

Calidad del aire en la Ciudad de Morelia

Correa-García, A.*

Recibido: 16 de junio de 2009.

Aceptado: 14 de octubre de 2009.

Resumen

En este estudio, se analizó la contaminación del aire por ozono (O_3) en la Ciudad de Morelia Michoacán, México. Se efectuaron análisis de varianza (ANOVA) no paramétrico y métodos de correlación y regresión múltiple para evaluar la relación entre los óxidos de nitrógeno (NO_x , NO_2) y el mismo O_3 con la temperatura, velocidad y dirección del viento medidos en febrero, 2009. Los resultados obtenidos por el modelo de regresión no lineal, sugiere que la formación de O_3 depende en 82.930 % del incremento en la temperatura. Sin embargo, los valores de O_3 medidos en ese mes, mostraron un factor de desviación en ± 20 % del propio instrumento. Una guía de comparación con la Ciudad de México, indica que Morelia podría tener una atmósfera transparente, pero es necesario realizar más investigación al respecto.

Abstract

In this study the pollution due ozone (O_3) in Morelia, Mexico was analyzed. Analysis of variance (ANOV) non-parametric and methods of correlation and multiple regressions for evaluate the relation between nitrogen oxides (NO_x , NO_2) and the same O_3 with the temperature, speed and measured wind direction in February, 2009. The results obtained by the model of regression nonlinear, formation of O_3 suggest it depends in 82.930 % on the increase in the temperature. Nevertheless, the measured values of O_3 in that month, showed a factor of deviation in ± 20 % of the own instrument. A guide of comparison with the Mexico City, indicates that Morelia, could have a transparent atmosphere, but it is necessary to realize more investigation on the matter.

*Responsable técnico de la caseta de monitoreo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SDUMA). Dirección de Protección al Medio Ambiente. H. Ayuntamiento de Morelia. Circuito Mintzita Núm. 470. Frac. Manantiales CP. 58170 Morelia, Mich. México. Tel/Fax (443)3220720, 322 0722. Armandocorea@yahoo.com.

Introducción

Varias décadas después de que Haagen-Smith, (1952) identificó a los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (NO_x) como dos precursores claves del smog fotoquímico y su influencia en las altas concentraciones de ozono (O_3), diversas metrópolis del mundo entre ellas la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), siguen teniendo eventos con alta concentración por O_3 . En México, principalmente en el Distrito Federal se estableció el Programa para Mejorar la Calidad del Aire (PROAIRE, 1995-2000), con base en su Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).

Por otra parte, el Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas A. C. (INAINE, 1990) en López-Macías (1990) recomendó el beneficio de monitorear los contaminantes del aire en la Ciudad de Morelia, porque los niveles de O_3 medidos en aquel tiempo, se encontraban cerca de la norma oficial. Sin embargo, Peláez-Figueroa & Correa-García (2007) comunicaron que a causa de los cortos periodos de monitoreo del aire efectuados en ésta zona urbana, son aún limitados para formular un juicio convincente de los niveles de contaminación atmosférica y últimamente en febrero el Instituto Nacional de Ecología reportó cifras de O_3 cercanos al criterio oficial 0.110 ppm (INE, 2009) en <http://www.ine.gob.mx>. Debido a esto, el objetivo de este estudio es analizar los factores que influyeron en los registros de O_3 con la intención de obtener un primer escenario sobre los patrones diurnos de este contaminante.

Metodología

Se colectaron los datos horarios de los contaminantes del aire: Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), ozono (O_3), y Partículas suspendidas menores a 10 micras (PM_{10}); las variables meteorológicas: Temperatura, dirección y velocidad del viento del 01 al 15 de febrero, 2009 que son medidos en la caseta de monitoreo automático, localizada en el centro histórico (Figura 1) de la Ciudad de Morelia.

La información, se adquirió de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SDUMA) perteneciente a la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del Gobierno del estado de Michoacán. Los datos se arreglaron en forma matricial, asignando códigos de identificación por cada variable; se realizaron pruebas de normalidad y análisis de varianza (ANOVA) no para métrico, así como análisis de correlación y regresión múltiple, para evaluar el nivel de asociación entre los contaminantes del aire y meteorología.



