

Material particulado en dos localidades de La Habana

Particulate matter in two locations in Havana



<https://cu-id.com/2377/v30n4e10>

 Rosemary López Lee¹,  Arnaldo Evaristo Collazo Aranda^{1*},  Osvaldo Cuesta Santos¹

¹Instituto Superior de Ciencias Aplicadas, INSTEC, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Las ciudades y zonas industriales pueden registrar niveles de calidad del aire inadecuados con efectos negativos sobre la salud humana y los ecosistemas. En Cuba uno de los contaminantes que con mayor frecuencia supera las concentraciones máximas admisibles establecidas es el Material Particulado. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue analizar la variación espacial y temporal del material particulado 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. En San Miguel del Padrón siempre se observaron concentraciones de material particulado superiores con respecto al Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas por las características propias de cada estación. El PM_{10} y $PM_{2.5}$ alcanzaron sus valores promedios máximos en horas de la mañana. El $PM_{2.5}$ fue el contaminante que con frecuencia mayor incumplió la norma para 1 hora y el PM_{10} fue el contaminante que con frecuencia mayor incumplió para 24 horas.

Palabras clave: contaminación atmosférica, material particulado.

ABSTRACT: Cities and industrial areas can experience inadequate air quality levels with negative effects on human health and ecosystems. In Cuba, one of the pollutants that most frequently exceeds the established maximum admissible concentrations is Particulate Matter. For this reason, the objective of this research was to analyze the spatial and temporal variation of particulate matter in two locations in Havana from November 2015 to October 2016. Hourly concentration data from two Automatic Atmospheric Monitoring Stations were used. 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 San Miguel del Padrón, higher concentrations of particulate matter were always observed with respect to the Higher Institute of Technologies and Applied Sciences due to the characteristics of each station. PM_{10} and $PM_{2.5}$ reached their maximum average values in the morning hours. $PM_{2.5}$ was the pollutant that most frequently breached the standard for 1 hour and PM_{10} was the pollutant that most frequently breached the standard for 24 hours.

Key words: atmospheric pollution, particulate matter.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial, el constante crecimiento de las zonas urbanas y los errores de planificación en las infraestructuras de las ciudades, han conllevado a uno de los problemas más serios que enfrenta la humanidad: la contaminación atmosférica en localidades urbanas. Debido a esta situación, las ciudades y zonas industriales pueden registrar niveles de calidad del aire inadecuados (Cuesta *et al.*, 2017).

Los aerosoles atmosféricos se definen como dispersiones de sustancias sólidas o líquidas en el aire. Las propiedades más afectan a los procesos de contaminación atmosférica son el tamaño de sus partículas, la forma, y la composición (López, 2006). Se definen como partículas finas o pequeñas a aquellas que tienen un diámetro menor a $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$). Las partículas más grandes que pueden penetrar el tracto respiratorio suelen tener un diámetro menor de $10 \mu m$ (PM_{10}).

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

Recibido: 17/03/2024

Aceptado: 23/04/2024

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

Contribución de los autores: Todos los autores contribuyeron al estudio y aprobaron la versión final.

Conceptualización y supervisión: Rosemary López Lee. **Procesamiento de datos:** Arnaldo E. Collazo Aranda.

Investigación: Rosemary López Lee, Arnaldo E. Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos. **Metodología:** Osvaldo Cuesta Santos. **Redacción y edición:** Rosemary López Lee.

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/)

El tiempo de residencia de las partículas en la atmósfera depende de su tamaño. Las $PM_{2.5}$ pueden tener tiempos de residencia de días o incluso semanas, y podrían ser transportadas a miles de kilómetros. Las PM_{10} tienen un tiempo de residencia de minutos a horas y pueden ser transportadas a unos pocos centenares de kilómetros (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 se aleja de los alarmantes niveles de contaminación atmosférica que existen en otros países. Aun así, existen sitios donde se manifiestan indicadores de calidad del aire desfavorables. 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 provoca que en diversas ocasiones se superen las concentraciones máximas admisibles de los contaminantes, destacando el material particulado (Collazo, 2011; Vidal, 2017; Cuesta *et al.*, 2014, 2017; Martínez, 2022).

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, el objetivo de la presente investigación es analizar la variación espacial y temporal del material particulado con diámetro inferior a $2.5 \mu m$ y $10 \mu m$ ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en dos localidades de La Habana durante el periodo de noviembre de 2015 hasta octubre de 2016.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se utilizaron datos horarios de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ 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. El periodo de muestreo abarcó desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016. Los datos de las ubicaciones geográficas se muestran en la [tabla 1](#).

