

## **Análisis de las partículas en suspensión depositadas sobre vegetación arbórea en el noreste de México**

Miguel Ángel Pequeño Ledezma<sup>1</sup>  
Eduardo Alanís Rodríguez<sup>2</sup>  
Oscar Alberto Aguirre Calderón<sup>2</sup>  
Víctor Manuel Molina-Guerra<sup>2,3</sup>  
Cuauhtémoc Méndez Osorio<sup>4</sup>  
Enrique Buendía Rodríguez<sup>5§</sup>  
Laura Sánchez Castillo<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Montes-Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n, Madrid, España. CP. 28040. Tel. 00(34) 8212121788. (mikepequeno@hotmail.com). <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales-UANL. Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Linares, NL, México. CP. 67700. Tel. (01) 8212124251. (eduardoforestal@gmail.com; oaguirre16@gmail.com). <sup>3</sup>RENAC, SA. de CV. Corregidora 102 Nte, Col. Centro, Linares, NL. CP. 67700, Tel. (01) 8211192870 (vmmolinaguerra@hotmail.com). <sup>4</sup>Unidad Académica en Desarrollo Sustentable-UAG. Carretera Nacional Acapulco-Zihuatanejo km 106+700, Tépam de Galeana, Guerrero. CP 40911. Tel. 01(742) 1069958. (xtemoc@hotmail.com). <sup>5</sup>CEVAMEX-INIFAP. Carretera los Reyes-Textcoco km 13.5, Coatlinchán, Textcoco, Estado de México. CP. 56250. Tel. 01(595) 9212657. <sup>6</sup>Faculty of Agriculture-Kyoto University. Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto, Japan. 606-8502. Tel. 8211426009. (laura@kyudai.jp).

§Autor para correspondencia: buendia.enrique@inifap.gob.mx.

### **Resumen**

Las actividades de remoción de vegetación generan un impacto en la suspensión de material particulado sedimentable. El estudio del impacto de estas partículas en zonas cercanas a los trabajos de remoción permite una primera aproximación de carácter cuantitativa para estudios de impacto ambiental en áreas donde no existen registros de afectación. Los objetivos fueron evaluar el impacto en el tiempo transcurrido entre la distancia de la zona de emisión y el rumbo del viento con respecto a la concentración de material particulado en la vegetación aledaña a la zona alterada por los trabajos de remoción. Se analizó la concentración de partículas en suspensión depositadas sobre la vegetación arbórea aledaña durante 2014 y 2015. Se muestrearon 18 árboles de tres especies (*Cordia boissieri*, *Acacia amentacea*, *Havardia pallens*) a distancias de 100, 350 y 700 m en direcciones noroeste y sureste desde el área de remoción de vegetación. Se determinó la cantidad de material particulado sedimentable en relación con la materia seca foliar. En los muestreos de mayo 2014 y febrero 2015 no hubo diferencias significativas, mientras que en septiembre de 2015 se presentó diferencias, la dirección sureste tuvo mayor cantidad de material particulado sedimentado. Se concluye, que el material analizado es inversamente proporcional al tiempo transcurrido de remoción de la vegetación y se observa mayor concentración de sedimentos en dirección a los vientos dominantes.

**Palabras clave:** dirección del viento, polvo, remoción de vegetación.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

El crecimiento continuo de las ciudades contribuye al incremento de las partículas en suspensión presentes en la atmósfera, que constituyen una forma de contaminación ambiental de naturaleza compleja tanto por su composición química como por su tamaño. Los principales contaminantes aéreos son las partículas totales en suspensión, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, hidrocarburos y ozono superficial (Pulifato *et al.*, 1995).

