

Contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana



Atmospheric pollutants in two locations in Havana

<https://cu-id.com/2377/v30n1e01>

 Rosemary López Lee*,  Arnaldo Evaristo Collazo Aranda,  Osvaldo Cuesta Santos

Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

RESUMEN: La variabilidad espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos en un área urbana es grande. Superpuestos a la variabilidad meteorológica diaria existen ciclos estacionales de las actividades humanas que influyen en la calidad del aire. El objetivo de la presente investigación fue analizar la variación espacial y temporal de los gases contaminantes: dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y ozono en dos localidades de La Habana desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016. Se utilizaron datos horarios de concentración provenientes de dos Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico. El procesamiento estadístico de los datos fue realizado empleando los softwares MS-Excel y Origin 2016. Se aplicaron las pruebas no paramétricas U de Mann-Whitney, H de Kruskal-Wallis y Dunn. De forma general las concentraciones de los contaminantes se correspondieron con los patrones de distribución característicos de localidades urbanas.

Palabras clave: dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono.

ABSTRACT: The spatial and temporal variability of air pollutants in an urban area is great. Superimposed on daily meteorological variability are seasonal cycles of human activities that influence air quality. The objective of this research was to analyze the spatial and temporal variation of polluting gases: sulfur dioxide, nitrogen dioxide and ozone in two locations in Havana from November 2015 to October 2016. Hourly concentration data from two Automatic Atmospheric Monitoring Stations. The statistical processing of the data was carried out using the MS-Excel and Origin 2016 software. The non-parametric Mann-Whitney U, Kruskal-Wallis H, and Dunn tests were applied. In general, the concentrations of the pollutants corresponded to the distribution patterns characteristic of urban locations.

Key words: sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ozone.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas medio ambientales más serios a los que la sociedad tiene que hacer frente es la contaminación atmosférica. La era industrial y la actual demanda de movilidad están suponiendo una emisión extraordinaria de sustancias contaminantes a

la atmósfera. Esta situación acarrea que las ciudades y zonas industriales puedan registrar niveles de calidad del aire inadecuados con efectos negativos en la salud humana y los ecosistemas (Cuesta *et al.*, 2017).

Los estudios realizados sobre contaminación atmosférica se despliegan en tres niveles fundamentales, asociados a las escalas de los procesos

*Autor para correspondencia: Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. E-mail: acollazo40@gmail.com.

Recibido: 02/02/2023

Aceptado: 08/03/2024

Dra. Rosemary López Lee. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), La Habana, Cuba. E-mail: rosemary.lopez@insmet.cu

MSc. Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), La Habana, Cuba. E-mail: acollazo40@gmail.com

Dr. Osvaldo Cuesta Santos. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), La Habana, Cuba. E-mail: osvaldo.cuesta@insmet.cu

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

Contribución de los autores: **Contribución de autoría y Concepción de la idea:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos. **Manejo de los datos:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos. **Análisis de los datos:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos. **Investigación:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos. **Supervisión:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos. **Validación de los resultados:** Rosemary López Lee, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

meteorológicos. En la presente investigación se consideró el nivel local. Este nivel incluye el grupo de problemas típicos de la contaminación urbana analizada de forma general y proveniente de la gran diversidad de fuentes. Aquí los receptores principales son los habitantes del medio urbano, sus instalaciones, y la vegetación urbana (Cuesta *et al.*, 2014).

La variabilidad espacial y temporal de los niveles de contaminación en un área urbana es grande. Superpuestos a la variabilidad meteorológica diaria existen ciclos diarios, semanales y estacionales de las actividades humanas que crean a su vez ciclos de la calidad del aire. Además, la distribución de las fuentes emisoras no es uniforme (López, 2006).

En Cuba, entre las causas fundamentales que generan los problemas de calidad del aire en zonas urbanas se pueden citar: los errores en la planificación territorial en cuanto a la ubicación física de los asentamientos humanos e industrias y la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y en otras fuentes como el transporte automotor (Cuesta *et al.*, 2014).

