

# Medición de partículas atmosféricas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas utilizando sensores pasivos

Carlos Manuel García Lara<sup>1,2</sup>, Cristina Lagunés Quevedo<sup>1</sup>  
David Bermúdez Pérez<sup>1</sup>, Pedro Vera Toledo<sup>1,2</sup>, Hugo Alejandro Nájera Aguilar<sup>1,2</sup>,  
Raúl González Herrera<sup>1,2</sup>, Rubén Alejandro Vázquez Sánchez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería, Libramiento Norte Poniente 1150, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C. P. 29039, e-mail: carlos.garcia@unicach.mx | <sup>2</sup> Cuerpo Académico Estudios Ambientales y Riesgos Naturales

## RESUMEN

La contaminación atmosférica en las ciudades es un problema grave que ha ido creciendo. El estudio de la evolución espacial y temporal de la concentración de contaminantes atmosféricos, en específico de material particulado, es necesario. En este trabajo se presenta un estudio realizado desde septiembre de 2014 hasta marzo de 2015 en periodos de 30 días, recolectando un total de 162 muestras utilizando la técnica de muestreo pasivo y el análisis de peso constante. Se encontró que para partículas suspendidas totales, en siete lugares seleccionados se excedió la norma NOM-025-SSA1-1993, para el caso de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , en las instalaciones de Ciudad Universitaria de la UNICACH y en la zona centro poniente, se presentaron cantidades superiores a lo estipulado en la norma, no se encontró relación directa con las condiciones ambientales.

**Palabras clave:** calidad del aire, contaminación atmosférica, material particulado

## ABSTRACT

A serious problem that has been growing in cities is the air pollution. The study of the spatial and temporal evolution of the air pollutant concentrations, including particulate matter, is necessary. In this paper is presented a study since September 2014 to March 2015 in periods of 30 days, collecting a total of 162 samples using the technique of passive sampling and constant weight analysis. It was found that for total suspended particulates in seven selected locations, the NOM-025-SSA1-1993 was exceeded, for  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  particles, inside of the UNICACH facilities and in the central west zone, higher amounts than stipulated in the standard were presented, any relation to environmental conditions was founded.

**Key words:** air quality, air pollution, particulate matter

## INTRODUCCIÓN

Las partículas atmosféricas son una mezcla compleja de compuestos con carbón, amonio, nitratos, sulfatos, residuos minerales, elementos traza y agua. Los cuales pueden ser de origen natural como polvo volcánico y tolvaneras o antropogénico que incluyen fábricas, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible, áreas sujetas a erosión y motores de combustión (Wadden, 1987; Manoli *et al.*, 2004) y pueden ser emitidos directamente a la atmósfera o formados en ésta a partir de precursores gaseosos.

El estudio de concentraciones de partículas, tamaño y composición química en sitios con presencia de éstos es esencial para conocer las fuentes de generación de aerosoles y los procesos asociados con su formación (Cheng *et al.*,

2005; Yin and Harrison, 2008). Otros problemas asociados a las partículas atmosféricas son el efecto adverso sobre la salud humana, exposiciones cortas a estas partículas ocasionan reacciones inflamatorias de los pulmones, malestares del sistema respiratorio, efectos adversos sobre el sistema cardiovascular e incremento en los servicios hospitalarios (Lippmann and Chen, 2009), reducción en la visibilidad (Watson, 2002), formación de núcleos de condensación de nubes (Seinfeld and Pandis, 2006) y acidificación de nubes, lluvia y niebla (Hong *et al.*, 2002).

El análisis de partículas se basa en el diámetro de estas, clasificándose en partículas suspendidas totales (PST) con un diámetro de hasta 100  $\mu m$ , partículas inhalables o respirables ( $PM_{10}$ ) cuyo diámetro es menor a 10  $\mu m$ , finas con diámetro menor a 2.5  $\mu m$  ( $PM_{2.5}$ ) y ultrafinas con diámetro menor a 1  $\mu m$  ( $PM_1$ ). En México se tienen diversos estudios sobre partículas suspendidas

(Díaz-Ramírez *et al.*, 1999; Chow *et al.*, 2002; Arreola-Contreras, 1999; Pérez-Vidal *et al.*, 2010).