El material particulado está constituido por partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, teniendo una composición química y un tamaño que varía de 0.005 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico (Sborato *et al.*, 2007). Las partículas con diámetros mayores a 5 micras son notables por el depósito que se realizan, siempre que las fuentes de emisión sean bajas y la velocidad del viento elevada, pero en caso de partículas más pequeñas es menor el depósito. Estas macropartículas son atrapadas y filtradas por las hojas y ramas, las cuales son lavadas por la precipitación y escurridas al suelo donde son absorbidas (SCFC, 1990). La cantidad de contaminantes aéreos aumenta cuando se trata de zonas rurales o minero-industriales, pero se desconocen los niveles de fondo, históricos u orientativos sobre el grado de contaminación por material particulado y polvo sedimentable (Dalmasso *et al.*, 1997).

Referente al depósito de partículas suspendidas sobre la vegetación, el tamaño de ellas es un factor importante y determinante, ya que afecta o beneficia de diferentes formas dependiendo del tipo de vegetación presente y los registros de polvo acumulados sobre la vegetación, lo cual constituye una herramienta para diagnosticar el grado de contaminación y su distribución en el ambiente (Dalmasso *et al.*, 1997). Los contaminantes aéreos afectan el proceso de fotosíntesis de la vegetación causando merma en las cosechas, y dañan los materiales de las fachadas de edificios, lo que da como resultado grandes pérdidas económicas cada año (Vollenweider y Günthardt, 2005).

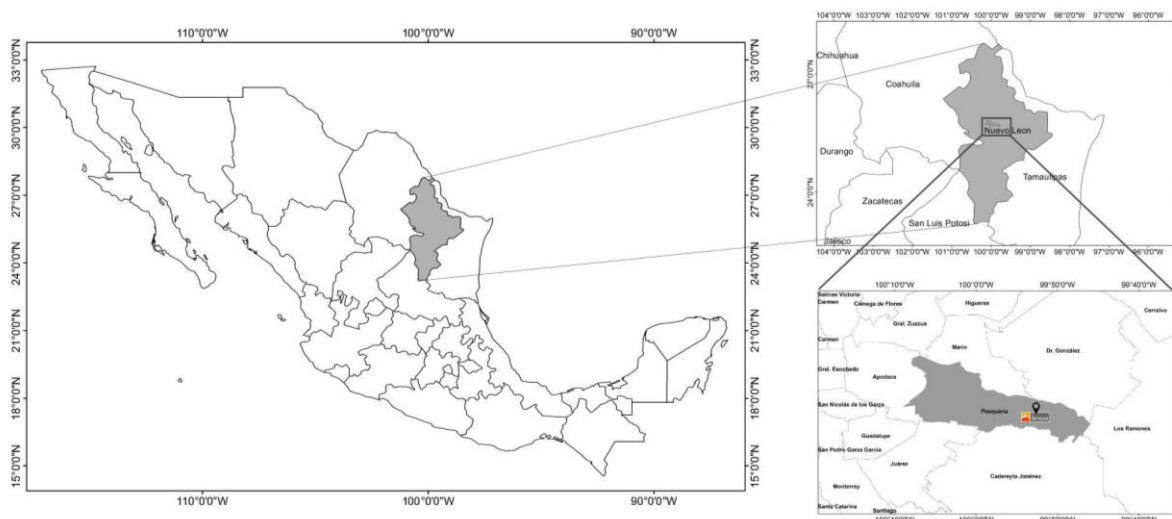
De modo contrario, las condiciones del follaje de la vegetación pueden cumplir un papel como receptor del polvo atmosférico y como parámetro de referencia sobre el grado diferencial de contaminación. El uso de la vegetación arbórea y arbustiva, así como su composición y estructura de cada uno de los individuos vegetales (principalmente las hojas), contribuyen líneas de investigación importantes en los estudios del polvo atmosférico (Kretinin y Selyanina, 2006; Acero y Simon, 2010).

En algunos países existen normas estrictas que exigen a rodear las zonas industriales con franjas arboladas o cubiertas de vegetación, al respecto existen diferentes estudios para calcular la velocidad, el tamaño y la distancia de las partículas suspendidas propensas a sedimentarse, con el objetivo de determinar el tamaño del cinturón de vegetación más efectivos para el control de esas partículas en suspensión (Belot *et al.*, 1976). Algunos autores ponen de manifiesto que el tiempo transcurrido después del cese de actividades que generan material particulado, la distancia de la zona de emisión y el rumbo del viento dominante, son factores que determinan la cantidad de material particulado suspendido y depositado en la vegetación (Calvo, 1996; Núñez *et al.*, 2005; Aragon *et al.*, 2006; Girard y Girard, 2014).

