m³ resultó en un aumento del 20% de probabilidad de presentar una enfermedad respiratoria. Saldiva y cols¹¹, comunicaron que a concentraciones de 0,127 ppm el riesgo de mortalidad por causa respiratoria es del 30%. Un estudio de Lommis y cols¹² en México, reportaron que la mortalidad infantil tiene asociación significativa con varios contaminantes, incluyendo los NO_x. Los trabajos de Gouveia & Fletcher¹³, Ilabaca y cols¹⁴ y Tellez y cols¹⁵ reportaron asociación entre niveles de NO₂ y visitas de emergencia por causas respiratorias.

Respecto a los efectos de la lluvia ácida en lagos y ríos, ocurre gran acidez que disminuye la población de peces; además, cuando el ser humano consume peces de aguas acidificadas padecerá daños en su salud³.

Caso de estudio: Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

En la zona tropical del planeta poco se ha estudiado la relación de los contaminantes SO₂ y NO₂ en el aire con los iones H⁺, SO₄²⁻ y NO₃⁻ en las lluvias. La ZMG se localiza geográficamente en esta zona, a una altitud promedio de unos 1.540 msnm. A nivel nacional, es la segunda metrópoli en población, extensión urbana e importancia socioeconómica (Figura 1). En los últimos 30 años, ha experimentado un acelerado crecimiento urbano e industrial con elevadas emisiones de CA, generando índices de calidad del aire y acidez de la lluvia nocivos para la salud humana; esta situación ha propiciado la implementación de fases de contingencias ambientales. Su población es de 4.434.252 habitantes y su parque vehicular de más de 2 millones¹⁶. Las fuentes principales de contaminantes son el transporte (92,5%), fuentes de área (4,5%), fuentes fijas (2,5%) y fuentes naturales (0,5%)¹⁷. Su orografía compleja la definen cadenas montañosas que limitan un valle semi-cerrado, formando un obstáculo con condiciones atmosféricas estables (baja circulación del viento y lenta dispersión de contaminantes)¹⁸.

El objetivo de este trabajo es analizar la concentración de los contaminantes SO₂ y NO₂ en aire y su relación con los SO₄²⁻, NO₃⁻ y pH en la temporada de lluvias del año 2005. Es oportuno señalar que, aunque el objetivo de este trabajo

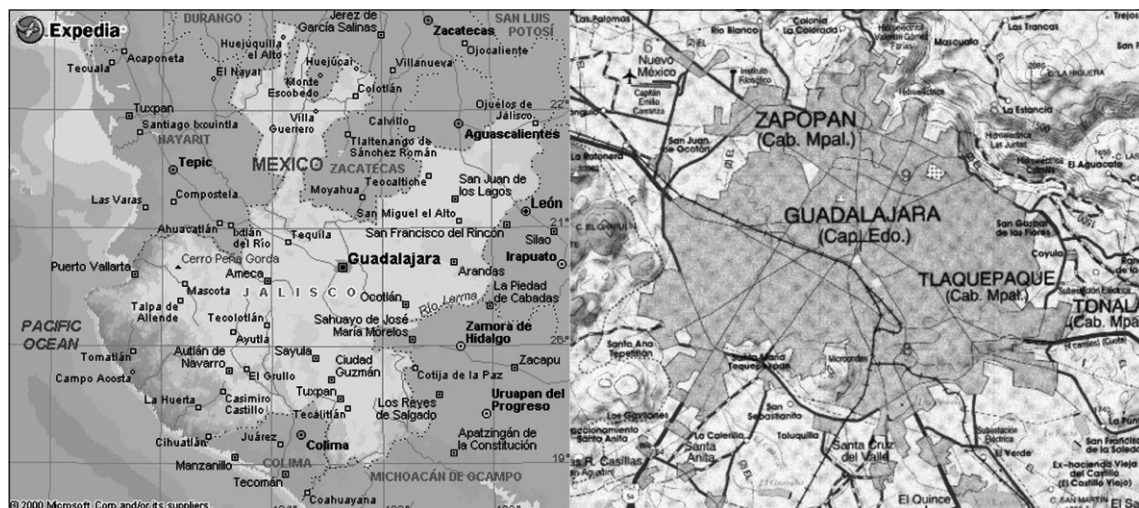


Figura 1. Ubicación geográfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.

