

Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México

A comparative study of the influence of wooded urban zones in the air quality of Ciudad Juarez, Chihuahua, México

CLAUDIA ELIZABETH BACA-SANTINI¹, FELIPE ADRIÁN VÁZQUEZ-GÁLVEZ^{1,2}

Recibido: Octubre 13, 2015

Aceptado: Diciembre 8, 2015

Resumen

Desde 1997, en Ciudad Juárez, Chihuahua, se han incrementado los esfuerzos por reducir los niveles de contaminantes presentes en el aire y que están relacionados con procesos inflamatorios en el sistema respiratorio y cardiovascular. La presencia de árboles en zonas urbanas ha demostrado ser una herramienta para la remoción de contaminantes, como material particulado (PM), de la atmósfera local. En este estudio, se realizó una medición simultánea de cinco fracciones correspondientes a los diámetros aerodinámicos de 1.0 μm , 2.5 μm , 4 μm , 10 μm y totales (PM1, PM2.5, PM4, PM10 y PMTot) en dos sitios (uno arbolado y otro no) durante el mes de noviembre de 2014 para estudiar el efecto de la vegetación en la disminución de concentraciones de las diferentes fracciones de PM. Los sitios de estudio se ubicaron aproximadamente en la misma zona de la ciudad, por lo que los efectos de la dispersión por orografía o estructuras urbanas se minimizan. Los valores más altos de concentración de partículas en todas las fracciones se observaron en el punto menos arbolado. Sin embargo, se observó una diferencia significativa en la reducción de las fracciones más grandes ($>10 \mu\text{m}$). El estudio muestra la importancia de la infraestructura verde en las zonas urbanas de climas semiáridos para mitigar la exposición a $\text{PM}>10 \mu\text{m}$ y justifica el financiamiento de incorporar vegetación para reducir la concentración de partículas finas.

Palabras clave: calidad de aire, material particulado, salud pública, zonas arboladas.

Abstract

Since 1997, Ciudad Juarez, Chihuahua, has increased its efforts to reduce levels of air pollutants associated with respiratory and cardiovascular inflammatory processes. The presence of trees in urban areas has proven to be a tool for the removal of contaminants, such as particulate matter (PM), from the local atmosphere. A study was conducted during November 2014 to measure simultaneously five aerodynamic diameters corresponding to 1.0 μm , 2.5 μm , 4 μm , 10 μm and total (PM1, PM2.5, PM4, PM10 and PMTot) at two different sites (one wooded and other not), in order to study the effect vegetation has on the concentrations of the different fractions of particulate matter. The study sites were located approximately in the same area of the city in order to minimize the effects of dispersion by terrain or urban structures. Higher values of particle concentration in all fractions were observed in the least wooded place; however, a significant difference in the removal of the largest fractions ($>10 \mu\text{m}$) was observed. The study shows the importance of green infrastructure into the urban areas of semiarid climates to mitigate exposure to $\text{PM}>10 \mu\text{m}$ and justifies financing the incorporation of vegetation into urban areas to reduce the concentration of fine particles.

Keywords: air quality, particulate matter, public health, wooded zones.

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro núm. 450 Nte., Ciudad Juárez, Chih., México, 32310. Tel. (656) 688-4847.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: fvazquez@uacj.mx.

Introducción

Recientemente se ha reconocido la importancia de la vegetación urbana como un elemento esencial de la calidad de vida por los efectos estéticos y ambientales. Varios estudios muestran evidencia de que la vegetación urbana influye directa e indirectamente en la calidad del aire por el proceso de fotosíntesis que consume bióxido de carbono, emitiendo oxígeno y produciendo agua (Nowak *et al.*, 1998., Nowak *et al.*, 2006).

Adicionalmente, la vegetación arbórea puede remover cantidades significativas de contaminantes antropogénicos, mejorando la calidad del medio ambiente y la de la salud humana. Los árboles disminuyen la temperatura del aire por medio de la transpiración de agua a través de sus hojas, bloquean la radiación solar (sombra), reducen la absorción y el almacenamiento de calor en las estructuras urbanas como calles y edificios, y alteran las características del viento, factor primordial que influye en la dispersión de los contaminantes (Nokaw *et al.*, 1998; Nowak *et al.*, 2006) y en los procesos de «isla de calor urbana» (Crutzen 2004; Garcia-Cueto *et al.*, 2007; Steward y Oke, 2010). Se estima que una hectárea de árboles atrapa más de 500 kg de contaminantes, incluyendo más de 100 kg de ozono (O₃) y partículas (Mexal *et al.*, 2013).

La remoción de contaminantes en el aire se lleva a cabo principalmente por tres mecanismos: por deposición húmeda donde la intervención de la lluvia ayuda a precipitar o lavar los contaminantes; a través de reacciones químicas en fase gaseosa y, finalmente, por deposición seca al ser retenidos en diferentes superficies, incluyendo los árboles. En esta última, los contaminantes pueden ser retenidos en la vegetación por sedimentación por efecto de la gravedad y colisiones con ayuda de corrientes de aire (Nowak *et al.*, 1994).