La situación nacional difiere mucho de los alarmantes niveles de contaminación atmosférica que existen en otros países. Sin embargo, existen sitios puntuales donde se manifiestan indicadores que no son favorables. Tal es el caso de La Habana, la cual destaca por ser la provincia con mayor densidad poblacional y el mayor centro industrial y portuario del país. Esta situación requiere atención por parte de los decisores en materia de protección ambiental, y las autoridades locales (Cuesta *et al.*, 2017).

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo de la presente investigación fue analizar la variación espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃) en dos localidades de La Habana durante el periodo comprendido desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se utilizaron datos horarios de concentración de SO₂, NO₂ y O₃ provenientes de dos Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico (EAMA). Ambas son de la marca Automated Air Quality Monitoring System (TH-2000), fabricadas por Yuhong Environmental Protection Industrial Development Co. Las mismas fueron ubicadas en la sede del Consejo de la Administración Municipal de San Miguel del Padrón (SMP), y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), en Plaza de la Revolución (figura 1). El periodo de muestreo abarcó desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016.

La EAMA del InSTEC fue ubicada en la azotea del edificio central, rodeada de gran vegetación por estar en áreas de la Quinta de los Molinos, una de las principales zonas verdes de la ciudad. Alejada unos 100 metros aproximadamente de las vías circundantes (Bolufé *et al.*, 2016), es representativa de las concentraciones urbanas de exposición de fondo (López *et al.*, 2015).

La EAMA de SMP fue ubicada en la azotea del Consejo de la Administración Municipal. A diferencia de la estación del InSTEC, esta recibe la influencia directa del flujo vehicular que circula por la Calzada de Güines, una de las principales vías del territorio en el cual se encuentra emplazada la EAMA. Esto determina que sea una estación urbana de exposición al tráfico. Las mediciones, en este caso, están estrechamente vinculados con los principales contaminantes asociados a las fuentes móviles (López *et al.*, 2015; Bolufé *et al.*, 2016).

Procesamiento estadístico de los datos

El procesamiento estadístico de los datos de las EAMA fue realizado utilizando los softwares MS-Excel y Origin 2016.



Figura 1. EAMA y principales fuentes fijas en La Habana

Prueba no paramétrica U de Mann - Whitney

Con el objetivo de determinar si los valores de inmisión fueron estadísticamente diferentes entre el período lluvioso (mayo - octubre) y el poco lluvioso (noviembre - abril) se realizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Esta prueba de hipótesis se utiliza al no existir una distribución normal de los datos (Wayne, 1991). Fue seleccionada además porque se comparaban dos series de datos.

Prueba no paramétrica H de Kruskal - Wallis

Se empleó la prueba H de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas entre los valores de inmisión de contaminantes para cada hora del día, día de la semana y mes del año. Esta prueba de hipótesis se utiliza al no existir una distribución normal de los datos. Es una variación de la prueba U de Man-Whitney que se emplea cuando existen a partir de tres series de datos (Wayne, 1991).

Prueba no paramétrica de Dunn

Cuando el valor del estadístico de Kruskal - Wallis que se obtiene es significativo, se indica que al menos uno de los grupos es diferente de al menos otro de los grupos (Araya, 2011). Entonces, se procede a realizar una prueba de comparaciones múltiples. En este caso se recomienda implementar la prueba de Dunn (Siegel y Castellan, 1988), la cual fue empleada en esta investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación espacial y temporal del dióxido de azufre

Las concentraciones promedio horarias de SO₂ se presenta en la figura 2. En el período de estudio los mayores valores se observaron en la estación de SMP. Una de las causas puede ser el transporte de este con-

taminante desde la refinería Níco López y de otras fuentes fijas de los municipios de Regla y Guanabacoa, que se encuentran ubicadas en la dirección de los vientos predominantes en este sitio.

En SMP el máximo valor horario registrado fue de 202,5 µg/m³, que no superó la CMA en 1 hora (250 µg/m³). Mientras que en el InSTEC en una ocasión se superó esta CMA con un valor de 277,2 µg/m³. El resultado puede estar relacionado con el transporte de emisiones de SO₂ desde la refinería Níco López y la termoeléctrica Otto Parellada. Las emisiones de estas fuentes son muy superiores a las provenientes de las calderas de hospitales y empresas cercanas (Cuesta et al., 2014).