Figura 1. Caseta de monitoreo atmosférico, ubicada en la terraza de Palacio Municipal en el Centro de la Ciudad de Morelia.

Resultados

El estadístico W de Shapiro-Wilk, fue significativo en 0.96 con nivel de confianza aceptable $p = 0.00001$, o bien que las variables en estudio difieren de un patrón normal, lo cual indica, que el valor diario de la mediana del O_3 observado en los días de febrero, se aproximan bien a una distribución χ^2 cuadrada 116.00 con nivel de significancia aceptable $p = 0.00001$ pero son desiguales con respecto al valor total de la mediana 0.013 obtenida (Figura 2, gráfica A); incluso los primeros 5 días, mostraron cifras muy cercanas a cero y para los días subsiguientes 6-15 los valores fluctuaron adecuadamente alrededor de la mediana total. También se muestra, que las cifras máximas de O_3 0.111 ppm se presentaron en las fechas 12-13 y 15 de febrero.

Con relación a esto, la prueba Kruskal-Wallis H también fue significativa ($14, N = 360$) = 153.41 y $p < 0.00001$; sin embargo, la comparación múltiple de H entre los días, asociada a diferentes niveles de significancia (z'), mostró que los primeros días de febre-

ro no fueron significativos con relación a los demás.

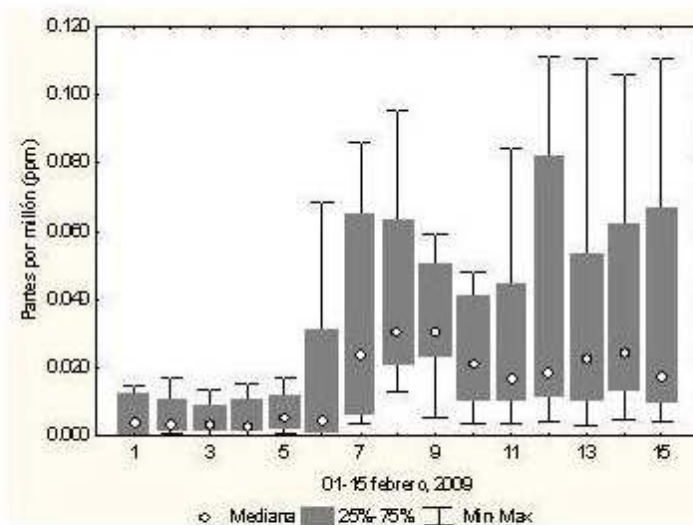
Es decir, que se forman dos grupos independientes bien definidos 1-5 y 6-15 tal como se muestra en los primeros diagramas de caja (Figura 2, gráfica A), lo cual podría deberse a la constancia de varios registros de O_3 cercanos a cero, con una apariencia de cierta estabilidad de la mediana a inicios de febrero. Asimismo en la figura 2, gráfica B se presenta la categorización de los histogramas para cada uno de los 15 días de febrero; distíngase, que la curva de distribución del primer grupo (1-5) nuevamente parece invariable, mientras que en los demás días adopta diversas formas debido al rango del orden de magnitud de los valores; pero la explicación, de la semejanza inicial, es la misma que se abordó en la descripción anterior.

Por otra parte, el coeficiente de correlación Spearman mostró alta reciprocidad 0.93 entre los contaminantes precursores (NO_x , NO_2) del O_3 , y éstos a su vez nula asociación negativa -0.33 con el mismo. En cambio, las partículas PM_{10} , velocidad y dirección del viento, juntamente con la temperatura se relacionaron bien entre 0.48 y 0.68 con el O_3 , siendo todos estos valores significativos $p < 0.05$. Esta relación entre los contaminantes precursores (NO_2 ; NO_x) del O_3 y el mismo ozono, está bien documentada en la literatura (Jáuregui, 1992; Sandoval *et al.*, 1997; Rico *et al.*, 2002; Correa-García, 2004).

