

Evaluación de ozono ambiental en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo

Cristian Alain Briones Vázquez^a, María Guadalupe Moreno Bautista^a, Vivian Itzel Moreno Ramírez^a, Rosa Icela Beltrán Hernández^a, Carlos Alexander Lucho Constantino^{a,*}

^a Área Académica de Química, Licenciatura en Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5, Colonia Carboneras. Mineral de la Reforma, Hidalgo. México CP. 42184.

Resumen

El ozono (O₃) se encuentra presente en distintas capas de la atmósfera: en la estratosfera, actúa como filtro de las radiaciones ultravioleta emitidas por el sol, mientras que en la troposfera es un contaminante dañino para los organismos vivos y también es un gas precursor de efecto invernadero. El objetivo de este estudio fue evaluar las variaciones horarias en la concentración de O₃ en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo, para ello empleamos detectores colorimétricos preparados con una solución de almidón/KI. Los resultados obtenidos por la exposición de los detectores al O₃ en la zona de estudio mostraron que la máxima concentración de este gas se presentó a las 12h00, con una temperatura promedio de 18.5°C y una humedad relativa entre 16 y 20%.

Palabras Clave: detector de ozono, calidad del aire, contaminante secundario, salud.

1. Introducción

En la actualidad, el creciente desarrollo industrial y el incremento del flujo vehicular han contribuido al deterioro de la calidad del aire de ciudades y áreas rurales, lo cual a su vez ha provocado diversos problemas de salud en la población. La contaminación atmosférica se presenta por un desequilibrio en las concentraciones de los componentes del aire y se favorece por la presencia cada vez mayor de los contaminantes (NOM-020-SSA1-2014).

Los contaminantes atmosféricos se clasifican por su origen en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son los que se encuentran en la atmósfera tal y como fueron generados, ya sea por procesos naturales o por actividades antropogénicas. Algunos ejemplos de estos el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman en la atmósfera por reacciones químicas o fotoquímicas entre los contaminantes primarios o entre estos y los componentes de la atmósfera, el ozono (O₃) y los sulfatos son ejemplos de ellos.

Los contaminantes que se monitorean rutinariamente en el aire son el CO, el SO₂, el NO₂, el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST), las partículas menores de 10 micrómetros de diámetro (PM₁₀) y el O₃ (Vallejo et al., 2003). A los contaminantes anteriores se les ha llamado contaminantes criterio, por ser los más comúnmente emitidos por las actividades humanas, y desde luego por su potencial para afectar la salud y bien de la población.

El O₃ es un contaminante secundario que se forma por una reacción fotoquímica entre emisiones primarias de óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) o hidrocarburos (HC) en presencia de la radiación solar. Por ello

es común encontrar altos niveles de ozono en el aire en un día soleado, lo cual puede desencadenar ataques de asma y problemas respiratorios en personas susceptibles (Ferrer y Escalante, 2009). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de conocer la concentración de este contaminante en el aire.

El O₃, además de afectar el sistema respiratorio, también puede comprometer el sistema inmunológico y causar problemas dérmicos en los seres humanos.

Los estudios más recientes de la calidad del aire en el estado de Hidalgo los realizó la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado en el año 2014. (INECC, 2015). El Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo cuenta con diez estaciones de monitoreo distribuidas en los municipios de Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco, Tepetitlán, Tepeji del Río, Tlaxcoapan, Tizayuca, Lolotla, Tepeapulco y Huichapan.

De acuerdo con los datos reportados por la SEMARNAT, durante el año 2014, el O₃ presentó comportamiento unimodal donde las concentraciones máximas se encontraron entre las 12h00 y 18h00 en la mayoría de las estaciones de monitoreo (INECC, 2015).

En la Tabla 1 se muestran las concentraciones de O₃ de las cuatro estaciones de monitoreo que presentaron los niveles más altos de este contaminante: en la estación de Tizayuca se encontró el límite máximo permisible por la NOM-020-SSA1-1993, mientras que en las de Pachuca y Atotonilco la concentración encontrada sobrepasó este límite. Cabe hacer mención que la norma mexicana establece una concentración máxima permisible de 110 ppb de O₃ en un periodo de una hora.

* Autor en correspondencia.