En SMP los mínimos se registraron al final de la noche y en la madrugada, posiblemente por la transformación de este contaminante a H₂SO₄, favorecida por la alta humedad relativa. Mientras que el valor máximo se observó a las 2:00 p.m., esto pudo ser por el incremento de la temperatura y la disminución de la humedad relativa (Calderón, 2011).

Por otro lado, en el InSTEC, las concentraciones promedio mostraron un pico máximo a las 9:00 a.m. y los mínimos fueron a las 6:00 a.m. y 5:00 p.m. En la zona metropolitana de Guadalajara, México, se observó un comportamiento similar de este contaminante, durante el período 2001 - 2010 (García et al., 2014). Las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn mostraron que los horarios en los que se alcanzó la concentración de SO₂ promedio más elevada, en ambas estaciones, presentaron diferencias estadísticas significativas con las restantes horas del día.

La variación de las concentraciones de SO₂ promedios durante los días de la semana se muestran en la figura 3. Los mayores valores se obtuvieron, por lo general, en los días laborales, por lo que una parte importante del origen de SO₂ en ambas estaciones fue producto de la actividad industrial.

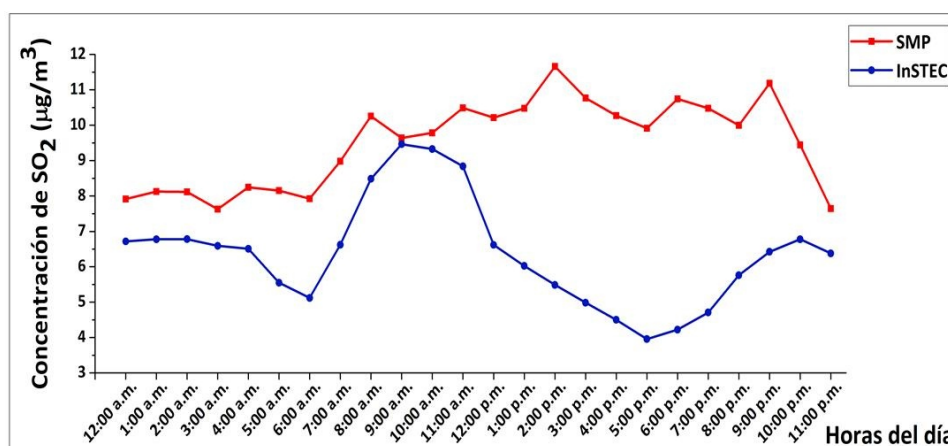


Figura 2. Concentraciones de SO₂ promedio horarias en las EAMA (noviembre del 2015-octubre del 2016)

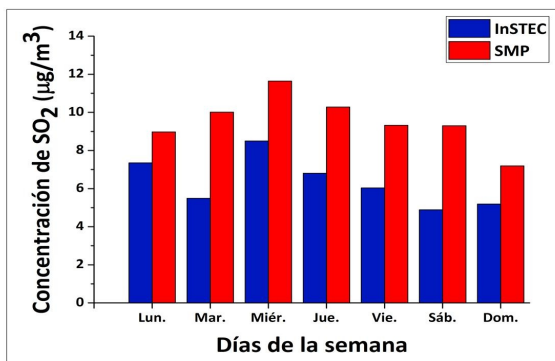


Figura 3. Concentraciones de SO₂ promedios diarios en las EAMA (noviembre del 2015-octubre del 2016)

En ambas estaciones, los altos valores pudieron estar relacionados con las emisiones de fuentes fijas como la refinera Níco López (Cuesta *et al.*, 2014). No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de inmisión de SO₂ respecto a los días de la semana, utilizando las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn.

En la figura 4 se muestran las concentraciones de SO₂ promedios mensuales. En el InSTEC se observó en noviembre el valor máximo de 15,0 µg/m³. Este mes presentó un máximo diario de 50,4 µg/m³, que superó la CMA en 24 horas (45 µg/m³). El promedio mensual en diciembre también se mostró alto comparado con los demás meses del año con un valor de 11,5 µg/m³.