A partir de estas cifras de correlación, se generó un modelo de regresión no-lineal, el cual supone que el ozono aumenta conforme sube la temperatura con un factor de asociación aceptable $R = 0.91$, o bien que la formación de O_3 depende en un 82.930% de los cambios en la temperatura (Figura 3, gráfica A). Lo anterior, se aproxima bien con los resultados obtenidos al Suroeste de la Ciudad de México por (Rico *et al.*, 2002), y posteriormente Rico *et al.*, (2006) mencionan que la formación de O_3 también puede atribuirse a una serie de reacciones entre los contaminantes primarios: CO, NO_x , SO_x y PM en interacción con la luz solar.

De esta forma, el modelo propuesto podría ser correcto; sin embargo, los cambios máximos de O_3 , no logran un buen ajuste por arriba de 0.080 ppm, pues la diferencia entre los valores residuales (observado-predicho) es alta, máxime cuando las concentraciones de O_3 superan los 0.100 ppm (Figura 3, gráfica B), lo cual podría atribuirse entre otros factores, al alto valor de correlación obtenido 0.91, ó al

Gráfica (A)



Gráfica (B)

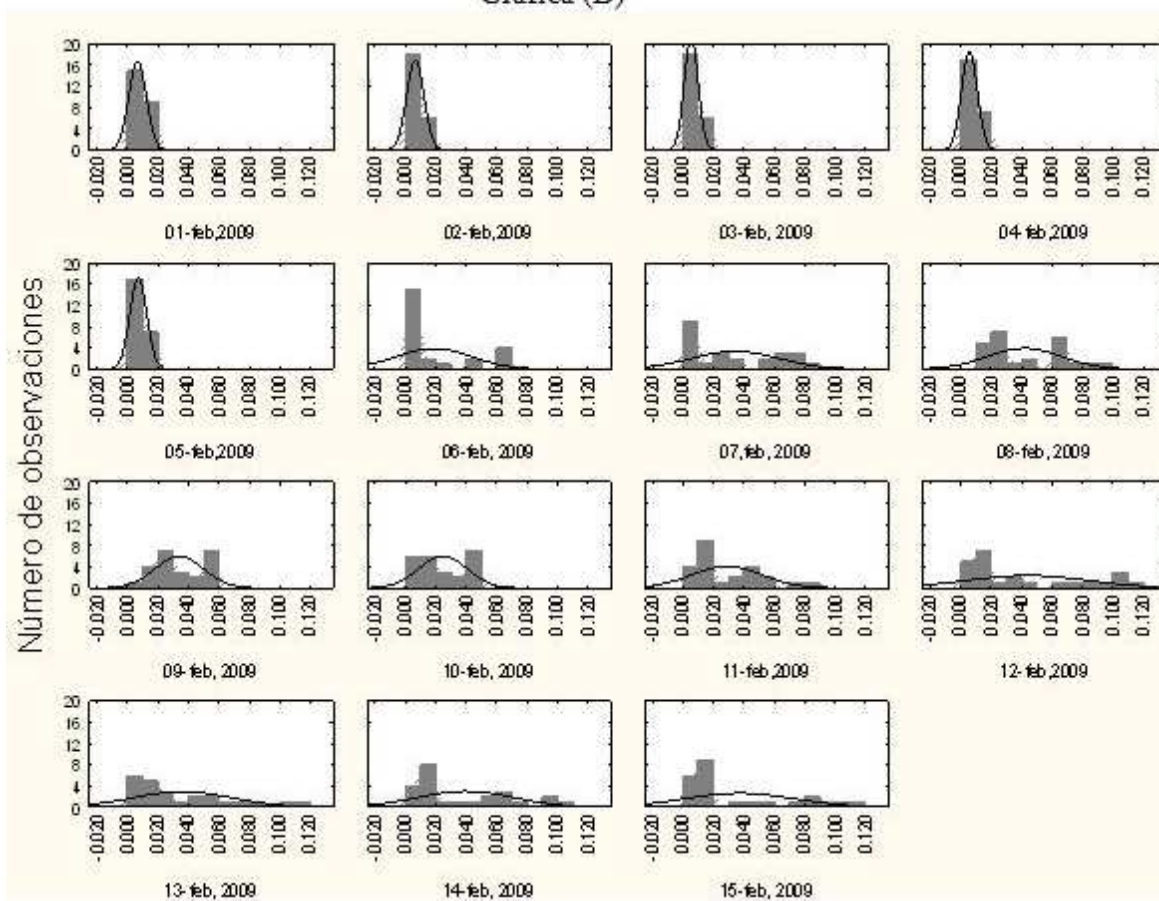


Figura 2. En A) Valor de la mediana del O_3 entre el 01 y 15 de febrero, 2009 observado en la Ciudad de Morelia y B) Clasificación por día, de los histogramas del mismo periodo.

efecto de regularidad en los valores de O_3 mencionado anteriormente (Figura 3, gráfica A).