Correo electrónico: luchouaeh@gmail.com (Carlos A. Lucho Constantino)

Tabla 1: Estaciones de monitoreo con mayor concentración de O₃ en el Estado de Hidalgo.

Ciudad	Estación de monitoreo	Concentración de O ₃ (ppb)
Pachuca	Museo del Rehilete	145
	Tizayuca	110
Xochicoatlán	Atotonilco	111
	Atitalaquia	83

Debido a que la estación con la mayor concentración de O₃ fue la ubicada en Pachuca, el objetivo de nuestro estudio fue determinar las condiciones ambientales en las que se presentó la concentración máxima de O₃ en el ambiente en una zona urbana (Mineral de la Reforma, Hidalgo) cercana a la ciudad de Pachuca, donde no existen unidades de monitoreo atmosférico. La cuantificación de O₃ se realizó empleando detectores colorimétricos, en los cuales el ozono reacciona con yoduro de potasio en presencia de agua, liberando yodo molecular que produce una coloración que permite conocer la concentración de ozono atmosférico en un sitio determinado.

2. Metodología

2.1 Sitio de estudio

La evaluación de O₃ ambiental se realizó en la Colonia Carboneras del municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo (20°05'31.6"N, 98°42'35.3"O), para ello se expusieron dieciséis detectores colorimétricos al ambiente, cada uno por un periodo de una hora. La exposición inició a las 7h00 del 9 de marzo del 2016 y concluyó a las 22h00 del mismo día.

Los detectores de O₃ fueron elaborados con base en la metodología propuesta en el manual de Laboratorio de Protección Ambiental I, UNAM (2010).

2.2 Materiales, reactivos y equipo

En la tabla 1 se presentan los materiales, reactivos y equipos necesarios para realizar la determinación de O₃ atmosférico.

Tabla 1. Materiales, reactivos y equipos.

Reactivos	Cantidad	Materiales	Equipos
Agua destilada	1	Vidrio de Reloj	Parrilla con agitación
Yoduro de potasio	1	Espátula	Balanza digital
Almidón	1/4	Papel Filtro (pliego)	Estufa de secado
H ₂ SO ₄ [1M]	2	Vasos de precipitado de 250 mL	
	2	Bolsas de plástico sellables	
	1	Brocha ¼ pulgada	
	1	Agitador de varilla de vidrio	
	1	Carta psicométrica	

2.3 Preparación de los detectores de O₃

Los detectores de O₃ se elaboraron con tiras de papel filtro impregnadas de una solución de almidón y KI de acuerdo al siguiente procedimiento: se disolvieron 5 g de almidón en 10 mL de agua fría, posteriormente, se adicionaron 90 mL de agua caliente y se calentó la solución a ebullición durante 15 minutos. Luego se adicionó 0.5 g de KI a la solución de almidón, se agitó y una vez disuelto se adicionó 1 mL de H₂SO₄ 1M. Posteriormente, se cortaron 20 tiras de 1x5 cm de papel filtro, las cuales se identificaron con un número y

después se impregnaron con la solución de almidón/KI empleando una brocha. Finalmente se secaron en un horno a 80°C durante 4 minutos. Una vez secas las tiras se almacenaron en bolsas de plástico con cierre hermético hasta su uso.

2.4 Evaluación del Ozono ambiental

La medición del O₃ ambiental se realizó de la siguiente manera: uno de los detectores se expuso durante todo el tiempo de medición: desde las 7h00 hasta las 22h00. Se cuidó que el detector no recibiera directamente los rayos del sol para evitar interferencias con la reacción de formación del O₃. Otro detector se guardó en una bolsa con cierre hermético, este sirvió como control. El resto de los detectores se expuso únicamente durante una hora, al término de ese tiempo eran reemplazados por otro detector, de esta manera se monitoreó la concentración horaria de O₃ desde las 7h00 hasta las 22h00. Los datos de la temperatura del bulbo seco y húmedo así como de humedad ambiental del día de monitoreo se obtuvieron de la página web del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (<http://smn.cna.gob.mx/es/pronostico-del-tiempo-por-municipios>). Después de la exposición de los detectores se comparó el color cada uno de ellos con la escala mostrada en la figura 1A y se asignó el color de acuerdo al número de Schönbein. Una vez obtenido el número de Schönbein, junto con el valor de la humedad ambiental, se calculó la concentración de ozono en partes por billón (ppb) con ayuda de la figura 1B.