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas de los meses noviembre y diciembre con los restantes, utilizando las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn. Las menores concentraciones se observaron en octubre.

En SMP los promedios mensuales máximos se alcanzaron en marzo y abril, con un valor en ambos meses de 18,9 µg/m³. Los mismos presentaron diferencias estadísticas significativas con los demás meses del año, según las pruebas no paramétricas H de Kruskal-Wallis y de Dunn. El mínimo promedio mensual fue en julio. En los meses de noviembre a abril, las temperaturas tienden a ser más bajas que en el resto del año, lo cual dificulta la dispersión vertical de los contaminantes (Jayamurugan *et al.*, 2013).

Las concentraciones de SO₂ promedio para los períodos poco lluvioso y lluvioso se observan en la figura 5. Se identificó que los valores de inmisión mostraron un aumento estadísticamente significativo durante el período poco lluvioso en comparación con el período lluvioso, utilizando la prueba no paramétrica U de Mann - Whitney. Esto pudo ser resultado de las abundantes precipitaciones en el período lluvioso, que producen la limpieza de la atmósfera. Además, las bajas temperaturas que se observan en el período poco lluvioso, favorecen el estancamiento de los contaminantes (Cuesta *et al.*, 2017).

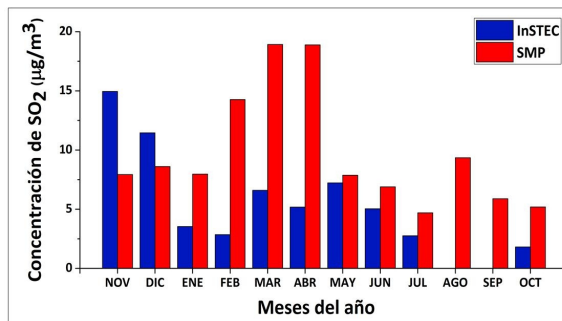


Figura 4. Concentraciones de SO₂ promedio mensuales en las EAMA (noviembre del 2015-octubre del 2016)

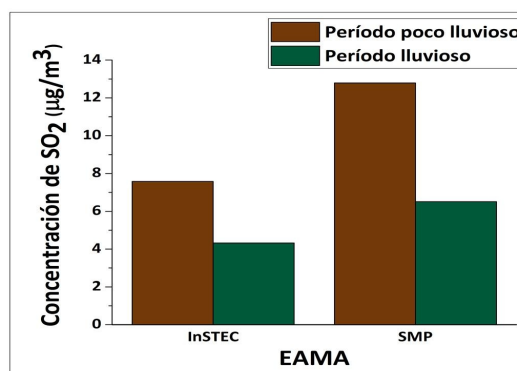


Figura 5. Concentraciones de SO₂ promedio estacionales en las EAMA (noviembre del 2015-octubre del 2016)

Variación espacial y temporal del dióxido de nitrógeno

Las concentraciones de NO₂ promedios horarias se muestran en la figura 6. El comportamiento de este contaminante está muy determinado por el transporte automotor (Cuesta, 1995). Los valores máximos se presentaron en la estación de SMP, debido a las características propias del sitio de muestreo.

Se observaron dos picos de concentraciones máximas; el primero a las 8:00 a.m. y el segundo, entre las 7:00 p.m. y 9:00 p.m. El incremento de la concentración en las primeras horas de la mañana indica la directa relación con las emisiones provenientes de fuentes móviles (Lavado, 2012). Los promedios mínimos horarios se registraron en la madrugada y en horas de la tarde. La disminución de las concentraciones de NO₂ al final de la noche y en la madrugada pudieron deberse al alto contenido de humedad que determina la formación de HNO₃ a partir del NO₂ y el O₃ remanente (Calderón, 2011). Se observaron en ambas estaciones concentraciones promedios horarias dentro de la normativa (CMA en 1 hora - 160 µg/m³).

Las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn mostraron que en ambas estaciones los valores de inmisión de NO₂ por hora presentaban diferencias estadísticas significativas entre sí. Principalmente con los horarios en los que se alcanzaba la concentración promedio más elevada.