A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud ha estimado que más de un millón de muertes prematuras al año son atribuibles a la contaminación atmosférica (Yang *et al.*, 2008; Amorim *et al.*, 2013). Algunos estudios estiman que los efectos de la contaminación urbana del

aire en la salud continuarán empeorando, y la contaminación atmosférica podría convertirse en el año 2050 en la principal causa ambiental de mortalidad prematura. El número de muertes prematuras relacionadas con la exposición a partículas PM₁₀ y PM_{2.5} aumentará de poco más de un millón en el mundo en el año 2000 a cerca de 3.5 millones en 2050 (OCDE, 2015).

Estudios epidemiológicos han demostrado que la contaminación atmosférica se relaciona con diversos problemas de salud, y que la exposición está asociada a malestares en la salud humana que van desde irritaciones oculares menores hasta síntomas respiratorios de mayor consideración a corto plazo, y trastornos respiratorios crónicos como asma, padecimientos cardiovasculares y cáncer de pulmón a largo plazo. Los niños y los ancianos son particularmente vulnerables (Hernández *et al.*, 2000; Rosales *et al.*, 2001; Cortez *et al.*, 2004; Haar *et al.*, 2006; Lanki 2006; Pope y Dokery, 2006).

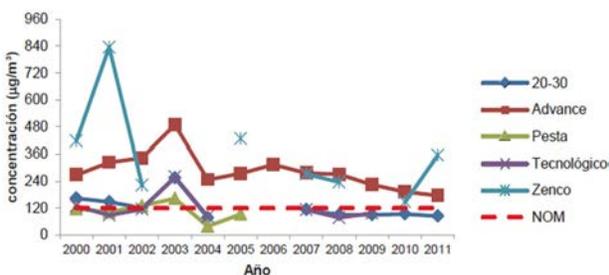
Datos estadísticos indican que durante el año de 1997 en Ciudad Juárez, se emitieron a la atmósfera 662 mil toneladas de contaminantes, de los cuales, el 72% correspondía a monóxido de carbono (CO), 10% a hidrocarburos (HC) y el 9.6% a partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) (Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, 2012).

Ciudad Juárez se localiza en el norte del estado de Chihuahua, a los 31° 44' de latitud norte, y 106° 26' de longitud oeste. La ciudad cuenta con una extensión territorial de 3,561 km² y una población estimada de 1,351,302

habitantes (Plan Estratégico de Juárez, A.C., 2015). Sus principales actividades económicas radican en la manufactura (principalmente maquiladora), el comercio y servicios (Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, 2012).

El programa PROAIRE desarrolló un conjunto de estrategias y acciones para mitigar el efecto de los contaminantes atmosféricos en el medio ambiente y en la salud de la población. Entre las principales medidas que se han plasmado destacan la mejora de la calidad de los combustibles, el fortalecimiento de los programas de verificación vehicular, el control de emisiones de la industria ladrillera y la formación de un comité de reforestación, entre otras. Aun así, de acuerdo con los reportes de resultados del mismo PROAIRE, los niveles de varios contaminantes, entre ellos PM_{10} , siguen mostrando una tendencia sin cambio significativo y arriba del valor de referencia de la NOM-025-SSA1-1993 para la mayoría de las estaciones con series de tiempo de reporte de más de cinco años (Figura 1).

Figura 1. Comparativo anual del percentil 98 de PM_{10} por estación de medición. (Ciudad Juárez, Chih., 2000-2011).



Fuente: tomado del Informe de Evaluación del Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 2006-2012.

Un aspecto relevante en la descripción de la contaminación atmosférica es la distribución del tamaño de las partículas en los ambientes urbanos. Esta distribución está inducida por las fuentes y la composición química de las mismas (Xue *et al.*, 2014). Las fracciones más

pequeñas con diámetro aerodinámico menor a $2.5 \mu m$ (fracción fina) se asocian, en general, a fuentes móviles y quema de biomasa. La composición química de las partículas finas en las zonas desérticas con poca aportación de aire marítimo, está dominada por diferentes tipos de hidrocarburos poliaromáticos, olefinas y carbón negro (Kelly *et al.*, 2006). Las partículas con diámetro aerodinámico mayor a $10 \mu m$ (fracción gruesa), normalmente se asocian a polvos ligeros cuya presencia se agudiza con el tráfico vehicular en zonas sin pavimento. Por tal motivo, la mayoría de las zonas urbanas en el norte de México exhiben una curva bi-modal en cuanto a la distribución del tamaño de partícula y una primera caracterización del origen y la posible composición de las partículas, se puede deducir por la abundancia relativa de partículas en función de la distribución de tamaños.