Por tal motivo, el estudio surge de la inquietud de cuantificar el impacto generado al ambiente de los trabajos de remoción de vegetación por la construcción de la termoeléctrica dentro del parque industrial en crecimiento. Los objetivos de esta investigación fueron: 1) evaluar el efecto del tiempo transcurrido de la remoción de vegetación en la concentración de material particulado sobre la vegetación aledaña; y 2) evaluar el efecto entre la distancia de la zona de emisión de material particulado y el rumbo del viento en la concentración de material particulado de la vegetación.

## Área de estudio

El estudio se desarrolló en el municipio de Pesquería, NL (noreste de México), en áreas aledañas a la central eléctrica pesquería situado entre las coordenadas 25° 45' 17.78" de latitud norte y 99° 58' 01.40" de longitud oeste, con una altitud de 300 m (Figura 1).

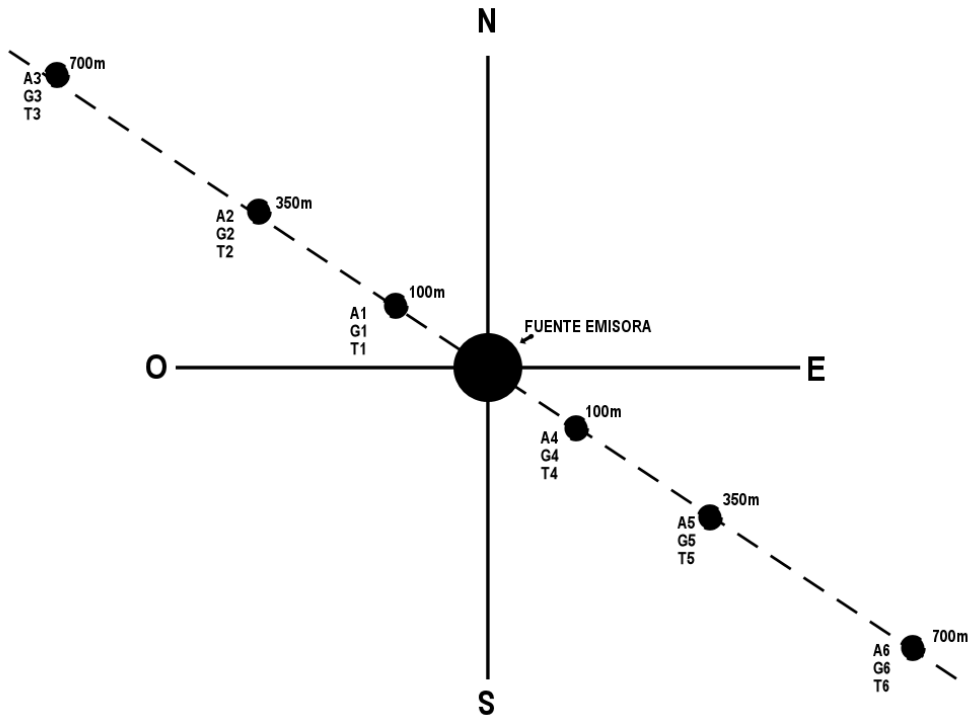


**Figura 1. Localización del área de estudio.** En la imagen izquierda se aprecia México, en la imagen superior derecha el estado de Nuevo León y en la imagen inferior derecha el municipio de Pesquería señalando con un punto rojo el área de estudio.