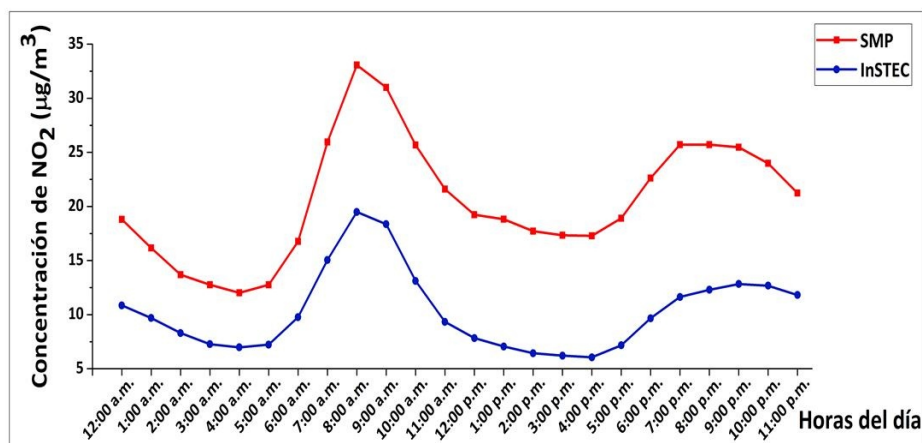


Figura 6. Concentraciones de NO₂ promedio horarias en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

Las concentraciones de NO₂ promedios diarias durante la semana para el período de estudio mostraron la influencia de las actividades antropogénicas sobre este contaminante (figura 7). Se observó en las dos estaciones, valores superiores en los días hábiles, lo que corresponde con estudios realizados en regiones urbanas de Chile (Calderón, 2011). Las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis aseguraron que en el InSTEC los valores de inmisión de NO₂ durante los días laborales superan significativamente a los del domingo.

En el InSTEC, los mayores promedios mensuales se presentaron en los meses de noviembre y diciembre, como se muestra en la figura 8. Mientras que SMP en estos meses tuvo las concentraciones mínimas. Algunas posibles causas son la persistencia de bajas extra-tropicales y frentes fríos que condicionan el aumento de la dispersión por el incremento de la fuerza del viento (Cuesta, 1995). Además, por la incidencia de vientos de región norte, lo cual en SMP es sinónimo de ausencia de fuentes potentes de emisión cercanas y en el InSTEC, es la mayor influencia de las calderas de la zona hospitalaria que se haya en esta dirección.

En SMP el máximo promedio tuvo lugar en febrero con un valor de 26,5 µg/m³. Se identificaron cuatro máximos que superaron la concentración admisible en 24 horas (40 µg/m³) con valores entre 41,8 µg/m³ y 42,8 µg/m³, distribuidos en los meses de enero, febrero y marzo.

En la figura 9 se muestran las concentraciones de NO₂ promedios estacionales. En el InSTEC se observó un aumento estadísticamente significativo de las inmisiones de este contaminante durante el período poco lluvioso en comparación con el período lluvioso, utilizando la prueba U de Mann - Whitney. En esta estación de exposición de fondo, el incremento de las concentraciones de los contaminantes en el período poco lluvioso, puede estar relacionada con la mayor contribución de las fuentes emisoras externas (Cuesta, 1995; Collazo, 2011).

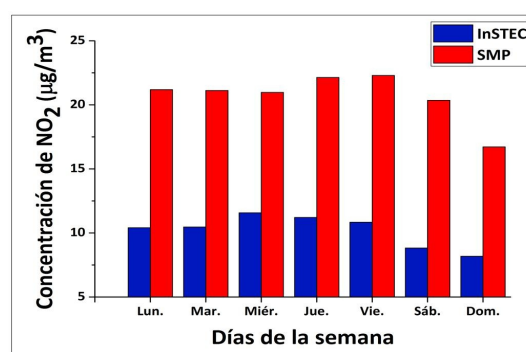


Figura 7. Concentraciones de NO₂ promedio diarias en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