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.

Prueba no paramétrica U de Mann - Whitney

Con el objetivo de determinar si los valores de inmisión fueron estadísticamente diferentes entre el periodo 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.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las EAMA

Estación	Tipo	Topografía local	Latitud (° N)	Longitud (° W)
InSTEC	Urbana de exposición de fondo	Llano	23°07'55.2"	82°22'53.1"
SMP	Urbana de exposición al tráfico	Llano	23°04'31.8"	82°19'23.8"

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación espacial y temporal del material particulado

El ciclo diario de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se muestra en la figura 1. Las concentraciones horarias promedio más elevadas ocurrieron en la estación de SMP, lo que pudo ser resultado de las emisiones asociadas al flujo vehicular y algunas fuentes industriales ubicadas en la región inmediata circundante (Bolufé *et al.*, 2016). Además, pudo haber contribuido el polvo levantado por el viento desde la superficie, ya que a diferencia del InSTEC, esta estación no cuenta con vegetación alrededor.

El horario de máximas correspondió a los intervalos de 9:00 a.m. a 12:00 p.m. y de 8:00 p.m. a 11:00 p.m. Lo que está relacionado con la circulación de los autos. El segundo pudiera, además, ser producto de algún proceso acumulativo favorecido por las condiciones de velocidades del viento cercanas a la calma que ocurren durante la noche (Bolufé *et al.*, 2016).

Se alcanzaron valores extremos de PM_{10} en ambas estaciones que superaron la CMA en 1 hora ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el InSTEC se presentaron 3 casos con valores entre $496,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $520,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en SMP ocurrieron 5, con valores en el rango de $212,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $246,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta última, también se superó la CMA en 1 hora para el $PM_{2.5}$ ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con valores desde $107,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $168,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (13 veces). Las pruebas no paramétricas H de Kruskal - Wallis y de Dunn evidenciaron diferencias estadísticas significativas en los valores de inmisión de PM_{10} y $PM_{2.5}$ entre las horas del día.

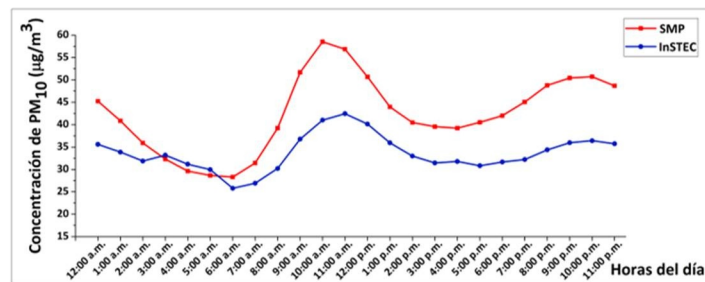
Las concentraciones promedio diarias durante la semana para el PM_{10} y $PM_{2.5}$ se muestran en la figura 2. Las menores concentraciones se observaron el domingo. Las pruebas H de Kruskal - Wallis y de Dunn mostraron diferencias estadísticas significativas entre el domingo y el resto de los días de la semana. Al igual que para el SO_2 y NO_2 esto se debe a las fuentes antropogénicas.

En ambas estaciones se superó la CMA en 24 horas de estos contaminantes. Para el PM_{10} se presentaron 8 casos en la estación del InSTEC, mientras que en SMP, fue superior a esta cantidad (29 casos) con valores entre $52,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $119,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual manera, para el $PM_{2.5}$ la CMA en 24 horas ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue superada en el InSTEC en 6 ocasiones y en SMP un total de 21 veces (desde $27,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $72,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

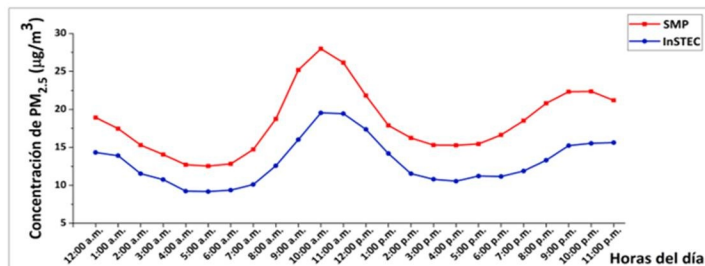
La figura 3 muestra la concentración promedio mensual de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para los meses de noviembre 2015 a marzo 2016 en el InSTEC y en SMP de noviembre 2015 a abril 2016 y de octubre 2016. No se pudo determinar diferencias entre los meses del año producto de la falta de datos. Solo fue representativo que el valor medio mensual de marzo superó la CMA en 24 horas para el PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en SMP.