Pese a esto, la sobre posición de la temperatura entre los $20^\circ C$ y $25^\circ C$ coincide en ciertos casos con los valores máximos de O_3 (Figura 3, gráfica C).

Asimismo, en la figura 3, gráfica D, se presenta el patrón diario del O_3 asociado con los cambios de los contaminantes precursores del mismo; nótese, que conforme descienden los óxidos de nitrógeno el ozono se incrementa después del medio día, logrando un máximo de 0.111 entre las 15:00 y 14:00 horas del día 12, 13 y 15 de febrero; característica, que coincide con los valores de correlación reportados en este estudio.

Discusión

La incertidumbre del valor de la mediana hallada a inicios de febrero, (Figura 2, gráfica A-B; Figura 3, gráfica A), queda exenta de discusión porque la bitácora de operación y funcionamiento de la caseta de monitoreo, reportó en esos días un problema con el suministro de energía eléctrica y la empresa CLINST, S.A. de CV., identificó a inicios de marzo un factor de desajuste alrededor del 20 % del analizador de O_3 .

Con base en estas referencias y los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas y el modelo propuesto, la eliminación de los primeros 5 días de febrero queda debidamente justificada. Sin embargo, la cuantificación de este efecto mostró un cambio en el valor de la mediana total de 0.013 a 0.022 con ξ -cuadrada = 20.09 y $p=0.0174$; $H = 21.72$ y $p=0.0098$ significativos. Pero éstos, siguen conservando las descripciones de los resultados obtenidos en este estudio (Figura 4, gráfica A). Análogamente, el coeficiente de correlación cambió poco a $R=0.89$ con porcentaje de variación explicada de 80.184 % y la discrepancia entre los valores residuales mostró igual recorrido de -0.040 a 0.040 ppm (Figura 4, gráfica B y C), por ejemplo en los días que se alcanzó la norma 0.111 ppm el modelo calculó 0.076 ppm (0.035 ppm de diferencia) un porcentaje de diferencia en ± 31.53 %. Pese a esto, la distribución de los residuales se aproximó otra vez a una campana simétrica.

Lo anterior, sugiere que el efecto mínimo se debió en gran parte, a los valores imperceptibles del O_3 registrados; la subestimación del modelo podría atribuirse al factor de corrimiento del analizador de O_3 , reportado por la empresa CLINST. Aún así, el mo-

delo propuesto puede considerarse como una primera aproximación, para entender el proceso de formación de este contaminante. Su limitación, consiste en la representatividad, la cual podría ser favorecida cuando es asociada al estadístico Spearman, por ejemplo con el O_3 de 0.65 y los NO_X-NO_2 0.52, y 0.43 respectivamente, con el sitio Pedregal de la Ciudad de México (compare Figura 5, gráfica A con Figura 3, gráfica D).

Esto significa, que el proceso de formación de O_3 en Morelia, sigue un mecanismo similar al de la Ciudad de México; un patrón diurno semejante, producción de O_3 después del medio día y descenso de los óxidos de nitrógeno. Aún con el factor de desajuste, las cifras máximas no exceden con frecuencia los 0.111 ppm; mientras que en Pedregal, persiste en poco más de tres horas seguidas (Figura 5, gráfica B).

Concretamente, la discrepancia es muy notoria y puede atribuirse a varios factores: La distancia en kilómetros entre ambos sitios, altitud sobre el nivel del mar, tamaño del parque vehicular, industrias, servicios públicos, población, etc. Así que, probablemente la contaminación del aire en la atmósfera urbana de Morelia es aún incipiente; sin embargo, la percepción física del paisaje visto al Suroeste de esta Ciudad (Figura 5, imagen C y D) proporciona otra realidad distinta, que podría considerarse un factor más de investigación en el futuro inmediato.