está enmarcado en la temporada de lluvias del año 2005, es necesario considerar el comportamiento de los contaminantes precursores de la acidez de las lluvias durante los períodos previos y posteriores al fenómeno con la finalidad de obtener un análisis integral.

Condiciones meteorológicas dominantes en la ZMG

En los trópicos, el año se divide en dos períodos: lluvioso (verano) y poco lluvioso o seco (invierno). En el primero, como promedio ocurre el 90 % del acumulado pluvial anual enmarcando los meses de junio a septiembre; el resto del año cae dentro del período poco lluvioso o seco. Por su ubicación al centro occidente de México, la ZMG está sujeta a la influencia de masas de aire frío y seco de origen continental y polar marítimas en el invierno asociadas a anticiclones. Estos sistemas causan gran estabilidad atmosférica impidiendo movimientos ascendentes del aire y la formación de nubes. Además, por su latitud (20° norte) recibe abundante radiación solar, siendo su atmósfera altamente fotoreactiva. Estas condiciones de estabilidad son óptimas para la presencia de inversiones térmicas en esta época del año, que sumadas a la orografía de la zona, propician elevada contaminación del aire y nociva para la población. Por su parte, en el período lluvioso (verano) la ZMG es afectada por la entrada de aire cálido y húmedo del océano Pacífico, golfo de México y mar Caribe, causando altas temperaturas, favoreciendo el movimiento vertical ascendente del aire y disminuyendo la

frecuencia de inversiones térmicas. La influencia del golfo de México y mar Caribe se manifiesta en un aumento de humedad, debido al avance de ondas tropicales que ocasionan importantes cantidades de lluvia y vientos de componente oriental. En el caso del océano Pacífico, predominan los vientos del sur cargados de humedad ocasionando también cielos nublados y precipitaciones. Asimismo, el desarrollo de sistemas tropicales en el océano Pacífico oriental (perturbaciones, depresiones, tormentas tropicales, y huracanes), llegan a provocar la entrada de bandas nubosas y altas cantidades de precipitación; sumado a ello, hay una intensificación de los vientos, los cuales llegan a la ZMG ligeramente degradados¹⁸.

Método

Para evaluar los contaminantes SO₂ y NO₂ en el aire se utilizó la información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (RAMA-SEMADES) del estado de Jalisco. Esta red opera ocho estaciones distribuidas en la ZMG (Figura 2). La información fue analizada considerando su variabilidad antes, durante y después de la temporada de lluvias del año 2005. Asimismo, el monitoreo de las lluvias se realizó mediante una red pluviométrica (RP) con 17 estaciones (Figura 2). En este caso, el muestreo se efectuó durante la temporada de lluvias (junio a septiembre) con pluviómetros estandarizados por la World Meteorological Organization (WMO)¹⁹. Se aplicó el método potenciométrico para medir el pH y las técnicas de la norma ISO 10304-1-

1992 (Water quality-Determination of nitrate and sulfate ions, using liquid chromatography) para evaluar SO_4^{2-} y NO_3^- (WMO)¹⁹. De acuerdo al número de eventos lluviosos registrados en la RP (no siempre todos los pluviómetros registraron lluvia el mismo día) se analizaron 636 muestras de agua de lluvia.