Las medidas establecidas en el programa PROAIRE, si bien están enfocadas a reducir la emisión de contaminantes en los puntos de generación, no parecen haber tenido los efectos esperados en la calidad del aire en cuanto a partículas de la fracción gruesa en general (Figura 1). Adicionalmente, diferentes instancias de gobierno han lanzado programas tendientes a reducir la obesidad sobre todo en niños y jóvenes. Como consecuencia, se han generado campañas para motivar a la realización de actividad física sin considerar la calidad del aire en las áreas donde se practica deporte o se realizan actividades de recreación familiar. Una de las áreas tradicionales para la realización de actividad física en Ciudad Juárez es el parque El Chamizal, que consiste en un área arbolada de aproximadamente 124 ha, que es frecuentada sobre todo los fines de semana para la realización de actividades físicas y días de campo familiares. Es el área arbolada más importante en Ciudad Juárez, por la edad de los árboles y su extensión (una discusión completa sobre el impacto de las áreas verdes en la zona metropolitana de Ciudad Juárez se puede consultar en Romo-Aguilar, 2008).

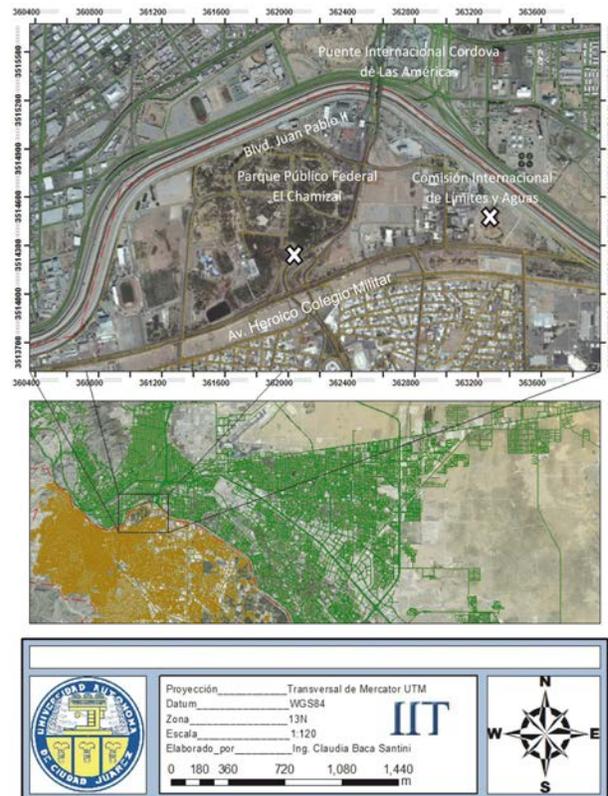
El presente estudio evalúa las concentraciones de diferentes fracciones de material particulado en áreas arboladas del parque El Chamizal en comparación con áreas contiguas sin la misma densidad de árboles y aproximadamente la misma influencia de tráfico vehicular de vehículos comerciales entre las áreas industriales del oriente de la ciudad con el cruce internacional el puente de Córdova. En otras palabras, ¿podría la vegetación representar una disminución en la exposición a partículas suspendidas de las personas que trabajan o se ejercitan en la zona? Por lo tanto, el objetivo es determinar las diferencias en concentraciones para las fracciones de partículas suspendidas medidas asociadas al efecto de la vegetación.

Materiales y métodos

Se monitorearon las concentraciones de partículas suspendidas correspondientes a cinco fracciones: PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{4} , PM_{10} y PM_{Tot} durante la época de otoño durante el mes de noviembre de 2014 en dos sitios de la zona norte de Ciudad Juárez, Chihuahua (Figura 2). Se analizaron condiciones climáticas del mes de noviembre a partir de las estadísticas de cinco años de los valores de concentración por mes del año de material particulado PM_{10} (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, 2013) para Ciudad Juárez, Chihuahua y El Paso Texas (Texas Commission of Environmental Quality, 2013). Se analizaron los datos de altura de capas de mezclado para la cuenca Paso del Norte (que comprende el municipio de Ciudad Juárez y los condados de El Paso, Texas, y Doña Ana, Nuevo México) y los valores de estabilidad atmosférica por mes. Como resultado, noviembre mostró ser el mejor mes para realizar la evaluación por la menor probabilidad de tener el efecto de deposición húmeda (por lluvias y neblinas principalmente) de las partículas, así como el acarreo de polvos de las dunas que rodean la ciudad y de dispersión de los contaminantes. El área identificada como «sitio de interés» se ubicó hacia el norte de la ciudad, en colindancia con la línea fronteriza internacional a la altura de la ciudad de El Paso, Texas. Esta zona está rodeada por dos principales vías de tráfico