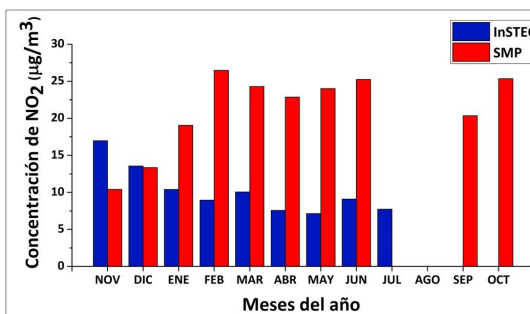


Figura 8. Concentraciones de NO₂ promedio mensuales en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

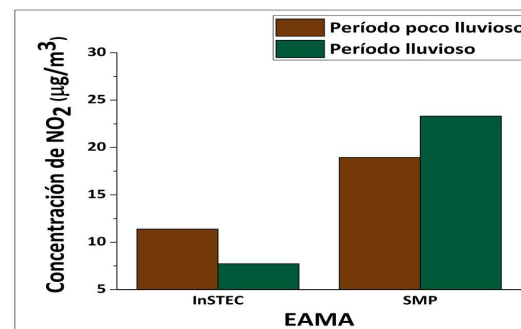


Figura 9. Concentraciones de NO₂ promedio estacionales en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

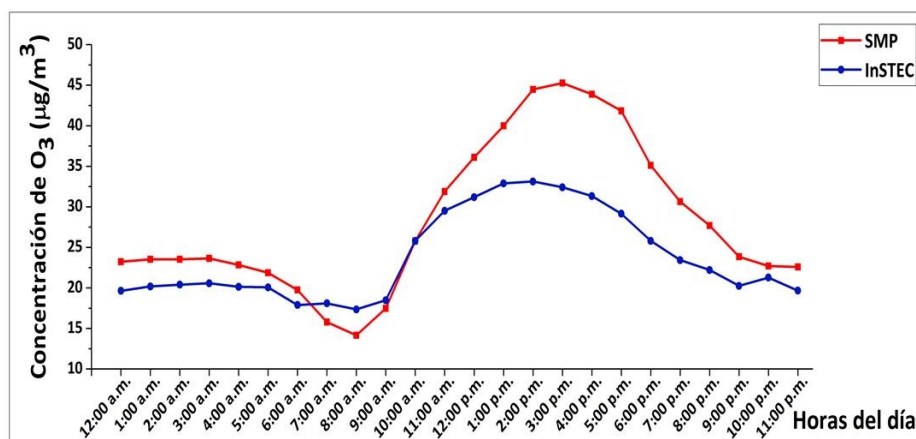


Figura 10. Concentraciones de O₃ promedios horarias en las EAMA en el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016

Las inmisiones de NO₂ en SMP se presentaron superiores durante el período lluvioso. Las que pueden estar asociadas a la mayor contribución de las fuentes locales, esto ratifica lo reportado por Cuesta (1995) de áreas del país bajo la influencia directa del transporte automotor y de las múltiples fuentes de la ciudad.

Variación espacial y temporal del ozono

El O₃ mostró un comportamiento opuesto a la marcha diaria del NO₂ (figura 10). Se observó un mínimo a las 8:00 a.m. y a partir de ese horario, las concentraciones comenzaron a aumentar. Esto se debe al incremento de la radiación solar, que es un factor dominante para la formación de ozono troposférico a partir de los precursores NO_x (NO y NO₂) y COVs (Seinfeld y Pandis, 2006).

En ambas estaciones las mayores concentraciones se alcanzaron entre las 2:00 p.m. y 3:00 p.m. Después de este horario comenzaron nuevamente a disminuir producto del decaimiento de la radiación solar, hasta alcanzar valores mínimos que se mantuvieron prácticamente constantes durante la noche y la madrugada. Esta tendencia también ha sido observada por varios especialistas en otras zonas urbanas (Calderón, 2011; Lavado, 2012; García et al., 2014).

En el InSTEC, en 5 ocasiones fue superada la CMA en 1 hora (150 µg/m³), con valores entre 208,6 µg/m³ y 750,6 µg/m³. En SMP solo se presentó un caso con 498,8 µg/m³. Una posible causa es el mayor porcentaje de calma en el InSTEC con respecto a SMP. Las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre los valores de inmisión de O₃ respecto a las horas del día, principalmente con los horarios en los que se alcanzaba la concentración promedio más elevada.