Conclusiones

Las concentraciones de O_3 reportadas en la primera quincena de febrero, 2009 fueron sobre-calculadas por un factor de corrimiento del propio equipo de medición. Por lo que se recomienda programar con más frecuencia los tiempos de calibración.

El modelo matemático formulado en este estudio, es la primera guía del mecanismo de producción de O_3 en la ciudad de Morelia. Se recomienda continuar con el monitoreo atmosférico para consolidar una base de datos confiable. Los análisis estadísticos realizados en este estudio, en combinación con los aspectos técnicos, demostraron su influencia sobre las mediciones de O_3 . Su identificación, no siempre es precisa, aún bajo la revisión cuidadosa de la información.

La ciudad de Morelia patrimonio cultural de la humanidad, todavía se beneficia de una atmósfera urbana libre de contaminación. Pero es necesario, rea-

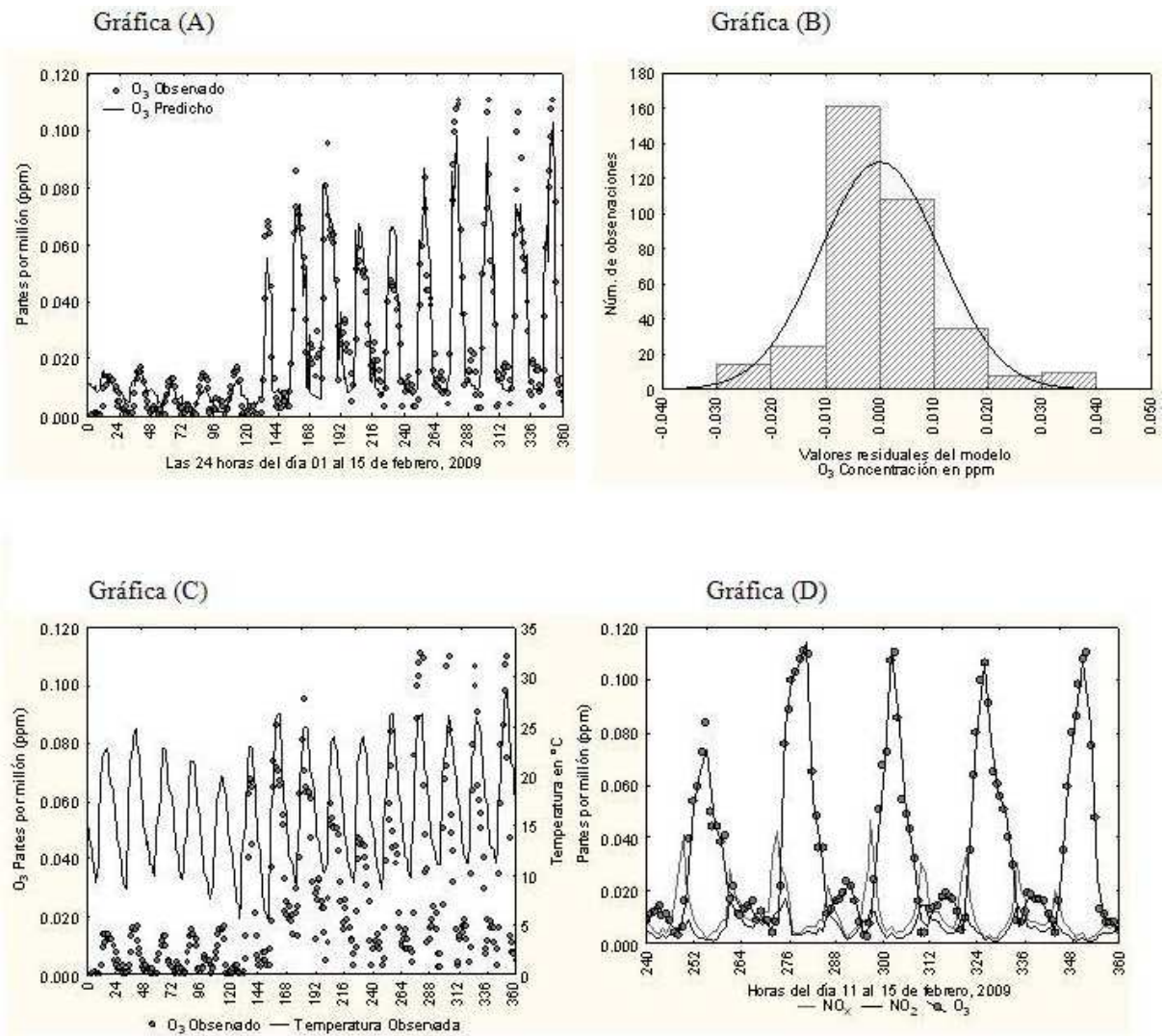


Figura 3. En A) Modelo de regresión no-linear del O₃ con la temperatura; B) Distribución de frecuencias de los valores residuales del mismo modelo; C) Asociación entre la temperatura y ozono y D) Relación entre los precursores (NO_x, NO₂) con O₃ del 11 al 15 de febrero, 2009 observado en la Ciudad de Morelia. En A y C los cortes son cada 24 horas que describen 15 patrones diarios y en D) son de 12 horas que describen los últimos 5 patrones diurnos; el número 252, representa las 12 horas del día 11 y así sucesivamente.