Existen diferentes técnicas para la obtención y medición de partículas como son (Martínez & Romieu, 1997):

- Muestreo pasivo el cual es de muy bajo costo, simple y útil para cribado y estudio de base, pero únicamente proporcionan promedios de concentración y requiere de análisis de laboratorio.
- Muestreo reactivo es de bajo costo, requiere de materiales químicos y cuidados en su manejo.
- Monitores automáticos son de alto desempeño, requiere de personal calificado y es de alto costo periódico de operación.
- Sensores remotos son de alta resolución, medición de multicomponente, muy complejos y costosos, difíciles de operar, calibrar y validar, y
- Bioindicadores son baratos, determinan la presencia de algunos contaminantes, poseen problemas de estandarización, en casos requiere de análisis de laboratorio.

En este trabajo se hace un análisis sobre la concentración de partículas presentes en la atmósfera de Tuxtla Gutiérrez utilizando la técnica de muestreo pasivo.

## METODOLOGÍA

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas cuenta con una extensión de 412.4 Km<sup>2</sup>, se localiza a los 16° 45' 11" de latitud Norte y 93° 6' 56" de longitud Oeste. Presenta un clima cálido subhúmedo con lluvia en el verano. Los parámetros meteorológicos dirección e intensidad del viento, humedad relativa, temperatura y precipitación pluvial se monitorearon de manera continua en una estación climatológica marca Davis, la estación está ubicada en el edificio de Ingeniería Ambiental en Ciudad Universitaria de la UNICACH.

Para el análisis gravimétrico de las partículas, se emplearon filtros con una abertura de poro de 20 y 8 mm, denominado de poro grueso y mediano, respectivamente, los cuales fueron acondicionados antes y después del muestreo a una temperatura de 60°C durante 5 minutos para determinar la ganancia neta de masa. Los filtros fueron acondicionados en forma circular con diámetro de 4.6 cm y ubicados dentro de un contenedor de PVC de 5.08 cm de diámetro y 40 cm de altura. Los filtros fueron separados a una distancia de 3 cm de tal forma que actuaron como un sistema de cribado, en la parte inferior se colocó acetato para captar las partículas menores a 8 mm y en la superior se colocó una malla que limitó el acceso de insectos o material voluminoso como hojas.

El monitoreo se realizó en periodos de 30 días en cuatro tiempos, siendo estos del 26 de septiembre al 26 de octubre, del 5 de noviembre al 5 de diciembre de 2014, del 13 de enero al 13 de febrero y del 20 de febrero al 20 de marzo de 2015. Cada unidad se colocó a una altura superior a 2 m para evitar la contaminación proveniente del suelo (Moreno *et al.*, 2008). Las muestras colectadas fueron almacenadas en bolsas selladas para su posterior estudio. El contenido de partículas sedimentadas se obtuvo por diferencia de peso entre el filtro con y sin muestra.

## RESULTADOS

Para determinar los puntos de muestreo en la ciudad, se utilizó información histórica sobre la dirección del viento en la zona urbana y se colocaron inicialmente 40 filtros ubicados en diferentes sitios dentro de la ciudad, a partir de este análisis se utilizaron los diez puntos con mayor captación de partículas. En la figura 1, se presenta la dirección de los vientos predominantes en la zona, así como la ubicación espacial de los filtros.

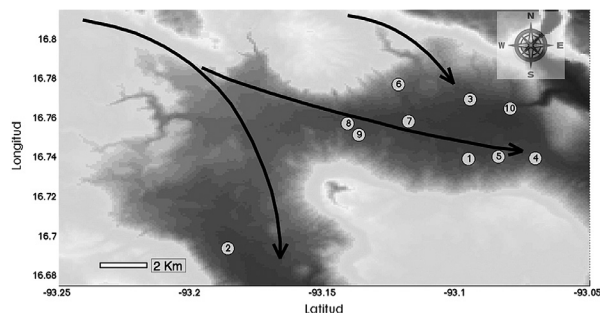


FIGURA 1

Ubicación espacial de los puntos de muestreo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Los diez puntos con mayor concentración de partículas se presentan en la figura 1, resaltando en color amarillo aquellos en donde se encontró mayor cantidad de partículas superiores a 10 µm (PM<sub>10</sub>), la descripción de los sitios es: 1 corresponde a la colonia Santa Ana, el 2 a las instalaciones de la UNACH ubicadas en el ejido Zapata, el 3 corresponde a la colonia 24 de Junio, el 4 a la colonia La Misión, el 5 a la Prolongación del Libramiento sur con la 9ª Sur, el punto 6 son las instalaciones de Ciudad Universitaria de la UNICACH, el 7 está ubicado en la 5ª Norte entre 4ª y 5ª Poniente, el 8 se encuentra en la Unidad Deportiva Parque Caña Hueca, el 9 a la colonia Penipak y por último, el 10 corresponde a la colonia Paso Limón ubicada en la zona norte oriente de la ciudad.