Se creó un ambiente de trabajo con el programa *Surfer® 6.01*, anexando la ubicación de las estaciones y las concentraciones de contaminantes en el aire y en la lluvia. Mediante el método Kriging se realizaron interpolaciones gráficas del pH, SO_4^{2-} y NO_3^- en el periodo húmedo y se analizaron los contaminantes NO_2 y SO_2 en el aire, antes (febrero-mayo), durante (junio-septiembre) y después del período lluvioso (octubre-enero). Se obtuvo el comportamiento espacio-temporal, tendencia de los índices evaluados y correlación lineal por estación de monitoreo.

Resultados del análisis de lluvias en el año 2005

Una lluvia ácida se define cuando su pH es menor de 5,6 (Seinfeld⁵). El período de lluvias 2005 presentó una tendencia ácida al norte-noroeste y sureste de la ZMG con variación de 5,33 a 5,90 unidades de pH (Figura 3). La concentración promedio de SO_4^{2-} en la atmósfera limpia es 0,002 mg/L y 0,0002 ppm para SO_2 ; asimismo, para el NO_2 es 0,001 ppm⁴. Las concentraciones máximas de SO_4^{2-} (4,9199 mg/L) ocurrieron al sureste y sur, mientras que las mínimas aparecieron al norte con 2,4005 mg/L (Figura 4). En cuanto a los NO_3^- , el sur mostró los valores más elevados (5,2023 mg/L) (Figura 5); al centro y noroeste se presentaron los mínimos (3,7496 mg/L).

Resultados del análisis de aire en el 2005

Las concentraciones máximas de SO_2 en la atmósfera ocurrieron antes y después de la temporada de lluvias, presentando picos de 0,210 ppm en días aislados (Figura 6).

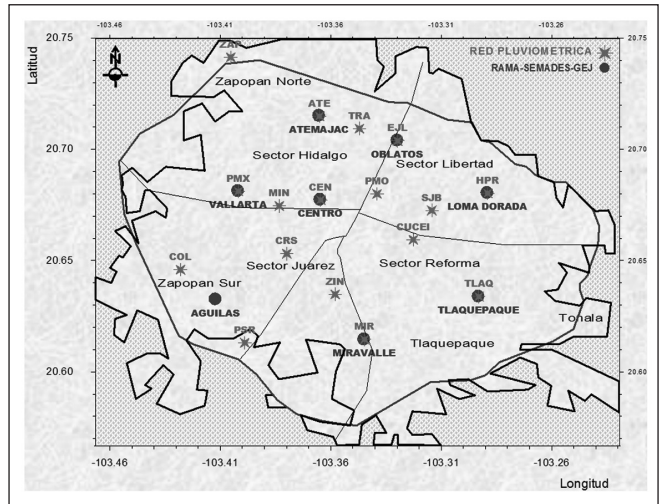


Figura 2. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo en la Zona Metropolitana de Guadalajara. (elaboración propia)

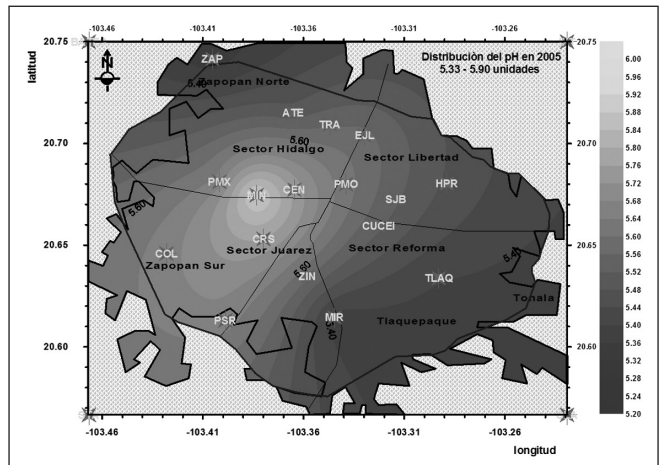


Figura 3. Distribución del pH durante la temporada de lluvias (Elaboración propia).