## Toma de datos

En esta investigación se utilizó la metodología aplicada por Dalmasso *et al.* (1997), la cual considera la toma de muestras a lo largo y partiendo de la fuente emisora (zona de desmonte) dos transectos en función a los vientos dominantes, que en este caso fueron los provenientes del noreste y sureste (INEGI, 1989). De acuerdo a la superficie contigua de la fuente de emisión con vegetación nativa en cada transecto se establecieron tres puntos de medición: sector 1, a los 100 m de la zona de desmonte, sector 2, a los 350 m y sector 3, a los 700 m, considerando que debía existir un gradiente de disminución de los niveles contaminantes en relación al aumento de la distancia desde la fuente emisora (Figura 2).

En cada sección se evaluaron tres especies (*Cordia boissieri*, *Acacia amentacea*, *Havardia pallens*) representativas del matorral espinoso tamaulipeco que presentan altos valores de índice de valor de importancia (Pequeño *et al.* 2012; Donjuan *et al.*, 2013; Alanís *et al.*, 2016). A cada individuo se le extrajeron muestras de hojas del lado de las copas orientadas hacia la fuente emisora, a una altura variable entre 1.5 y 2.5 m, por la facilidad de acceso (Dalmasso *et al.*, 1997). El tamaño de la muestra fue de 40 gramos obteniendo un total de 18 muestras, resultado de los 18 puntos a evaluar en cada una de las etapas de este estudio (Astorga *et al.*, 2011). El material extraído fue acondicionado en bolsas y llevado al laboratorio para su procesamiento (Figura 3).



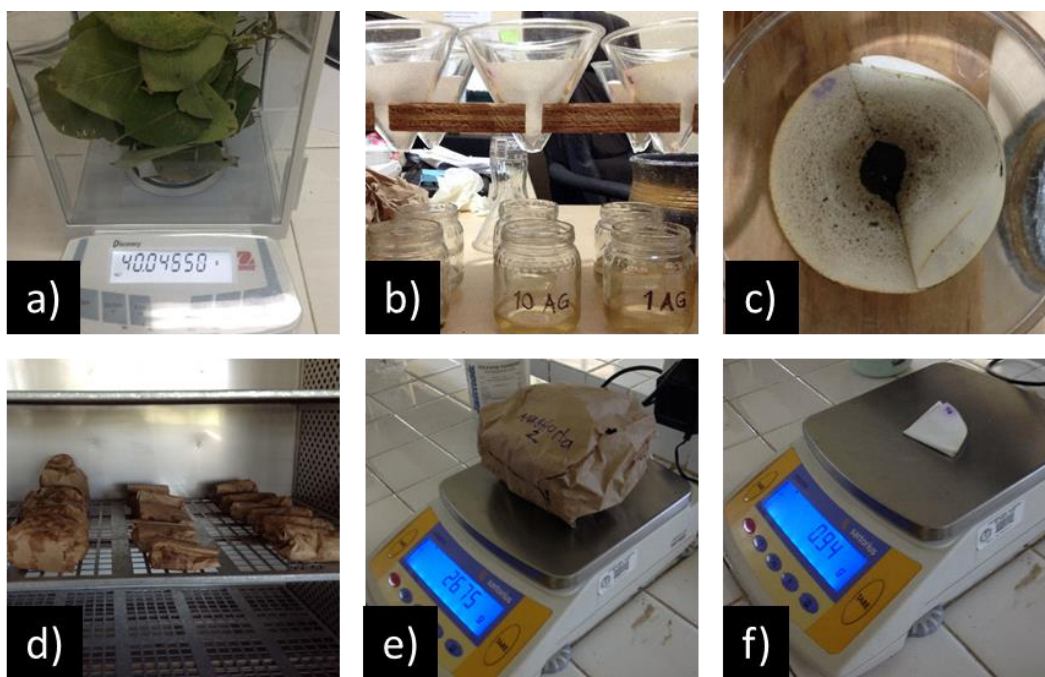
**Figura 2. Diagrama de puntos de muestreo.**