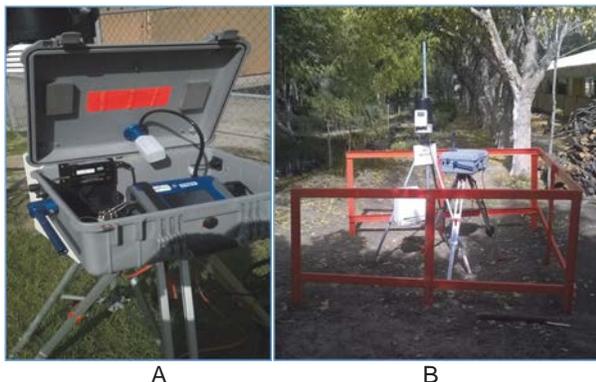
vehicular: el Boulevard Juan Pablo II («Cuatro Siglos») y la Ave. Heroico Colegio Militar. Estas avenidas, adicional a la carga de tráfico urbano, son puntos de acceso al cruce internacional «Américas», donde las emisiones de vehículos en espera han sido identificadas como importantes contribuyentes de partículas finas (Mukerjee *et al.*, 2004; Sarnat *et al.*, 2012; Olvera *et al.*, 2013). Adicionalmente, la Autopista Interestatal 10, principal vía de transporte comercial en la región, se encuentra a una distancia mínima de 1,300 m al norte, paralela a la línea fronteriza (lado americano de la frontera). Dentro de esta zona, se eligieron dos sitios para el monitoreo de PM; el que corresponde a la zona arbolada se ubicó dentro de las 124 hectáreas que ocupa la zona núcleo del parque público «El Chamizal». El otro sitio se ubicó a 2 km al oeste, en los patios de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) y que no presenta una densidad considerable de árboles en comparación con el primer sitio (Figura 2).

Figura 2. Ubicación geográfica de sitios de medición.



Para el monitoreo de material particulado, se instalaron dos equipos DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533 (Figura 3). Los instrumentos miden a través de fotómetros láser simultáneamente la concentración de cinco fracciones de masa segregadas por tamaño PM_{1} , $PM_{2.5}$, PM_{4} , PM_{10} y PM_{Tot} , durante 24 horas, con una resolución de 12 minutos. Su rango de operación es de 0.001 a $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Los equipos funcionan a partir de detectores de dispersión y conteo que elimina la necesidad de obtener muestras en filtros y obtener valores de concentración por gravimetría. Una ventaja sobre los métodos inerciales y filtros es que, para concentraciones bajas, se puede reducir de manera significativa la incertidumbre por la pérdida de masa y manipulación de filtros (Mathai, 1990; Chow *et al.*, 2006; Campos-Trujillo *et al.*, 2015). Los monitoreos se realizaron del día 13 al 30 de noviembre del 2014. Las condiciones meteorológicas se obtuvieron del portal electrónico del Servicio Meteorológico Nacional de la Estación Sinóptica Meteorológica Automática de Ciudad Juárez, localizada dentro de las inmediaciones del CILA. Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente mediante el programa Minitab 16. Se realizó una prueba de normalidad y se obtuvo la estadística descriptiva de cada conjunto de datos. Con base en los datos obtenidos se realizó una prueba de hipótesis por medio del método *t* de student pareada.

Figura 3. Equipo de monitoreo DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533 instalados en sitios de monitoreos: (A) Comisión Internacional de Límites y Aguas, B) Parque El Chamizal.

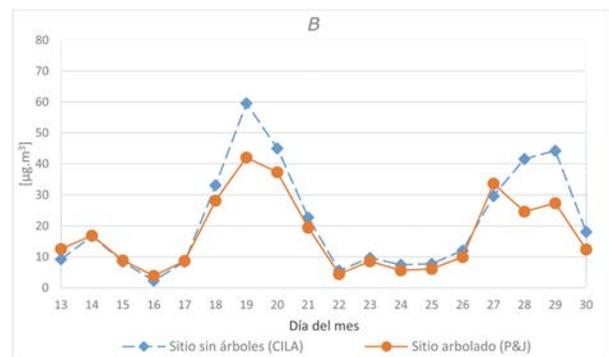
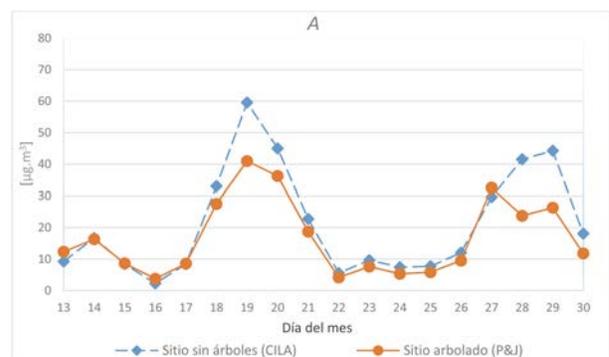