Es importante considerar los vientos predominantes en el sitio de interés debido al arrastre de partículas y a la concentración encontrada; además de las actividades antropogénicas que se realizan en los periodos de muestreo. En la figura 2, se presenta la rosa de vientos durante los cuatro periodos realizados, los cuales fueron obtenidos con la estación climatológica descrita en la metodología, observándose primordialmente vientos dominantes en la dirección sur-este, lo cual concuerda con los datos históricos previamente analizados.

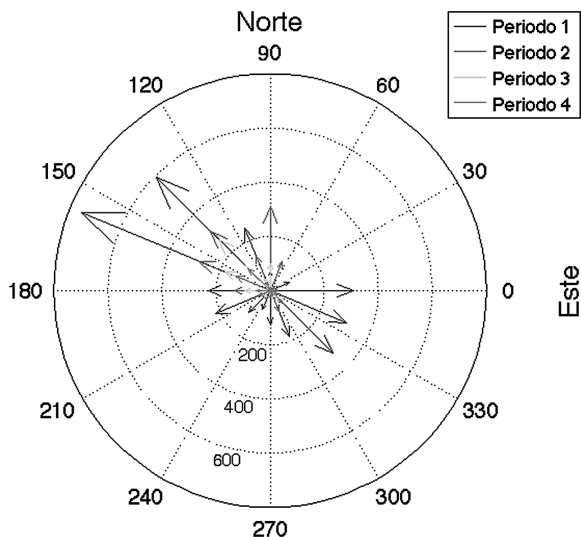


FIGURA 2

Dirección del viento en los cuatro periodos de muestreo realizados.

Cabe señalar que la diferencia en la magnitud y frecuencia del viento se debe a las fechas en las cuales se realizó la recopilación de muestras, siendo el primer periodo en el cual se presentó la mayor frecuencia de éstos.

En la Figura 3, se presentan los resultados obtenidos con partículas superiores a 20 mm, aquí se observa que el primer periodo de muestreo presentó mayor número de partículas atrapadas lo cual puede explicarse debido a que en este periodo, cercano al punto de muestreo, se llevaban a cabo diferentes obras de construcción de avenidas, lo cual generó un gran número de vehículos emitiendo contaminantes como polvo y los propios de este tipo de vehículos automotores.

Estas fuentes de emisión son determinantes debido a la alta velocidad de sedimentación de partículas mayores a 20 mm y a que por su tamaño son partículas primarias de origen natural. En lo que respecta a la salud, el

sistema respiratorio cuenta con diversos mecanismos que permiten expulsar estas partículas de manera natural, razón por la cual no son de consideración, sin embargo, se debe establecer mecanismos de prevención cuando éstos rebasen valores límite, establecidos en las normatividad.

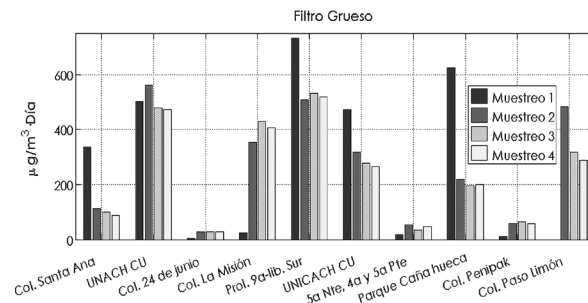


FIGURA 3

Concentración de partículas retenidas en el filtro grueso.

Las normas que regulan las concentraciones de partículas suspendidas en el aire, como medida de protección a la salud de la población de México, corresponden a la NOM-035-ECOL-1993 en donde se establecen los métodos de medición. La NOM-024-SSA1 define los criterios de evaluación. La NOM-025-SSA1-1993 de salud ambiental, establece los criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de las partículas, para el caso de partículas suspendidas totales (PST) establece un valor límite diario de 210 µg/m<sup>3</sup>, el cual fue superado en siete de los diez puntos analizados, lo cual, no obstante la escasa actividad industrial en la zona, se debió a la densidad de vehículos automotores observados en los periodos de muestreo, lo cual ocasionó dispersión de partículas de polvo cercanos a la zona de muestreo, debido al movimiento por zonas con residuos de construcción.