**Figura 3. Toma de muestras. a) selección de individuos; b) colecta de muestras; y c) embolsado.**

La extracción del material particulado sedimentable (MPS) se efectuó por lavado, agitando periódicamente con agua destilada y pasando un pequeño pincel para favorecer el desprendimiento de las partículas. Se usaron vasos de precipitados de vidrio de 350 ml de capacidad. El extracto obtenido se filtró en embudo a través de papel de filtro Whatman Núm. 42 (previamente tarado), se secó en estufa y se registró el peso del MPS. Las hojas lavadas libres de MPS, están siendo pesadas, luego de secadas en estufa a 75° C hasta que se logró obtener el peso constante (Figura 4). Los datos se expresan en gramos de MPS por kg de materia seca de hojas ( $\text{g kg}^{-1}$ ).





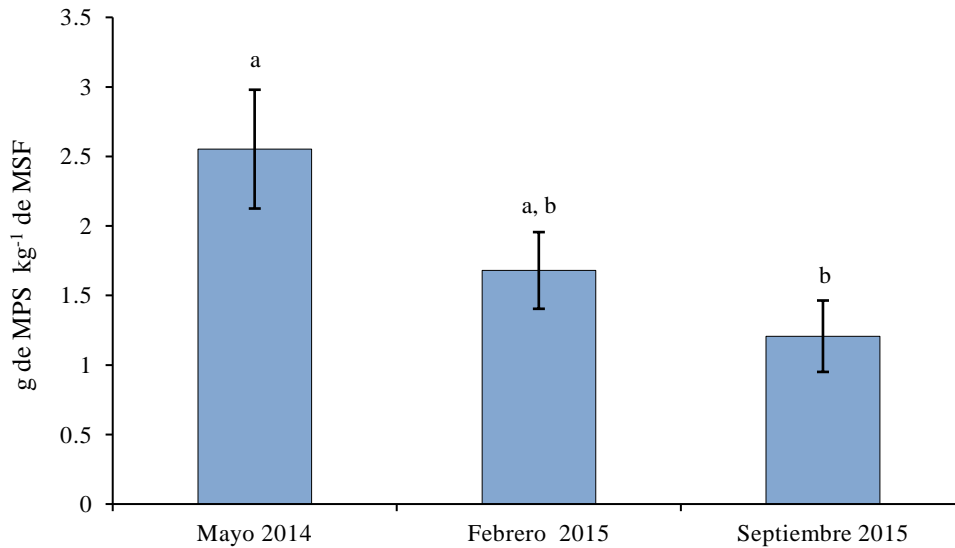
**Figura 4. Extracción de material particulado sedimentable. a) obtención de tamaño de muestra; b) lavado de material vegetal; c) filtrado de material vegetal; d) secado de material vegetal; e) pesado de material vegetal hasta obtener peso constante; y f) pesado de papel filtro después de secar con material particulado sedimentable.**

### **Análisis de la información**

Una vez comprobados los supuestos estadísticos de normalidad, homocedasticidad e independencia entre los valores, se realizó un análisis de varianza (Anova) de un factor ( $p \leq 0.05$ ). Como prueba *post hoc* se utilizó la prueba HSD de Tukey. El programa estadístico utilizado fue el SPSS versión 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Para determinar el efecto del tiempo transcurrido de la remoción de vegetación en la concentración de material particulado sobre la vegetación aledaña, se generó la Figura 5, donde se observa que la cantidad de polvo registrando si presentó diferencia a través del tiempo ( $g_l = 2$ ;  $F = 4.307$ ,  $p = 0.019$ ).

En la Figura 5, se nota una clara tendencia a través del tiempo, disminuyendo la cantidad de material particulado sedimentable conforme el pasa el tiempo, lo cual se relaciona directamente con el inicio y término de los trabajos de remoción de vegetación en el lugar. Este resultado coincide con los registrados por Rööslí *et al.* (2001), Celis *et al.* (2007) y Pachón y Vela (2014) quienes en sus estudios de contaminación por material particulado también registraron una relación directa entre la disminución del mismo y etapas con baja y nula intensidad de actividad antropogénica, encontrando las menores cantidades de material particulado sedimentable en etapas cercanas al cese de estas actividades.