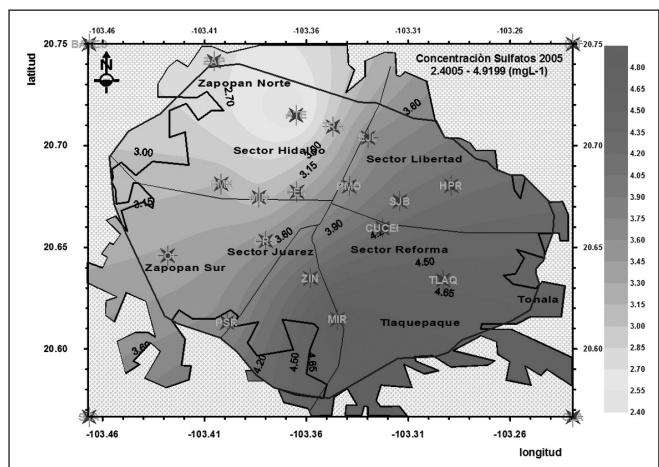


Figura 4. Distribución de SO_4^{2-} durante la temporada de lluvias (Elaboración propia).

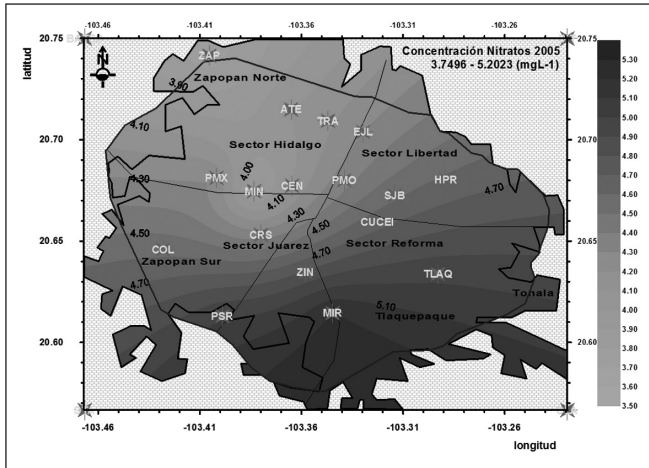


Figura 5. Distribución de NO₃⁻ durante la temporada de lluvias (Elaboración propia).