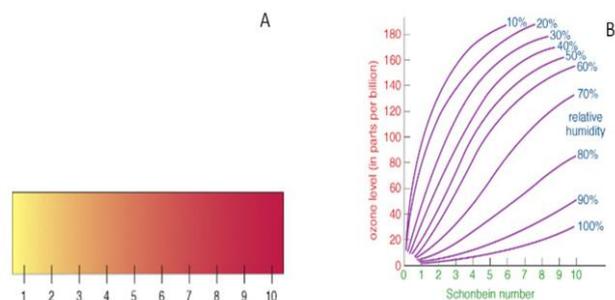


Figura 1. A) Escala de color para calcular el número de Schönbein después de 8 horas de exposición, B) Nivel de ozono ambiental de acuerdo a Walter y Wood (2010).

3. Resultados y discusiones

4.1 Determinación de la concentración de O₃ en el Municipio de Mineral de la Reforma

La coloración que presentaron los detectores después de estar expuestos en el sitio de estudio, se comparó con la tabla de colores del número de Schönbein (Figura 1A). Posteriormente se realizó el cálculo de la concentración de O₃, tomando en cuenta la humedad relativa de cada hora de exposición de acuerdo a las concentraciones mostradas en la Figura 1B. En la Tabla 2, se muestran los datos de las concentraciones de O₃ del sitio de estudio durante el tiempo de muestreo.

En la Figura 2A se puede observar que las concentraciones de O₃ en la zona de estudio mostraron una distribución unimodal a lo largo del día, donde la máxima concentración de O₃, de 120 ppb, medida fue entre las 12h00 y 13h00, a una

temperatura promedio de 18.5°C y una humedad relativa entre 16 y 20%. De acuerdo a los criterios establecidos por la normatividad mexicana en la NADF-009-AIRE-2006 (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006), durante las 12h00 y 14h00, la calidad del aire en la zona de estudio fue mala y el resto del tiempo fue regular (Figura 2B).

Tabla 2: Concentración de O₃ horaria del día 9 de marzo de 2017 en la Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

No. muestra	Hora	Tb _s °C	% Y	NSch**	[O ₃] (ppb)*
1	7:00	10°C	62%	1.0	19
2	8:00	13°C	51%	1.0	22
3	9:00	13°C	40%	1.0	40
4	10:00	14°C	33%	1.0	58
5	11:00	16°C	26%	1.5	85
6	12:00	18°C	20%	2.5	120
7	13:00	19°C	16%	2.0	120
8	14:00	19°C	27%	2.5	115
9	15:00	19°C	30%	2.5	100
10	16:00	18°C	37%	3.0	80
11	17:00	17°C	43%	2.5	76
12	18:00	16°C	52%	2.0	42
13	19:00	13°C	65%	1.5	19
14	20:00	12°C	75%	1.0	10
15	21:00	11°C	74%	1.0	5
16	22:00	11°C	66%	1.0	11

Tb_s: Temperatura de búlbo seco, % Y: Humedad relativa, NSch**: Número de Schönbein.

De acuerdo al reporte del SMN, el índice de radiación (h_v) fue de 11 entre las 12h00 y 13h00 horas del día del muestreo. Esta radiación reaccionó con el NO₂ atmosférico, de acuerdo a la ecuación (1), produciendo O y NO, los cuales pueden a su vez reaccionar de forma natural según las ecuaciones (2) y (3). Lo anterior explica la presencia los altos niveles de O₃ en la atmósfera durante ese periodo. Las máximas concentraciones de ozono obtenidas en este trabajo se encuentran dentro del mismo periodo de tiempo de acuerdo a lo reportado en el informe del INECC de la calidad de aire en el 2014. Así mismo, la máxima concentración obtenida en este trabajo (120 ppm) se encuentra dentro de los valores máximos reportados en la zona de Pachuca, Hidalgo, los cuales fueron de 110 y 145 ppb (Tabla 1).