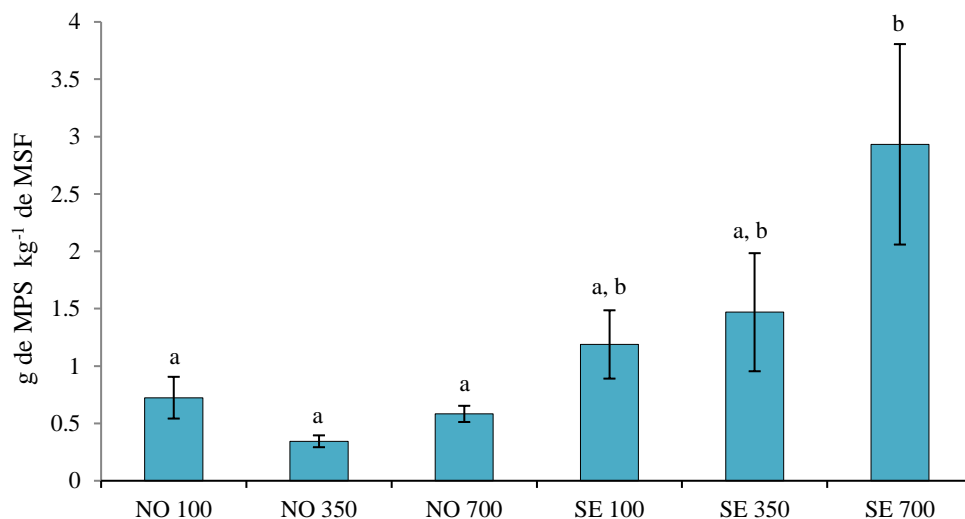


**Figura 5. Concentración de material particulado sedimentable según los meses de muestreo. Valores promedios  $\pm$  error estándar. Letras diferentes (a, b, c) indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).**

También se evaluó si había efecto entre la distancia de la zona de emisión de material particulado y el rumbo del viento dominante en la concentración de material particulado de la vegetación. En los muestreos de mayo de 2014 ( $gl= 5$ ;  $F= 0.426$ ,  $P= 0.822$ ) y febrero 2015 ( $gl= 5$ ;  $F= 0.719$ ,  $p= 0.621$ ) no se presentaron diferencias significativas en la cantidad de polvo en las diferentes distancias. Una posible explicación a esto estaría relacionada con el tamaño de partícula, ya que es posible que las partículas de mayor tamaño pudieran estar presente durante los muestreos de mayo 2014 y febrero 2015, resultado del impacto de los trabajos de desmonte y remoción de vegetación, mientras que, para el mes de septiembre 2015, el impacto fue menor, generando partículas de menor tamaño.

Márguez *et al.* (2011) mencionan que mientras más pequeña sean las partículas el tiempo que permanecen en el aire será mayor, esto debido a su densidad y tamaño, también hacen mención que este tipo de partículas pueden estar suspendidas por semanas, y pueden ser transportadas a grandes distancias. Esta información también coincide con los resultados de Corleto y Cortéz (2012), quienes mencionan que las partículas de mayor tamaño se depositan con más rapidez y más cerca de la fuente de emisión, mientras que las de mediano tamaño se alejan más y se depositan a cierta distancia de la fuente de emisión y las partículas más pequeñas son transportadas por los vientos a distancias mayores.

En la evaluación realizada en septiembre de 2015 si se presentó diferencia significativa en la cantidad de polvo en las diferentes distancias ( $gl= 5$ ;  $F= 4.576$ ,  $p= 0.014$ ), como se puede observar en la Figura 6. En el muestreo realizado en septiembre de 2015 se registró el valor más alto en concentración de material particulado sedimentable en dirección SE a 700 m, seguido de SE a 350 metros con 2.93 y 1.47 g de MPS/kg de MSF respectivamente. Esto es debido a que existen vientos dominantes provienen del Noroeste en esa temporada del año los cuales dispersan las partículas de menor tamaño suspendidas en el ambiente transportándolas a largas distancias desde la fuente emisora.