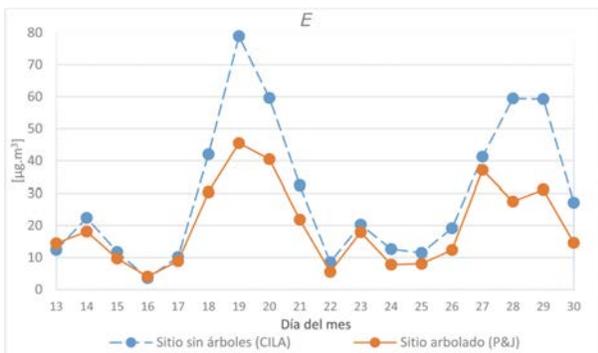
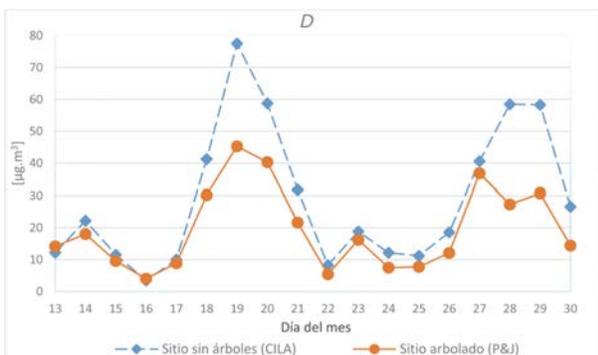
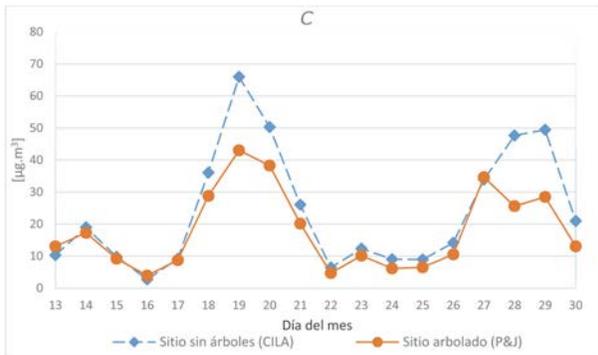
Resultados y discusión

De acuerdo con la prueba de hipótesis, se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) para todos los conjuntos de concentraciones para el periodo de tiempo analizado. El sitio que mostró valores más bajos de concentraciones de material particulado fue el arbolado.

Durante el periodo de estudio, con excepción de los días 19 y 20 de noviembre, las concentraciones no sobrepasaron el límite máximo permisible de $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para $PM_{2.5}$ y de $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para PM_{10} (NOM-025-SSA1-2014). En la Figura 4 se observa, para las cinco fracciones de partículas, que a partir de una concentración de $20.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ el comportamiento del sitio sin árboles comienza a diferir del sitio arbolado, incrementando los valores de concentración.

Figura 4. Comparativo de concentraciones promedio de 24 horas durante 18 días de noviembre 2014 para PM_{1} (A), $PM_{2.5}$ (B), PM_{4} (C), PM_{10} (D) y PM_{Tot} (E).

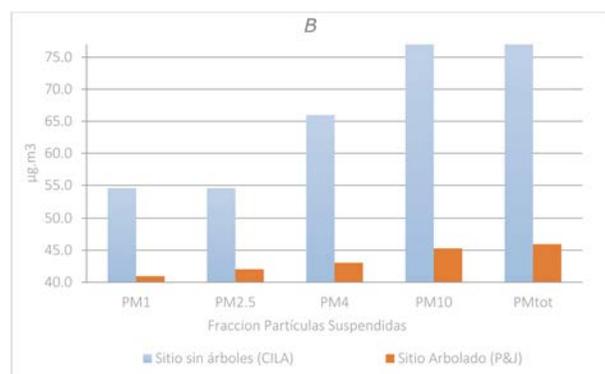
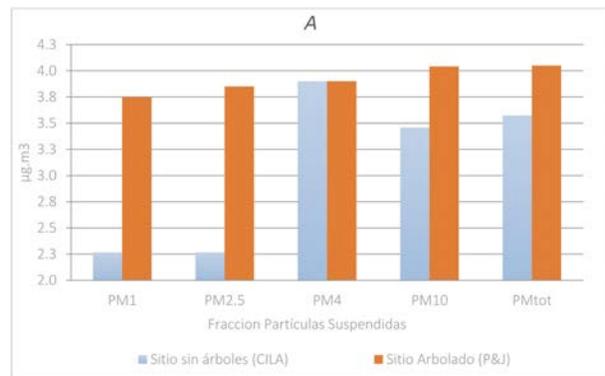




Con objeto de valorar la distribución bimodal de las partículas finas y gruesas, se analizaron los días 16 y 19 de noviembre, por ser los días en el periodo de pruebas con las condiciones de menor y mayor concentración de material particulado, respectivamente, así como una mayor estabilidad atmosférica. El día 16 en el sitio sin árboles, la fracción gruesa es claramente dominante asociada a una mayor presencia de partículas aglutinadas y de suelo en suspensión y en el sitio arbolado se observan altas concentraciones tanto de la fracción fina

como la gruesa. De acuerdo con la Figura 5, el 19 de noviembre se observa una presencia bimodal con predominancia de partículas gruesas, en donde los árboles permiten una mayor suspensión de partículas y en la zona sin árboles las condiciones de viento tienden a esparcir y diluir la presencia de contaminantes de ambas fracciones. Es decir, que realizar alguna actividad al aire libre es mejor cuando sopla viento que cuando está en calma en las zonas sin árboles, mientras que el viento tiene un efecto menor en la dilución de las partículas en las zonas arboladas.