Durante la semana no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las inmisiones de O₃ utilizando las pruebas H de Kruskal - Wallis y de Dunn. La figura 11 muestra las concentraciones promedio diarias de este contaminante en el período

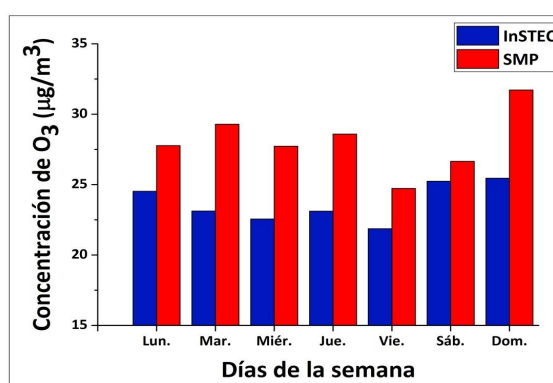


Figura 11. Concentraciones de O₃ promedio diarias en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

de estudio. Se observó que las concentraciones de O₃ fueron superiores el domingo. Algunos autores consideran que este fenómeno, llamado “efecto fin de semana”, consiste en una acumulación de ozono en la altura que bajo condiciones meteorológicas específicas irrumpe aumentando el ozono producido en superficie (Lavado, 2012).

Las concentraciones promedio mensuales se presentan en la figura 12. En los meses del año el O₃ se mantuvo dentro de la norma (CMA en 8 horas - 100 µg/m³). En ambas estaciones se obtuvo en febrero el máximo promedio mensual y un máximo secundario en abril.

Estos meses mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al resto de los meses del año, utilizando las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn. Lo que pudo ocurrir como resultado del aporte local de sus precursores y la permanencia de las masas de aire de origen continental que favorecen el incremento de O₃; además por las condiciones de buen tiempo asociadas, con días secos y cielo despejado que provocan la destrucción acelerada de NO₂ (Ramírez, 1989; Cuesta, 1995; Collazo, 2011).

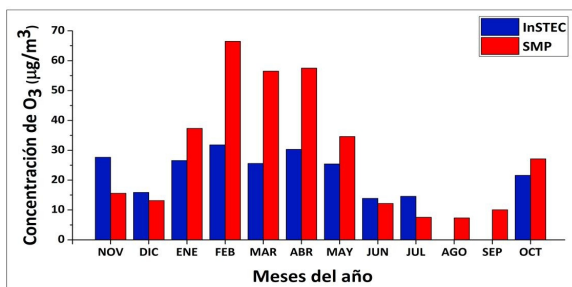


Figura 12. Concentraciones de O₃ promedio mensuales en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

El mínimo correspondió a los meses de junio y agosto en las estaciones del InSTEC y SMP, respectivamente. Una de las causas es la limpieza de la atmósfera como resultado de las abundantes precipitaciones.

El comportamiento estacional de este contaminante en las EAMA en el período de estudio se muestra en la figura 13. Se observó un aumento diferencial estadísticamente significativo durante el período poco lluvioso en comparación con el período lluvioso, según la prueba U de Mann - Whitney. El resultado pudo estar condicionado por la influencia de las altas presiones continentales migratorias que predominan sobre Cuba en los meses invernales, favoreciendo el transporte transfronterizo de contaminantes como el O₃ (Collazo, 2011).

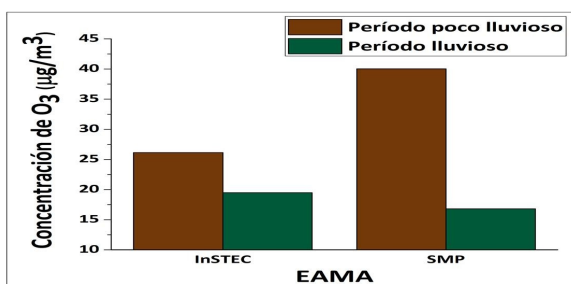


Figura 13. Concentraciones de O₃ promedio estacionales en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

CONCLUSIONES

Las concentraciones de los contaminantes atmosféricos estudiados se corresponden con los patrones de distribución característicos de localidades urbanas. En San Miguel del Padrón siempre se observaron concentraciones superiores con respecto al Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas por las características propias de cada estación. El SO₂ y el NO₂ alcanzaron sus valores promedios máximos en horas de la mañana. Mientras que el O₃ alcanzó sus promedios máximos en horarios vespertinos. El domingo fue el día de la semana con las menores concentraciones para los contaminantes atmosféricos con excepción del O₃. Durante los meses del período poco lluvioso se observaron incrementos en las inmisiones de contaminantes atmosféricos.