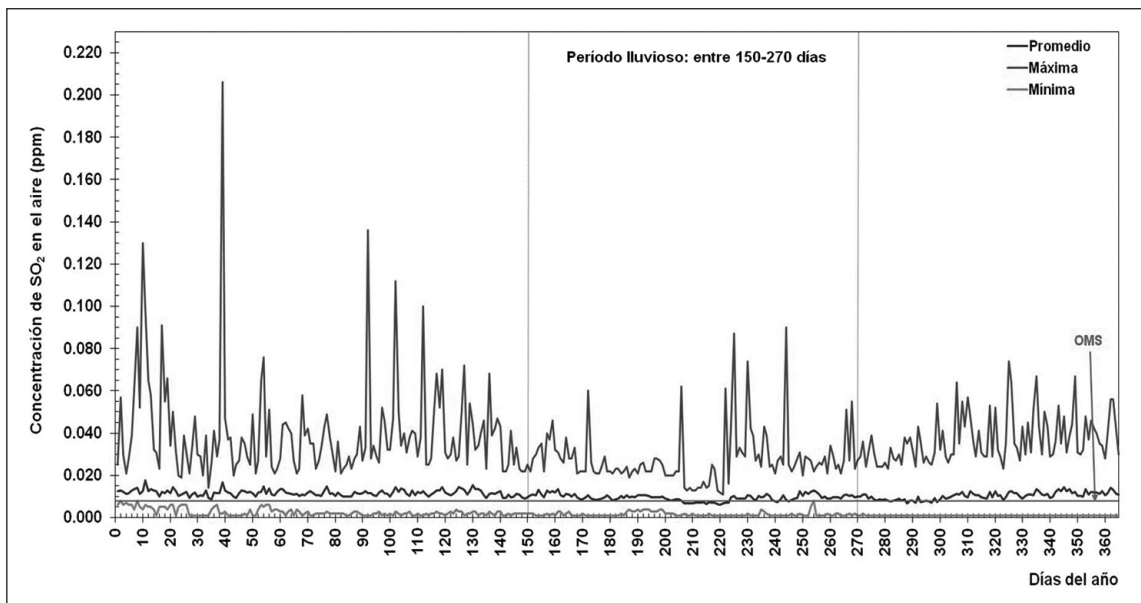


Figura 6. Concentración de SO₂ en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Lluvias entre 150-270 días (Elaboración propia).

En cuanto al NO₂ el comportamiento fue similar al del SO₂, con máximas antes y después del temporal con picos de hasta 0,310 ppm (Figura 7).

En la correlación SO₂ (aire)-SO₄⁻² (lluvia) se consideró la estación MIN por contener la mayor cantidad de datos, obteniéndose una correlación significativa de 0,89. Por su parte, en el caso NO₂ (aire)-NO₃⁻ (lluvia) se utilizó la misma estación, alcanzando una correlación de 0,92.

Discusión y conclusiones

Con los resultados obtenidos, se observa que la tendencia ácida se debe a la contaminación

atmosférica en la ZMG que modifica la composición natural de la lluvia. Las condiciones meteorológicas son variables de un temporal a otro, lo cual justifica los valores diferentes de pH entre los temporales, así como los lugares donde ocurren las máximas concentraciones de acidez. En el temporal de estudio 2005 se observó disminución en tendencia y frecuencia aunque sus valores extremos siguieron siendo significativos (pH 3,9). De igual forma, las concentraciones máximas de SO₄⁻² presentaron disminuciones importantes en relación a los años anteriores. Por su parte, las concentraciones máximas de NO₃⁻ mostraron un comportamiento similar a los iones H⁺ y SO₄⁻², con tendencia ligera a la disminución (Tabla 1).

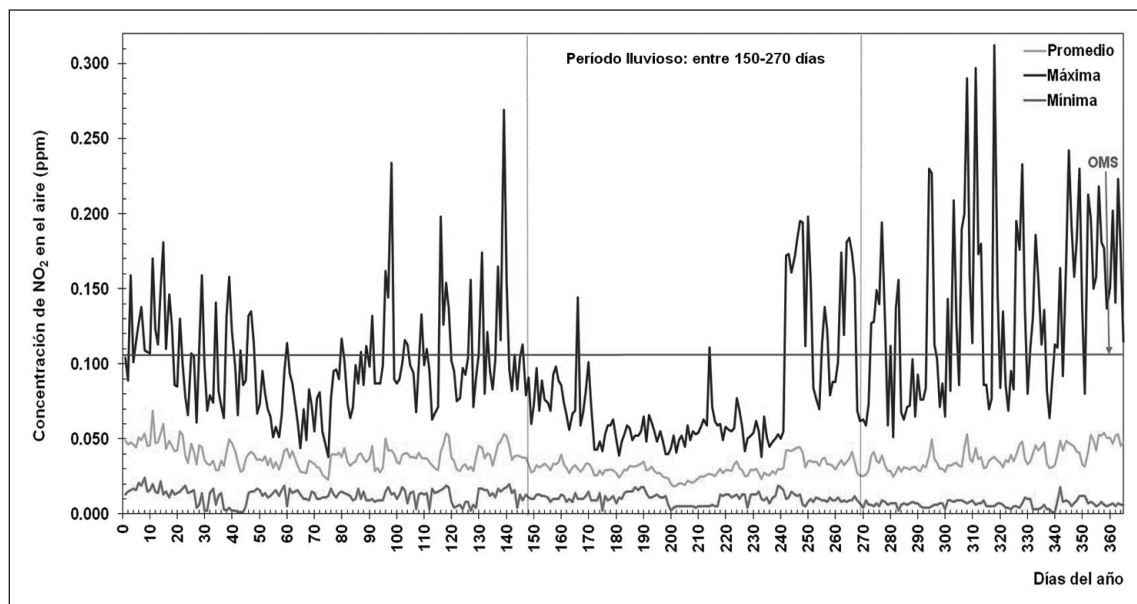


Figura 7. Concentración de NO₂ en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Lluvias entre 150-270 días (Elaboración propia).