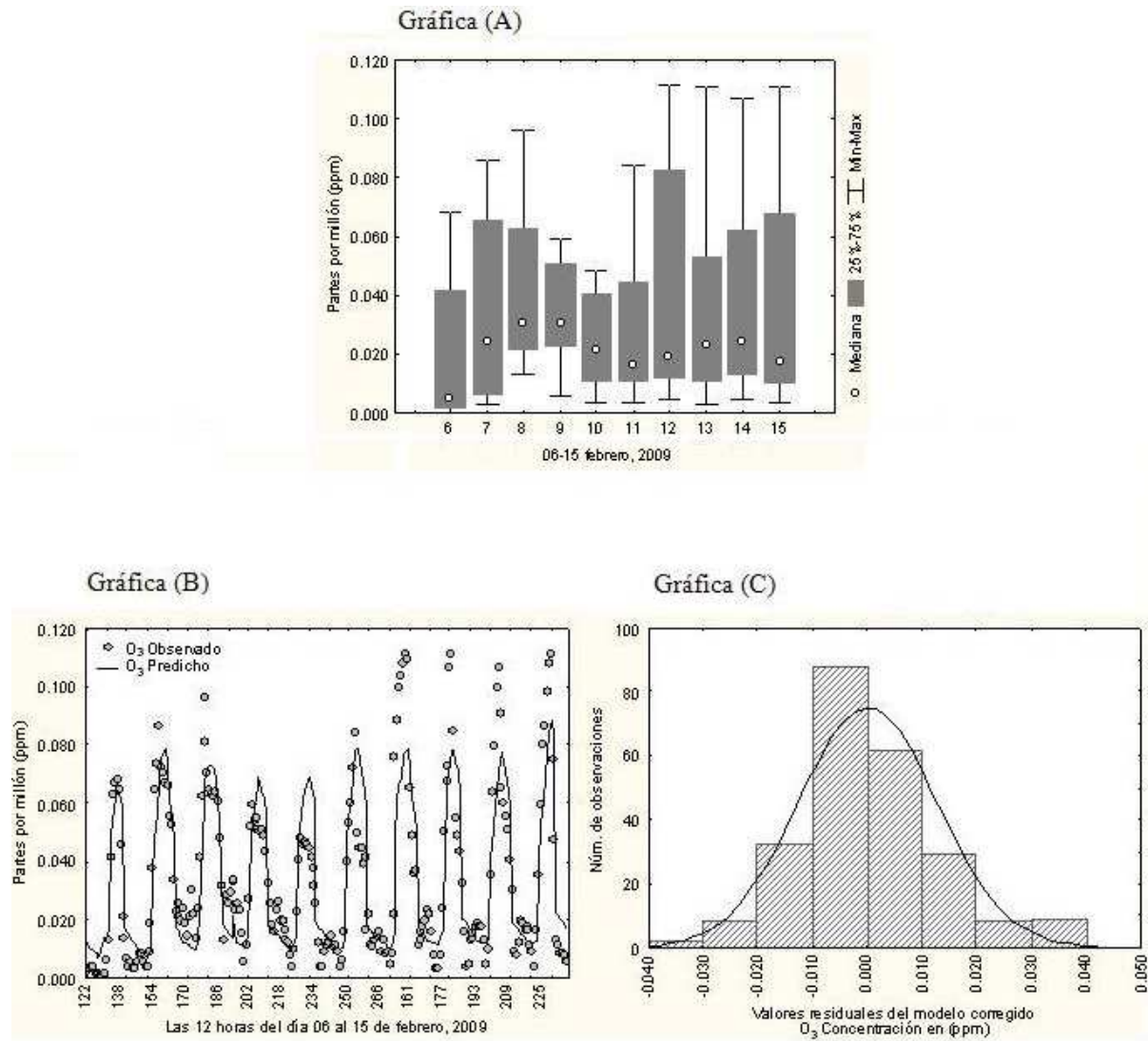


Figura 4. En A) Valor de la mediana del O₃ entre el 06 y 15 de febrero, 2009; B) Modelo de regresión no-linear del O₃ con la temperatura y C) Distribución de frecuencias de los valores residuales del mismo modelo.