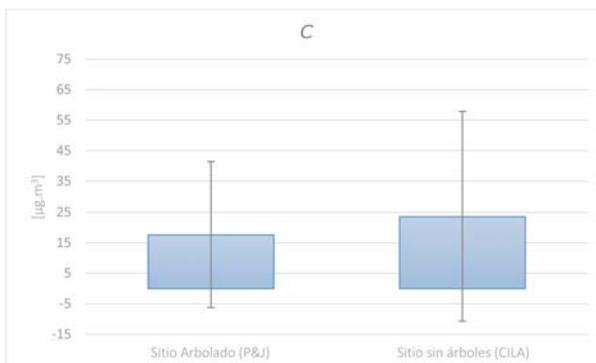
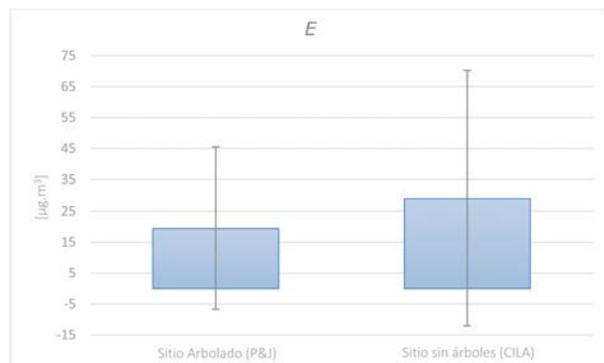
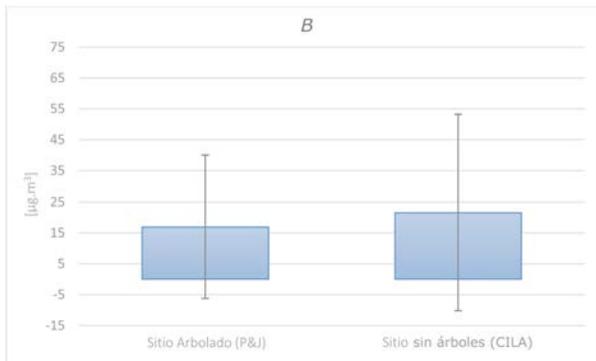
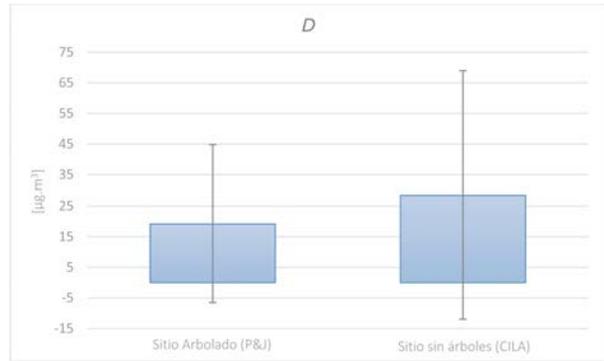
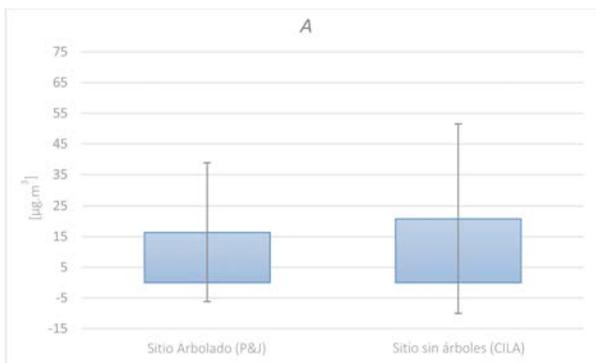
Figura 5. Comportamiento de días de mayor y menor concentración bajo condiciones de estabilidad atmosférica: A. Día menor concentración (16 de noviembre), B. Día mayor concentración (19 de noviembre).



La retención de partículas está influenciada por varios factores. Uno de ellos, es que las plantas con hojas pequeñas o con hojas con una superficie áspera son más eficientes reteniendo partículas, de igual forma, partículas

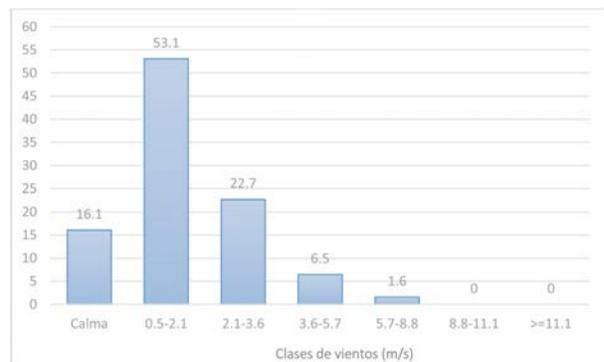
más grandes son depositadas en las hojas más rápido que las partículas pequeñas (Nowak, 1994). Este mecanismo se observa en la Figura 6, donde la diferencia entre ambos valores de concentración es más grande conforme se incrementa la fracción de las partículas (Figura 6D y 6E para PM_{10} y PM_{Tot} , respectivamente).