Tabla 1. Comparativo de los estudios reportados en la Zona Metropolitana de Guadalajara

Autores	Temporal	Rango pH	pH máximos	Rango SO ₄ ⁻² (mg/L)	Rango NO ₃ ⁻ (mg/L)
García et al ²⁰ 2006	1994	5,73 - 6,38	4,5	3,30 - 6,30	-
	1995	5,58 - 6,58	4,3	3,80 - 6,60	-
	1996	5,68 - 6,28	4,8	5,15 - 7,15	-
	1997	5,58 - 6,53	4,4	4,65 - 7,45	-
	1998	5,96 - 6,38	5,1	5,20 - 7,00	-
	1999	4,88 - 5,93	4,0	3,80 - 9,30	4,14 - 5,98
	2000	5,63 - 6,58	4,1	3,45 - 5,70	4,47 - 5,42
	2001	5,73 - 6,43	4,4	3,60 - 5,80	-
Acosta ²¹ 2005	2002	4,98 - 6,13	3,5	3,60 - 5,90	4,45 - 5,27
	2003	3,95 - 5,93	3,3	4,2523 - 7,6311	4,6245 - 5,4267
García et al.	2004	5,34 - 5,82	3,5	1,6211 - 5,4704	3,2506 - 5,1376
	2005	5,33 - 5,90	3,9	2,4005 - 4,9199	3,7496 - 5,2023

mg/L: miligramos por litro.

Los máximos de acidez del temporal 2005 en la ZMG son similares a los reportados en estudios realizados en Londres⁵ y China²²; los SO₄⁻² son análogos a los de Atenas, Montreal y Londres, mientras que los NO₃⁻ se aproximan a los de Londres. Los valores en la Ciudad de México^{23,24} son del mismo orden que los de la ZMG (Tabla 2).

En cuanto a los contaminantes en el aire, antes del temporal (febrero-mayo) se reportaron concentraciones promedio de SO₂ entre 0,0005 y 0,0198 ppm, durante el temporal (junio-septiem-

bre) 0,0003-0,0204 ppm y después del temporal (octubre-enero) 0,0003-0,0220 ppm (Figura 6). La calidad de aire es satisfactoria según la NOM y EPA, no así para la OMS (Tabla 3). Tanto los valores promedio como los máximos variaron por encima de la norma de la OMS durante todo el año. En conclusión, este contaminante representa una situación grave para la salud de la sociedad de la ZMG. En relación al NO₂, el comportamiento fue similar al obtenido con el SO₂ en los tres periodos (0,0015-0,0475; 0,0010-0,0400 y

Tabla 2. Análisis comparativo de algunos estudios de caso con la ZMG

Lugar	Año	pH	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Londres	1980	3,8 - 4,88	13,1 - 21,8	3,95 - 4,60
Ciudad de México	1988	5,37	-	1,5-6,2
	1997	4,4	4,43	-
	1999	4,99-4,20	-	-
Atenas	1992	3,545	4,803	1,736
Montreal	1994	-	2,40	1,116
Guangzhou, China	2003-2004	3,22-7,29. \bar{x} = 4,83	-	-
ZM Guadalajara	2005	5,33 - 5,90	2,4005 - 4,9199	3,7496 - 5,2023

Tabla 3. Estándares de calidad del aire para indicadores de contaminación (valores promedio)