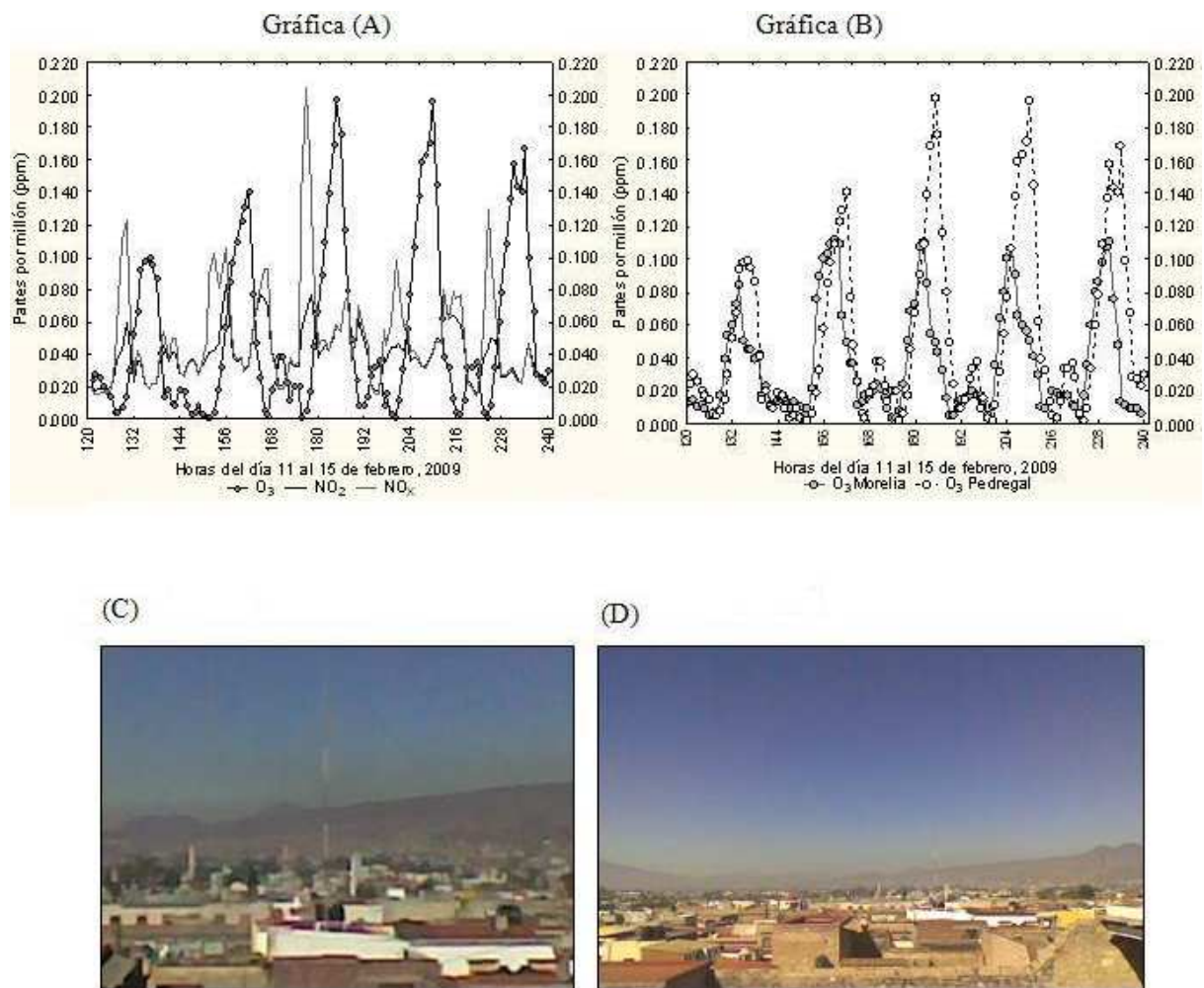


Figura 5. En A) Patrones diarios del O₃ y contaminantes precursores en Pedregal, al suroeste de la ciudad de México del 11 al 15 de febrero, 2009 ; B) Comparación del Patrón diario de O₃ en ambas ciudades del mismo periodo; C) Nube de humo fotografiada desde la caseta de monitoreo el 24-02-2009 a las 09:31 am., al Suroeste de la Ciudad de Morelia y D) Otra nube vista en el mismo lugar el 03-03-2009 a las 10:38 am.

lizar más investigación en otros campos relacionados con el tema, por ejemplo, un inventario de emisiones.

Bibliografía

1. Calibration Laboratory and Instrumentación SA de CV. (CLINST, 2009) Informe de Calibración en la Unidad de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de Morelia. Marzo, 10-11, 2009. Francisco Cesar Morales # 31, Leonora Int. 403. Colonia Fuentes de Zaragoza. Delegación Iztapalapa. México DF. CP 09510 TEL: (55) 57-38-61-57 Fax (55) 57-38-36-51. Email: clinst@clinst.com.
2. Correa-García, A. (2004) *Contaminantes Atmosféricos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Instituto Politécnico Nacional-Universidad Autónoma Metropolitana. Primera edición. Pp. 280. Impreso en México, DF. México.
3. Haagen-Smith, A. J., (1952) Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog. *Ind. Eng. Chem.* 44, 1342-1346.
4. Instituto Nacional de Ecología (INE, 2009) Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA). <http://www.ine.gob.mx>.
5. Jáuregui, E. (1992) Meteorological aspects of ozone characterization and trend for period 1986-92 in Mexico City. In Meeting of the Commission of Climatology of the 27th International Geographical Congress. University Park, 3-8 August 1992.