Figura 6. Comparativo de media y desviación estándar para valores diarios de concentraciones para PM_1 (A), $PM_{2.5}$ (B), PM_4 (C), PM_{10} (D) y PM_{Tot} (E).



Otro factor que afecta la retención de partículas es la estabilidad atmosférica y la velocidad del viento. En la Figura 7 se muestra que durante el periodo de estudio se mantuvo una amplia estabilidad atmosférica (vientos bajos y en calma).

Figura 7. Distribución de frecuencias tipos de vientos.



Conclusiones

De acuerdo con los resultados del estudio realizado se puede afirmar que la presencia de vegetación disminuye la concentración de material particulado en las zonas urbanas. Las concentraciones medidas de cinco fracciones de partículas suspendidas: PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{4} , PM_{10} y PM_{Tot} mostraron una diferencia favorable medible entre la zona arbolada y la zona no arbolada, lo cual es posible atribuirse a la vegetación presente en el sitio arbolado. La información obtenida en este estudio puede ser un respaldo para justificar el financiamiento para incorporar, dentro de las medidas para mejorar la calidad del aire, la implementación de infraestructura verde en zonas urbanas y contribuir a mejorar la salud de los habitantes.

Agradecimientos.

Al comisionado Roberto Salmón Castelo de la Comisión Internacional de Límites y Aguas, al Lic. Jesús Molinar del Invernadero del Parque El Chamizal del Gobierno Municipal de Ciudad Juárez por las facilidades brindadas para la realización del presente estudio. Al Dr. Héctor Olvera de la Universidad de Texas en El Paso, Adrián Vicente Peña López de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, al Biol. Gerardo Tarín de la delegación de SEMARNAT en Chihuahua y al Dr. Alfredo Granados Olivas por sus valiosos comentarios.

Literatura citada

CÁMARA DE DIPUTADOS, M. D. 2014. El Chamizal: a 50 años de su devolución. México DF.

CAMPOS-TRUJILLO, A., Acosta-Carrasco, H. I., Gómez-Vargas, R., Carrillo-Flores, J. I., & Espinoza-Ramírez, E. 2015. Evaluación del desempeño del método de alto volumen para la determinación de partículas menores a 10 micras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(1), 79–88.

CHOW, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H., Antony Chen, L.-W., Tropp, R. J., Park, K., & Magliano, K. A. 2006. $PM_{2.5}$ and PM_{10} Mass Measurements in California's San Joaquin Valley. *Aerosol Science and Technology*, 40(10), 796–810. doi:10.1080/02786820600623711.

CRUTZEN, P. J. 2004. New Directions: The growing urban heat and pollution «island» effect — impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38, 3539–3540. doi:10.1029/2001.

DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES. Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 2006-2012. Informe de evaluación (Diciembre 2012).

GARCÍA-CUETO, O.R., M., Jáuregui, E., Toudert, D. y Tejeda-Martínez, A. 2007. Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111–131.

HERNÁNDEZ-CADENA, L., Barraza-Villarreal, A., Ramírez-Aguilar, M., Moreno-Macías, H., Miller, P., Carbajal-Arroyo, L. A., y Romieu, I. 2007. Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud pública de México*, 49(1), 27-36.

HOLGUIN, F., Flores, S., Ross, Z., Cortez, M., Molina, M., Molina, L. y Romieu, I. 2007. Traffic-related exposures, airway function, inflammation, and respiratory symptoms in children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 176(12), 1236-1242.

KELLY, K., Wagner, D., Lighty, J., Quintero Núñez, M., Vazquez, F. A., Collins, K., & Barud-Zubillaga, A. 2006. Black carbon and polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from vehicles in the United States-Mexico border region: pilot study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(3), 285–93. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16573191>

LANKI, T., de Hartog, J. J., Heinrich, J., Hoek, G., Janssen, N. A., Peters, A.,... & Pekkanen, J. 2006. Can we identify sources of fine particles responsible for exercise-induced ischemia on days with elevated air pollution? The ULTRA study. *Environmental Health Perspectives*, 114(5), 655.

MATHAI, C. V. 1990. Visibility and fine particles: A Summary of the A & WMA / EPA International Specialty Conference. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 40(11), 1486–1494.

MCPHERSON, E. G., Nowak, D. J., & Rowntree, R. a. 1994. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems*, 201.