Indicador de contaminación	Organización Mundial de la Salud (OMS)*		Agencia de Protección Ambiental (EPA)*		Normas Oficiales Mexicanas (NOM) – DOF ²⁶ (1994)	
	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³
Ozono (O ₃)	-	-	0,12 (1 h)	235	0,11 (1 h)	215
	0,05 (8 h)	100	0,075 (8 h)	150	0,08 (8 h)	157
Monóxido de carbono (CO)	9 (8 h)	10290	9 (8 h)	10290	11 (8 h)-(1/año)	12595
	26 (1 h)	29725	35 (1 h)	40000		
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,106 (1 h)	200	0,25 (1 h)	470	0,21 (1 h)-(1/año)	395
	0,023 (anual)	40	0,053 (anual)	100	-	-
Dióxido de azufre (SO ₂)	0,007 (24 h)	20	0,14 (24 h)	365	0,13 (24 h)-(1/año)	341
	0,191 (10 min)	500	0,03 (anual)	80	0,03 (anual)	80
Material particulado respirable (PM ₁₀)	-	50 (24 h)	-	150 (24 h)	-	120 (24 h)
		20 (anual)		50 (anual)		50 (anual)
Material particulado fino (PM _{2,5})	-	25 (24 h)	-	35 (24 h)	-	65 (24 h)
		10 (anual)		15 (anual)		15 (anual)

*Mihelcic & Zimmerman⁸ (2012); ppm: partes por millón, µg/m³: microgramos/metro cúbico.

0,0015-0,0525 ppm). Las concentraciones máximas superaron la norma de la OMS en gran parte del año (Figura 7), situación preocupante para la salud de la población sobre todo en el período posterior a las lluvias (meses más fríos de octubre a enero); esto coincide con los estudios de Ramírez y cols²⁵.

La presente investigación confirma los resultados de Seinfeld⁵ en relación a que la permanencia del NO₂ es más frecuente en áreas extensas, mientras que la del SO₂ lo es en sitios cercanos a las fuentes de emisión.

En proporción a las emisiones contaminantes en la ZMG y los resultados del presente estudio, el NO₂ es el componente principal de la acidez de la lluvia, mientras que, el SO₂ influye en menor magnitud. Los estudios de Wayne²⁶ reportaron que la cinética de oxidación en la atmósfera de SO₂ a H₂SO₄ varía de 1 a 10%/h, mientras que de NO_x a HNO₃ oscila entre 1 y 50%/h. Con fundamento en ello y en el porcentaje de emisiones

totales a la atmósfera (92,5% por el transporte) se concluye que el NO₃⁻ es el ion más significativo. Este trabajo identifica a la ZMG con problemas de contaminación atmosférica de magnitud similar a otras megaciudades, independientemente de que las características físico-geográficas, económicas y de nivel de desarrollo sean diferentes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las personas que apoyaron en el monitoreo, recolección y traslado de muestras al laboratorio para su análisis.

Bibliografía

- 1.- MOSQUEIRA S. Introducción a la Química y el ambiente. Ed. Patria. México, 2009.
- 2.- DAVIS M, MASTEN S. Ingeniería y ciencias ambientales. McGraw-Hill. México, 2005.