En la figura 4, se presentan los datos obtenidos con partículas superiores a 8 mm pero menores a 20 mm, las cuales entre otras, pueden provenir de materiales como cemento o polen, en la UNICACH se presentó el mayor número de partículas atrapadas de estas dimensiones, lo cual puede explicarse por la vecindad que se tiene con una planta extractora de cal, que en su proceso de extracción y procesamiento puede liberar este tamaño de partículas, además de que en la parte norte de la UNICACH se encuentran conjuntos habitacionales en desarrollo y terrenos baldíos, los cuales en conjunto podrían emitir estas partículas.

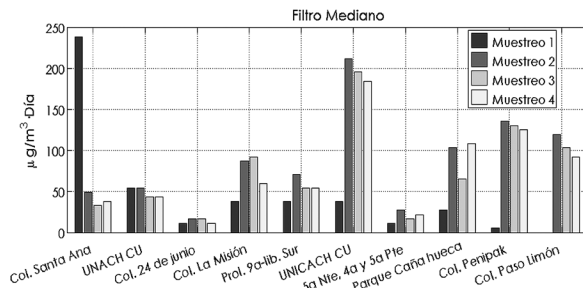


FIGURA 4

Concentración de partículas retenidas en el filtro mediano.

Para el caso de partículas superiores a 10 mm ( $PM_{10}$ ), la norma establece un valor límite diario de 120 mg/m<sup>3</sup>, el cual fue superado de manera constante en la UNICACH y Penipak, este último se encuentra en la zona noroeste de la ciudad, nuevamente estos valores se consideran altamente influidos por las actividades de construcción de vías efectuadas en los periodos de muestreo. Para estas partículas se debe contar con protección del sistema respiratorio debido a que pueden adherirse a la membrana mucosa y eliminarse por la parte baja del tracto respiratorio.

Los factores a considerar en los dos primeros periodos de monitoreo son la lluvia y el viento que para el primer caso limita la dispersión y para el segundo permite la dispersión de contaminantes no se observa este proceso en el segundo y tercer muestreo en la UNICACH, en donde se alcanzó un valor máximo de 211 y de 195 mg/m<sup>3</sup>·día, respectivamente, para el último periodo de monitoreo se determinó una concentración de 184 mg/m<sup>3</sup>·día, lo cual se atribuye a un fenómeno estacionario que sucede en la atmosfera de la ciudad, en donde las emisiones ocasionadas por la quema de pastizales se concentran en ésta.

En la figura 5, se presentan los resultados obtenidos con partículas menores a 8 mm, las cuales se presentan en forma de aerosoles, nuevamente en la UNICACH, y en Penipak aparecieron los mayores índices de partículas atrapadas de estas dimensiones, lo cual sucede debido a la gran carga vehicular en las fechas de evaluación, generando emisiones vehiculares por arriba de las condiciones normales.

Para partículas menores a 2.5 mm ( $PM_{2.5}$ ), la norma establece un valor límite diario de 65 mg/m<sup>3</sup>, el cual fue superado en todas las mediciones realizadas en estos dos puntos. Para estas partículas se debe tener especial cuidado en la protección del sistema respiratorio debido a que penetran fácilmente a los pulmones, por lo que se

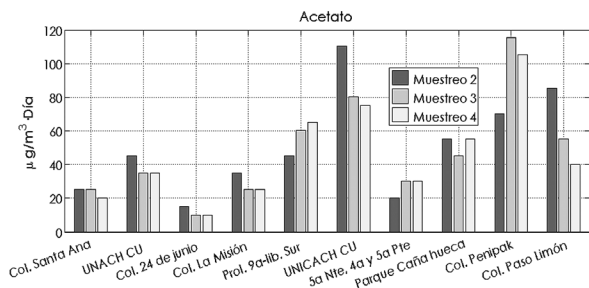


FIGURA 5

Concentración de partículas retenidas en el acetato.

del orden de 0.1 mm, las cuales tienen mayor capacidad de ingreso al sistema respiratorio (deposición alveolar), incluso pueden infiltrarse al torrente sanguíneo. Cabe señalar que no se encontró una relación directa entre las condiciones ambientales y la dispersión de partículas finas, lo anterior se explica por los vórtices que pueden formarse en zonas puntuales dentro de la ciudad, permitiendo la concentración temporal de los contaminantes en estas regiones.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron datos del monitoreo atmosférico realizado en temporada de lluvia y de sequía, observando que en la primera debido al arrastre de las partículas por las gotas de agua se tuvo mayor concentración de partículas suspendidas, mientras que en la temporada de sequía se registro en promedio mayor cantidad de partículas menores a 10mm y 2.5 mm, lo cual se debe a la falta de vientos que ayuden a la dispersión de estos fuera de la ciudad. Los resultados muestran que en la UNICACH existe una alta concentración de partículas menores a 20 mm. Se determinó que las condiciones atmosféricas no influyeron significativamente en estos sitios debido a que la dispersión de contaminantes no fue evidenciada.