En la Tabla 3 se puede observar que las concentraciones de O₃, determinadas el día 9 de marzo de 2017 en la Colonia Carboneras del municipio de Mineral de la Reforma, pueden provocar efectos a la salud de las personas como: irritación de nariz y garganta en concentraciones de 50 a 100 ppb y disminución de la agudeza visual, dolores de cabeza, tos, fatiga, sensación de opresión en el pecho y dolor subesternal (en cavidad torácica) en concentraciones de 150 ppb. Lo anterior justifica la necesidad de contar con una red de monitoreo más completa, que cubra todas las ciudades del estado, y que se informe oportunamente a la población acerca de las medidas precautorias que deben tomar para proteger su salud.

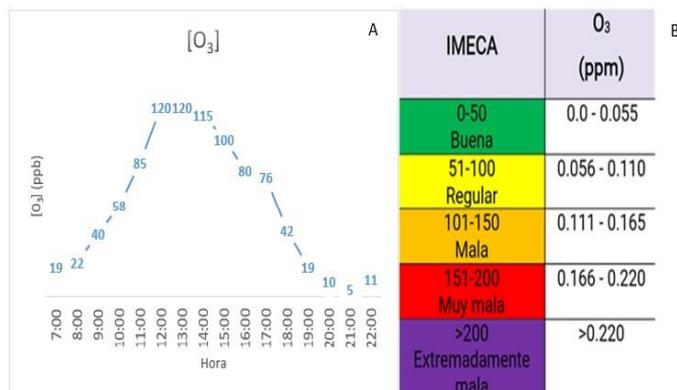


Figura 2: A) Concentración de O₃ en el sitio de estudio, B) parámetros de calidad del aire respecto a la NADF-009-AIRE-2006 del 29 de noviembre de 2006.

Tabla 3: Efectos en la salud con concentración de ozono.

O ₃	Efectos a la salud
10 a 15 ppb	Umbral de detección olfativo
50 a 100 ppb	Irritación de la nariz y garganta
150 a 1000 ppb	Disminución de la agudeza visual, dolores de cabeza, tos, fatiga, sensación de opresión en el pecho, dolor subesternal
1.5 a 2.5 ppm	Trastornos neurológicos y de coordinación, dificultad de expresión, alteraciones hematológicas
4 a 5 ppm	Edema pulmonar hemorrágico
10 ppm	Coma
>15 ppm	Mortal

4. Conclusión

Los datos de las concentraciones de ozono mostraron un comportamiento unimodal, con concentraciones máximas que superan los límites permisibles de este contaminante de acuerdo con la normatividad vigente. Los detectores colorimétricos preparados con una solución de almidón/KI permitieron evaluar de manera sencilla y económica el comportamiento de la concentración de ozono en el sitio de estudio. Esta técnica, a cambio de una menor precisión, proporciona resultados aproximados de la concentración de ozono en el aire, sin necesidad de equipos e instrumentos sofisticados para su aplicación.

English Summary

Abstract

Ozone (O₃) is present in different layers of the atmosphere: in the stratosphere, it acts as a filter for ultraviolet radiation emitted by the sun; while in the troposphere, it is a harmful pollutant for living organisms, and it is also a precursor gas of greenhouse effect. The objective of this study was to evaluate the hourly variations in the concentration of O₃ in the municipality of Mineral de la Reforma, Hidalgo, for this we use colorimetric detectors prepared with a starch / KI solution.

The results obtained by the exposure of the detectors to the O₃ in the study area showed that the maximum concentration of this gas occurred at 12h00, with an average temperature of 18.5°C and a relative humidity between 16 and 20%.

Keywords:

Ozone detector, air quality, secondary pollutant, health.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, especialmente al personal que labora en el Laboratorio de Usos Múltiples, por brindarnos el apoyo, material y equipo necesarios para la elaboración de los sensores colorimétricos.

Referencias

- Ferrer C.J.A., Escalante S.R.I. (2009) Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Economía informa* (360), 22-39.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal (2006) Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006, que establece los requisitos para elaborar el índice metropolitano de la calidad del aire.
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2015) Informe Nacional de Calidad del Aire 2014. Ciudad de México.
- NOM, Norma Oficial Mexicana-020-SSA1-2014. Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación prefacio.
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional, recuperado de: <http://smn.cna.gob.mx/es/pronostico-del-tiempo-por-municipios>, 9 de marzo de 2017.
- Vallejo, M., Jáuregui-Renaud, K., Hermsillo, A.G., Márquez, M.F., Cárdenas, M. (2003) Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la Ciudad de México. *Gaceta Médica Mexicana*, 139, 57-63.