**Figura 6. Concentración de material particulado sedimentable (MPS) por rumbo y distancia para el muestreo de septiembre 2015. NO= noreste, SE= sureste y los valores 100, 350 y 700 son las distancias de a fuente emisora. Valores promedios  $\pm$  error estándar. Letras diferentes (a, b, c) indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).**

Dichos valores son bajos comparados con los registrados por Dalamasso *et al.* (1997), quienes en un estudio similar en una zona donde están instaladas algunas industrias cementeras evaluaron el total de partículas en suspensión depositado sobre el follaje de la vegetación arbórea aledaña compuesta por *Acacia caven*, *Celtis tala*, *Eucaliptus camaldulensis*, *E. viminalis*, *Geoffroea decorticans*, *Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Aspidosperma quebracho blanco* y *Schinus fasciculatus*. registraron valores promedio máximos de 36.22 g de MPS kg<sup>-1</sup> de MSF y mínimos de 4.01 g de MPS kg<sup>-1</sup> de MSF. Esta diferencia puede deberse a la morfología de las especies que utilizaron para su estudio Lo que coincide con Beckett *et al.* (2000) quienes mencionan que la estructura del árbol y variantes específicas como el tamaño de hoja, la forma y la textura de la hoja son factores que determinan la capacidad de captación de material particulado en cada una de las especies. Granados y Mendoza (2002) indican que el polvo esparcido en plantaciones abiertas tiende a ser mayor y su presencia varía conforme a la distancia y origen de las partículas. Además, Codina *et al.* (2002) indican que algunas características del material vegetal como la densidad de follaje, rugosidad del mismo, presencia de pilosidad epidérmica, así como la interacción entre la superficie foliar y el aire circundante pueden ser considerados como factores en la capacidad de retención de las especies.

## Conclusiones

Con base a los resultados se concluye que la concentración de material particulado depositado en la vegetación aledaña es inversamente proporcional al tiempo trascurrido de la remoción de vegetación, ocasionando una disminución de los sedimentos conforme el tiempo trascurrido es mayor. También se concluye que el rumbo del viento afecta la concentración de material particulado de la vegetación, observándose una mayor concentración de sedimentos en la vegetación en dirección a los vientos dominantes y entre una mayor concentración de sedimentos conforme a mayor distancia en la misma dirección de los vientos dominantes con respecto a la zona de emisión de material particulado.