- 3.- HENRY J, HEINKE G. Ingeniería ambiental. Prentice Hall. México, 1999.
- 4.- DICKSON T. Química: Un enfoque ecológico. Limusa Wiley. México, 2009.
- 5.- SEINFELD J. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA, 1998.
- 6.- LEZAMA J L, GRAIZBORD B. Los grandes problemas de México. IV Medio ambiente. El Colegio de México. México, 2012.
- 7.- GRAIZBORD B, MERCADO A, FEW R. Cambio climático, amenazas naturales y salud en México. El Colegio de México. México, 2011.
- 8.- MIHELICIC J, ZIMMERMAN J. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño. Alfaomega. México, 2012.
- 9.- RAMÍREZ H, ANDRADE M, DE LA TORRE O, GARCÍA M, MEULENERT A, GARCÍA O, et al. Evaluación de eventos climáticos extremos y su impacto en la salud en América Latina. Universidad de Guadalajara. México, 2008.
- 10.- HASSELBLAD V, EDDY D M, KOTCHMAR D J. Synthesis of environmental evidence: nitrogen dioxide epidemiological studies. *Journal Air Waste Manage Assoc* 1992; 5: 662-71.
- 11.- SALDIVA H, LICHTENFELS J, PAIVA S, BARONE A, MARTINS A, MASSAD E, et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Pãulo, Brazil: a preliminary report. *Environ Res.* 1994; 65: 218-25.
- 12.- LOOMIS D, CASTILLEJOS M, GOLD R, MCDONNELL W, BORJA-ABURTO H. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 1999; 10: 118-23.
- 13.- GOUVEIA N, FLETCHER T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup Environ Med.* 2000; 57: 477-83.
- 14.- ILABACA M, OLAETA I, CAMPOS E, VILLAIRE J, TÉLLEZ ROJO M, ROMIEU I. Association between levels of fine particulate and emergency visits pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *Journal Air & Waste Manage Assoc* 1999; 49: 154-63.
- 15.- TÉLLEZ ROJO M, ROMIEU I, PEÑA M, RUIZ S, MENESES F, HERNÁNDEZ M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la ciudad de México. *Salud Pública de México* 1997; 39: 513-22.
- 16.- INEGI. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. Censo de población y vivienda 2010. Gobierno Federal. México, 2010.
- 17.- PROAIRE 2011-2020. <http://www.semades.jalisco.gob.mx>.
- 18.- SEMARNAP-SS-GEJ. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca - Secretaría de Salud - Gobierno del Estado de Jalisco. Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMG, 1997-2001. México, 1997.
- 19.- WMO (World Meteorological Organization). Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Science Advisory Group. USA, 2004.
- 20.- GARCÍA M, RAMÍREZ H, MEULENERT A, GARCÍA O, ALCALÁ J, ARELLANO J, et al. Influencia de los contaminantes SO₂ y NO₂ en la formación de lluvia ácida en la Zona Metropolitana de Guadalajara Jalisco México. *e-Gnosis* 2006; 4-7: 1-16.
- 21.- ACOSTA D. Evaluación del pH de lluvia en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Tesis Ingeniero Químico. Universidad de Guadalajara. México, 2005.
- 22.- YANG LE-SU, ZHOU GUANG-YI, YU BIN, WANG ZHI-XIANG. Acid rain composition and its correlation analysis at Guangzhou. Research institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, China. *Ecologic Science*, 2005-03-016. China, 2005.
- 23.- PPAZMCM (Programa precipitaciones ácidas zona metropolitana ciudad de México). Dirección General de Ecología. Distrito Federal. Informe anual, 1999.
- 24.- PEÑARANDA L. Precipitaciones Ácidas: metodología para su caracterización y estudio en la Ciudad de México. Instituto Politécnico Nacional. México, 1988.
- 25.- RAMÍREZ H, ANDRADE M, BEJARÁN R, GARCÍA M, WALLO A, POMPA A, et al. The spatial-temporal distribution of the atmospheric polluting agents during the period 2000-2005 in the urban area of Guadalajara, Jalisco, México. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 165: 1128-41.
- 26.- DOF. Diario Oficial de la Federación. Normas Oficiales Mexicanas (NOM): SO₂ (NOM-022-SSA1-1993) y NO₂ (NOM-023-SSA1-1993). México, 1994.
- 27.- WAYNE R. Chemistry of atmospheres. Oxford University Press, 1991.

Correspondencia a:
Mario García G.
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
Universidad de Guadalajara.
Avenida Vallarta 2602. Colonia Arcos Vallarta. C.P.
44130
Guadalajara, Jalisco, México.
E-mail: megarcia@astro.iam.udg.mx