Se determinaron valores máximos en este punto de 472 mg/m<sup>3</sup>·día, para partículas superiores a 20 mm, de 211 mg/m<sup>3</sup>·día, para partículas superiores a 8 mm y de 110 mg/m<sup>3</sup>·día, para partículas menores a 8 mm, lo anterior refleja la necesidad de establecer sistemas de monitoreo constantes que permitan determinar con precisión la sedimentación que existe de estas partículas en la UNICACH y en otros puntos de interés en la ciudad, la correlación que existe de estos con las condiciones meteorológicas presentes, así como los mecanismos de control para reducir o evitar esta sedimentación.

## AGRADECIMIENTOS

A la SEMAVIHN por su apoyo en la realización de esta investigación, facilitando información de contaminantes por partículas suspendidas de la zona de estudio.

---

## LITERATURA CITADA

- ARREOLA-CONTRERAS, J.L., G. GONZÁLEZ, 1999. Análisis espectral del viento y partículas menores de 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) en el área metropolitana de Monterrey, México, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 15(2), 95-102.
- CHENG, M.T., Y. C. LIN, C. P. CHIO, C. F. WANG, C. Y. KUO, 2005. Characteristics of aerosols collected in central Taiwan during Asian dust event in spring 2000, *Chemosphere*, 61, 1439-1450.
- CHOW, J.C., J. G. WATSON, S. A. EDGERTON, E. VEGA, 2002. Chemical composition of  $PM_{10}$  in Mexico City during winter 1997, *Sci. Total Environ.*, 287(3), 177-201.
- DÍAZ-RAMIREZ, P., I. GARCÍA-SOSA, J. L. ITURBE-GARCÍA, F. GRANADOS-CORREA, J. C. SÁNCHEZ-MEZA, 1999. Air pollution in the atmosphere of the Toluca Valley, Mexico, *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 15(1), 13-17.
- HERRERA MURILLO, J., A. CAMPOS RAMOS, F. ÁNGELES GARCÍA, S. BLANCO JIMÉNEZ, B. CÁRDENAS, A. MIZOHATA, 2012. Chemical composition of  $PM_{2.5}$  particles in Salamanca, Guanajuato Mexico: Source apportionment with receptor models, *Atmospheric Research*, 107, 31-41.
- HONG, Y.M., B. K. LEE, K. J. PARK, M. H. KANG, Y. R. JUNG, D. S. LEE, M. G. KIM, 2002. Atmospheric nitrogen and sulfur containing compounds for three sites of South Korea, *Atmos. Environ.*, 36, 3485-3494.
- MANOLI, E., A. KOURAS, C. SAMARA, 2004. Profile analysis of ambient and source emitted particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from three sites in northern Greece. *Chemosphere*, 56, 867-878.
- MARTÍNEZ, A.P., I. ROMIEU, 1997. Introducción al monitoreo atmosférico, ECO. Metepec, 262.
- MORENO G., E. MARTÍNEZ CARRETERO, A. M. FAGGI, B. VENTO, 2008. Sedimentación atmosférica seca en hojas de *Morus alba* L. en la ciudad de San Juan, *Argentina, Interciencia*, Vol. 33, No 11, 844-849.
- PÉREZ-VIDAL, H., M. A. LUNAGÓMEZ-ROCHA, L. I. ACOSTA-PÉREZ, 2010. Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable ( $PM_{10}$ ), en Cunduacán, Tabasco, *Universidad y Ciencia*, 26(2), 151-162.
- SEINFELD, J., S. N. PANDIS, 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, Wiley, New York, 1232.
- WADDEN, A.R., 1987. *Contaminación del aire en interiores*, editorial Limusa, México D.F., 67.
- WATSON, J.G., 2002. *Visibility: science and regulation*, *J. Air Waste Manage*, 52, 628-713.
- YIN, J., R. M. HARRISON, 2008. Pragmatic mass closure study for  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  at roadside, urban background and rural sites, *Atmos. Environ.*, 42, 980-988.