REFERENCIAS

- Araya, S. (2011). *Evaluación de los procedimientos de comparaciones múltiples no paramétricas para una y dos vías de clasificación utilizados en la investigación biológica*. Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Magister Scientiarum en Estadística. Maracay, Venezuela: Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
- Bolufé, J., Guevara, V. A., León, A., Rivero, A., León, L. González, Y., Cuesta, O. (2016). *Efectos del clima y la calidad del aire en la crisis aguda de asma bronquial en La Habana*. Proyecto "Influencia de la variabilidad del clima y la calidad del aire en algunas enfermedades crónicas no transmisibles en la región occidental de Cuba". Informe de Resultado. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Calderón, V. A. (2011). *Evaluación de riesgos a la salud humana y vegetal debido a la presencia atmosférica de contaminantes MP₁₀, MP_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ y elementos traza en la cuenca del Aconcagua, Chile*. Tesis para optar al grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. 140p.
- Collazo, A. (2011). *Análisis de la contaminación transfronteriza y local de contaminantes gaseosos precursores de la depositación ácida húmeda y formación de ozono en Cuba*. Tesis en opción al grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Cuesta, O. (1995). *Caracterización de las concentraciones de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico en Cuba y su relación con los Tipos de Situaciones Sinópticas*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Cuesta, O., Collazo, A., González, Y., Fonseca, M., Carla, A., Rodríguez, Y. (2014). *Caracterización de la dispersión de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos emitidos por las principales fuentes fijas y su impacto potencial en La Habana*. La Habana: Instituto de Meteorología; 2014.
- Cuesta, O., Sosa, C., Iraola, C., González, Y., Núñez, V., Fonte, A. (2017). *Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas*. Rev. Cubana de Meteorología [Internet]. 2017 [citado 6 Mar 2019]; 23(2): [aprox. 3 p.]. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/238>.

- García, M., Ulloa, H., Ramírez, H., Fuentes, M., Arias, S., Espinosa, M. (2014). *Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México*. Revista Iberoamericana de Ciencias. ISSN 2334-2501. Jalisco, México.
- Jayamurugan, R., Kumaravel, B., Palanivelraja, S., Chockalingam, M. P. (2013). *Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area*. En, International Journal of Atmospheric Sciences, Article ID 264046.
- Lavado, A. L. (2012). *Las Condes como punto focal de la contaminación estival por ozono en la ciudad de Santiago*. Tesis para optar al Grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- López, C. (2006). *Composición química y contaminación de la atmósfera*. En, *Introducción a la gestión de la calidad del aire*. (pp.4 - 17). La Habana: Instituto de Meteorología.
- López, R., Bolufé, J., Sosa, C., García, E., Manso, R., Cuesta, O. (2015). *Contribución a la gestión de la calidad del aire en Cuba: Gases contaminantes y Componentes químicos de la lluvia y su relación con las fuentes de emisión y condiciones meteorológicas*. Informe de Resultado. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Ramírez, J. (1989). *Estudio de las variaciones en las concentraciones de ozono troposférico en Cuba y su vinculación con algunos fenómenos meteorológicos*. Tesis de Doctorado en Ciencias Geográficas, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba, 100p.
- Seinfeld, J. H. y Pandis, S. N. (2006). *Wet deposition in Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change: from air pollution to climate change*. (pp. 932 - 979). Editorial John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey. Segunda edición.
- Siegel, S. y Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. 2nd Edition. Nueva York: Mc Graw - Hill Book Company.
- Wayne, D. (1991). *Estadísticas no paramétricas y de libre distribución*. En, *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. (pp.503 - 557). México, D.F.: Ed. Simusa.