CONCLUSIONES

En San Miguel del Padrón siempre se observaron concentraciones de material particulado superiores con respecto al Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas por las características propias de cada estación. El PM_{10} y $PM_{2.5}$ alcanzaron sus valores promedios máximos en horas de la mañana. Durante los meses del período poco lluvioso se observaron incrementos en las inmisiones del contaminante.

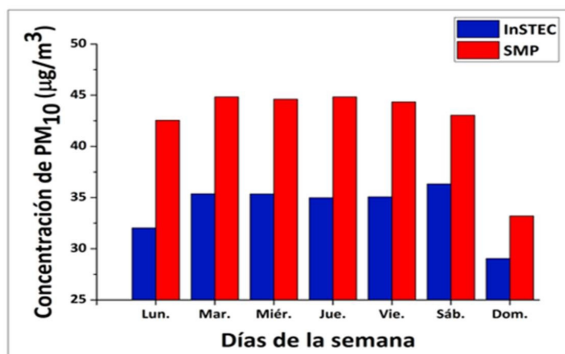


(a)

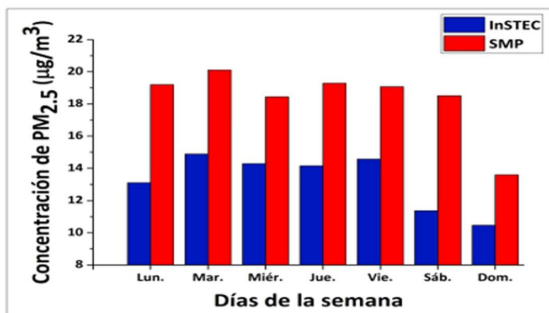


(b)

Figura 1. Concentraciones promedio horarias de (a) PM_{10} y (b) $PM_{2.5}$ en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

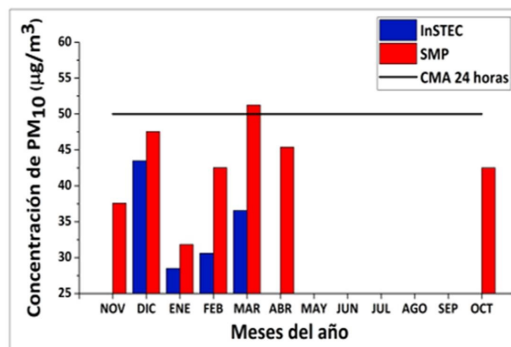


(a)

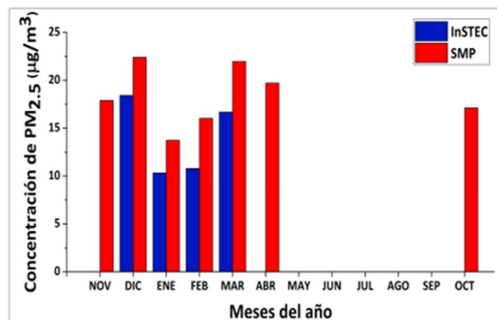


(b)

Figura 2. Concentraciones promedio diarias de (a) PM₁₀ y (b) PM_{2.5} en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)



(a)



(b)

Figura 3. Concentraciones promedio mensuales de (a) PM₁₀ y (b) PM_{2.5} en las EAMA (noviembre de 2015 -octubre de 2016)

En ambas estaciones se observaron casos que superaban las concentraciones máximas admisibles de la NC 1020: 2014. El PM_{2.5} fue el contaminante que con frecuencia mayor incumplió la norma para 1 hora y el PM₁₀ fue el contaminante que con frecuencia mayor incumplió para 24 horas.

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.
- 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 Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- 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>.
- 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.

- Martínez, R. (2022). Evaluación del impacto del ozono troposférico en el cultivo de la papa y en las enfermedades respiratorias crónicas en San José de las Lajas bajo influencia de condiciones meteorológicas tipos. Tesis presentada en opción al título de Licenciatura en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana.
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba, (2014). Norma Cubana 1020: 2014. Calidad del aire - Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. La Habana: ONN; 2014.
- Siegel, S. y Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. 2nd Edition. Nueva York: Mc Graw – Hill Book Company.
- Vidal, I. (2017) Influencia de condiciones meteorológicas en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. Tesis en opción al título de Licenciado en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana. Cuba.
- 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.

Dra. Rosemary López Lee. Universidad de la La Habana, Instituto superior de ciencias aplicadas, 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.