MEXAL, J.G. y E. Herrera. 2014. Servicios ambientales de árboles: énfasis en la industria del nogal pacanero. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(1): 39-45.

MUKERJEE, S., Norris, G. a., Smith, L. a., Noble, C. a., Neas, L. M., Özkaynak, a. H., y Gonzales, M. 2004. Receptor Model Comparisons and Wind Direction Analyses of Volatile Organic Compounds and Submicrometer Particles in an Arid, Binational, Urban Air Shed. *Environmental Science and Technology*, 38(8), 2317–2327. doi:10.1021/es0304547

NOWAK, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. 2013. Modeled $PM_{2.5}$ removal by trees in ten US cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395-402.

NOWAK, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3), 115-123.

NOWAK, D. J., McHale, P. J., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J. C., & Luley, C. J. 1998. Modeling the effects of urban vegetation on air pollution. In *Air pollution modeling and its application XII* (pp. 399-407). Springer US.

OCDE 2015: Better Life Index, consultado en <http://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/> el 11 de septiembre de 2015.

OLVERA, H. A., Lopez, M., Guerrero, V., Garcia, H., & Li, W. W. 2013. Ultrafine particle levels at an international port of entry between the US and Mexico: Exposure implications for users, workers, and neighbors. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 23(3), 289-298.

PLAN ESTRATÉGICO DE JUÁREZ, A.C. 2015. Informe Así estamos Juárez 2015. Ciudad Juárez, México: Plan Estratégico de Juárez.

- POPE III, C. A., & Dockery, D. W. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742.
- ROMO-AGUILAR, M. de L. 2008. Áreas verdes y justicia social en Ciudad Juárez. *CRISOL: Fusión de Ideas*, 9-24. Recuperado en http://www.uacj.mx/IADA/Documents/REVISTAS/CRISOL/revistas/Crisol_5.pdf el 27/Sep/2015.
- ROSALES-CASTILLO, J. A., Torres-Meza, V. M., Olaiz-Fernández, G., & Borja-Aburto, V. H. 2001. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Pública de México*, 43(6), 544-555.
- SARNAT, S. E., Raysoni, A. U., Li, W.-W., Holguin, F., Johnson, B. A., Flores-Luevano, S.,... Sarnat, J. A. 2012. Air Pollution and Acute Respiratory Response in a Panel of Asthmatic Children along the US-Mexico Border. *Environmental Health Perspectives*, 120(3), 437-444.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE. 2013. Sistema de medición de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez, Chih. Recuperado de http://sinaica.ine.gob.mx/rama_cj.html.
- STEWART, I., & Oke, T. 2010. Newly developed «thermal climate zones» for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. In Ninth Symposium on the Urban Environment.
- TEXAS COMMISSION OF ENVIRONMENTAL QUALITY. 2013. Calidad del Aire. Recuperado de http://www.tceq.texas.gov/cgi-bin/compliance/monops/monthly_summary.pl
- USEPA, & SEMARNAT. 2011. Border 2012: U.S. - Mexico Environmental Program, State of the Border Region Indicators Report 2010.
- YANG, J., Yu, Q., & Gong, P. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric environment*, 42(31), 7266-7273.
- XUE, J., Z. Yuan, A. K. H. Lau, and J. Z. Yu. 2014. Insights into factors affecting nitrate in PM_{2.5} in a polluted high NOx environment through hourly observations and size distribution measurements. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 4888-4902, doi:10.1002/2013JD021108. 

Este artículo es citado así:

Baca-Santini, C. E., F. A. Vázquez-Gálvez. 2015. Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(3): 171-179.

Resumen curricular del autor y coautores

CLAUDIA ELIZABETH BACA SANTINI. Concluyó sus estudios nivel licenciatura en el año 2005, obteniendo así el título de Licenciatura en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Parral (ITP). Realizó su posgrado en Ingeniería Ambiental, obteniendo el grado de Maestría en el 2015 por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Actualmente se desempeña como Ingeniero Ambiental y de Seguridad dentro de una empresa de clase mundial en el ramo automotriz; así como cuenta con la certificación pertinente como auditora líder de sistemas de administración ISO14001:2004 y OHSAS 18001:2007.

FELIPE ADRIÁN VÁZQUEZ GÁLVEZ. Terminó su licenciatura en 1982, año en que le fue otorgado el título de Químico por el Departamento de Química de la Universidad De Texas en El Paso (UTEP). Realizó su posgrado en la misma universidad, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Química en 1985 y el grado de Doctor en Filosofía también en el área de aerosoles atmosféricos por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Desde 2014 labora en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y posee la categoría de Académico titular C. Su área de especialización es la química atmosférica y la calidad del aire urbano. Se ha desempeñado como Subprocurador Federal del Ambiente, Subsecretario de Gestión en la SEMARNAT, Director Ejecutivo de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte y Coordinador General del Servicio Meteorológico Nacional de México.