6. López-Macías, J. M. (1990) Determinación de los niveles de Plomo en el río grande del Municipio de Morelia, Mich. Y sus posibles repercusiones en salud pública. Informe de Tesis de Licenciatura en Veterinaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Escuela de Medicina, Veterinaria y Zootecnia. Morelia Michoacán. México.
7. Peláez-Figueroa, A & Correa-García, A (2007) Análisis Preliminares de las Tendencias de la Calidad del Aire en Morelia. Programa de Monitoreo Atmosférico. Primer Informe de Actividades 2007. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SDUMA). H. Ayuntamiento de Morelia Michoacán, México.
8. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México PROAIRE, 1995-2000. Comisión Ambiental Metropolitana CAM.
9. Rico, A. E., Coronado M. M., & Correa G.A. (2006) Procesos para la Eliminación de Contaminantes a la Atmósfera. IPN-ESIQIE. *Tecnología Humanística* Núm. 38, Noviembre, 2006.
10. Rico, A. E., Correa-García, A. & M. M. Coronado (2002) Contaminación atmosférica por ozono en la zona metropolitana del valle de México. IV Simposio de Contaminación Atmosférica. Celebrado en el Aula Magna de El Colegio Nacional. Del 05 al 07 de noviembre 2002. México, DF., México.
11. Sandoval, J., Jaimes, J. L., Zúñiga, V. A., Marroquín, O., Ortiz, R. & González, E. (1997) Comparación de resultados de experimentos de cámaras de smog exteriores realizados en los Ángeles, CA. Y en la Ciudad de México. Contaminación Atmosférica Volumen II Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México, D.F.

CS