## Literatura citada

- Acero, J. A. y Simón, A. 2010. Influence of vegetation scenarios on the local air quality of a city square. *In: CLIMAQS Workshop 'Local air quality and its interactions with vegetation'*, Antwerp, Belgium. 21-22.
- Alanís, E.; Molina, V. M.; Rechy, L.; Alcalá, A. G.; Marín, J. D.; Pequeño, M. A. 2016. Composición, diversidad y supervivencia de un área restaurada en el complejo siderúrgico de Ternium, Pesquería, Nuevo León. *In: experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas (Coord). Ceccon, E. y Martínez C. UNAM-Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UAEM-CONABIO. Cuernavaca, Morelos, México. Capítulo 11. 255-272 pp.*
- Aragón, A.; Campos, A. A.; Leyva, R.; Hernández, M.; Miranda, N. y Lszczewski A. 2006. Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de San Luis Potosí. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 22(1):5-19.*
- Astorga, F. R.; Sosa, M.; Herrera, E. F.; Moreno, M. V.; Tena, M. y Campos, A. 2011. *Pinus halepensis* Mill: como indicador de contaminación atmosférica en una zona industrial urbana. *Rev. Mex. Cienc. Forest. 2(7):79-86.*
- Beckett, P.; Freer, P. and Taylor, G. 2000. Effective tree species for local airquality management. *Journal of Arboriculture. 26(1):12-19.*
- Belot, Y.; Baille, A. et Delmas, J. L., 1976. Modèle numérique de dispersion des polluants atmosphériques en présence de couverts végétaux: Application aux couverts forestiers, *Atmos. Environ. 10:89-98.*
- Calvo, M. 1996. Ingeniería del medio ambiente. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Mundiprensa (Ed.). Madrid, España. 701 p.
- Celis, J. E.; Morales, J. R.; Zaror, C. A. y Carvacho, O. F. 2007. Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: el caso de Chillán (Chile). *Información tecnológica 18(3):49-58. DOI: 10.4067/S0718-07642007000300007.*
- Codina, R. A.; Fioretti, S. B.; Pérez, P. V.; Ureta, N. M.; Llera, C. J.; Verd, P.; Carrieri, S. A. y Manzano, E. R. 2002. Captación de polvo atmosférico por especies ornamentales. *Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo. 34(2):73-79.*
- Corleto, A. M. y Cortéz, D. M. 2012. Comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. El Salvador. 161 p.
- Dalamasso, A.; Candia, R. y Llera J. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina. 6:91-97.*
- Donjuán, M. C. A.; Jiménez, J.; Alanís, E.; Camacho, R. A. E.; Yerena, J. I. y González, M. A. 2013. Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco. *Rev. Mex. Cienc. Forest. 4(17):124-137.*
- Girard, J. E. and Girard, J. 2014. Principles of environmental chemistry. Tercera edición Jones & Bartlett Publishers. Massachusetts. EUA. 676 p.
- Granados, D. S. y Mendoza, O. A. 2002. Los árboles y el ecosistema urbano. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Dirección de Difusión Cultural. Texcoco, Estado de México. 96 p.
- INEGI. 1986. Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática. Síntesis geográfica del estado de Nuevo León.



- Kretinin, V. M. and Selyanina, Z. M. 2006. Dust retention by tree shrub leaves and its accumulation in light chestnut soils under forest shelterbelts. *Eurasian Soil Sc.* 39(3):334-338. doi:10.1134/S1064229306030136.
- Márgez, J. P. F.; Sukla, M. K.; Wang, J. y Arratia, B. C. H. 2011. Material particulado dispersado al aire por vehículos en caminos agrícolas no pavimentados. *Terra Latinoam.* 29(1):23-34.
- Núñez, L.; Reguera, E.; Corvo, F.; González, E. and Vázquez, C. 2005. Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island. *Corrosion Science.* 47(2):461-484. DOI: 10.1016/j.corsci.2004.05.015.
- Pachón, J. E. y Vela, H. S. 2014. Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. *Rev. Fac. Ing.* 43:120-133.
- Pequeño, M. A.; Alanís, E.; Jiménez, J.; González, M. A.; Yerena, J. I.; Cuellar, G. y Mora, A. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *CienciaUAT.* 7(1):48-53.
- Puliafíto, S. E.; Puliafíto, J. L.; Behler, J. C. y Alonso, P. 1995. La calidad del aire en Mendoza. *En Mendoza Ambiental.* 207-242.
- Rööslí, M.; Theis, G.; Künzli, N.; Staehelin, J.; Mathys, P.; Oglesby, L.; Camenzind, M. and Braun, Ch. 2001. Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM10 at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland, *Atmospheric Environment.* 35(21):3701-3713. DOI: 10.1016/S1352-2310(00)00511-2.
- Sborato, D.; Sborato, V. M. y Ortega, J. E. 2007. Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera. CISA. Centro de Investigación y Formación en Salud Ambiental. Colección Salud Ambiental. Encuentro Grupo Editor. Córdoba, Argentina. 153 p.
- SCFC. 1990. South Carolina Forestry Commission. Benefits of urban trees. Forestry Report R8-FR 17 April. USDA Forest Service. USA. 12 p.
- SPSS. 1976. Statistical Package for the social sciences. Chicago, IL, USA.
- Vollenweider, P. y Gunthardt, M. S. 2005. Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution.* 137(3):455-46. DOI: 10.1016/j.envpol.2005.01.032.