

El Impacto de la Vegetación en la Calidad del Aire Urbano

Luis Fernando García Montoya*
Juan Felipe Blanco WLibreros**
Fernando Alzate Guarín***

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la capacidad de retención de material particulado sedimentable –MPS– por dos especies: *Mangifera indica* y *Psidium guajava*. El muestreo se realizó en ocho sectores dentro del campus de la Universidad de Antioquia, divididos en dos anillos ubicados en los perímetros externo e interno, cada anillo subdividido en cuatro sectores (Zonas). Se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas (Mann-Whitney y Kruskal-Wallis) para comparar diferencias entre especies, posiciones y zonas en cuanto al MPS capturado. Los efectos de la Especie ($p=0,962$) y la Posición ($p=0,887$) no fueron significativos, mientras que los de la Zona sí lo fueron ($p=0,001$). Los resultados permiten concluir que la retención de MPS está regida principalmente por la ubicación de los individuos muestreados dentro de los sectores, ya que el viento y la turbulencia ocasionada por la rugosidad de edificaciones, y la cercanía de estos individuos a una fuente de emisión puntual, ocasionan un aumento en la retención de MPS.

*Biólogo, Universidad de Antioquia.

Correo electrónico:

luisfertoal@hotmail.com

**Profesor asociado, Instituto de

Biología, Universidad de Antioquia.

Correo electrónico:

jfblanco@yahoo.com

***Profesor asociado, Instituto de

Biología, Universidad de Antioquia.

Correo electrónico:

alzatef@gmail.com

The Impact of Vegetation in Urban Air Quality

Abstract

This study aimed to establish the retention ability in settling particulate matter –SPM– by two species: *Mangifera indica* and *Psidium guajava*. Sampling was collected from eight sectors within Universidad de Antioquia campus, which are split into two rings located at the external and internal perimeters, each subdivided in four sectors (Zones). Non-parametric statistic tests were carried out (Mann-Whitney & Kruskal-Wallis) to compare the differences between species, positions and zones on the SPM collected. The effects of Species ($p=0.962$) and Position ($p=0.887$) were not significant, opposite to those in the Zone, which were ($p=0.001$). Findings allow to conclude that SPM retention is primarily determined by the location of sampled individuals within the sectors, since wind and turbulence caused by building rugosity, and individuals' closeness to a specific emitting source bring about increased SPM retention.

Palabras clave:

Material particulado sedimentable –MPS–, contaminación, vegetación, retención de MPS.

Keywords:

Settling particulate matter –SPM–, pollution, vegetation, SPM retention.

Introducción

La contaminación del aire se considera un proceso complejo porque la composición física y química de los constituyentes cambia por factores como la estación del año, la actividad industrial, los cambios en el flujo vehicular y los vientos predominantes (Yassi et al., 2002). La deposición atmosférica de partículas en los ecosistemas, y especialmente sobre la vegetación, se lleva a cabo por procesos húmedos y secos a través de tres vías principales: húmeda, seca y oculta (Grantz et al., 2003).

El material particulado sedimentable –MPS– en las actuales normas reguladoras de Estados Unidos se clasifica en PM fino ($PM_{2.5}$ para partículas con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0 y $2.5\ \mu m$) y PM grueso ($2.5-10\ \mu m$, denominando a la fracción combinada como PM_{10}) (U.S. Environmental Protection Agency –EPA–, 1996).

Los árboles urbanos influyen positivamente sobre la calidad del aire por su gran capacidad de remoción de contaminantes, ya que captan gases a través de los estomas y retienen grandes cantidades de partículas aéreas que se sedimentan en la superficie de las hojas (Nowak et al., 2000). Gracias a sus grandes superficies foliares y a los movimientos turbulentos del aire creados

por su estructura, los árboles absorben más contaminantes que la vegetación de bajo porte (Fowler et al., 1999; Beckett et al., 2000), teniendo en cuenta que los valores de PM_{10} derivados del tráfico disminuyen no sólo con el incremento de la distancia de las carreteras, sino también con el incremento en la altura desde el suelo (Maher et al., 2008; Mitchell y Maher, 2009). En Medellín, 6.500 árboles censados en el inventario forestal del Metro de Medellín interceptan un valor aproximado de 3,1 t al año (Durán y Alzate, 2009).

El poder de retención del polvo por las hojas presenta variaciones con la especie y con las características morfo-anatómicas de la hoja, como la superficie expuesta y el grado de pilosidad (Dalmasso et al., 1997), además de su densidad, rugosidad de la superficie y tamaño (Codina et al., 2002).

El *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: calidad del aire* (2007), elaborado por el IDEAM, determinó que el contaminante que más deteriora la calidad del aire es el material particulado de mayor tamaño (PM_{10}), que proviene principalmente de la quema de combustibles. Este informe muestra que las ciudades con mayor índice de contaminación en el país son Bogotá y Medellín.

El biomonitoreo, que emplea una retención pasiva de material particulado sobre la superficie de las plantas, ha sido presentado como un indicador de la calidad del aire (Gautam et al., 2005). Finalmente, es bien conocido que el material particulado en el aire urbano contribuye significativamente a efectos adversos en la salud humana (Pope et al., 2002) y puede afectar

las plantas, aunque la deposición sobre la vegetación sigue siendo poco conocida (Smith et al., 2000).

El objetivo del presente estudio fue determinar la capacidad de retención de material particulado sedimentable –MPS– en dos especies arbóreas (*Mangifera indica* y *Psidium guajava*), comúnmente utilizadas en reforestación urbana, en un gradiente de emisión de MPS.

Materiales y métodos

Descripción del área de muestreo

El muestreo se llevó a cabo en el campus de la Universidad de Antioquia, sede Medellín, el cual está situado a 1.538 m.s.n.m. en el centro del valle de Aburrá. Medellín presenta una temperatura promedio de $24\ ^\circ C$ y vientos suaves, donde predomina el movimiento en la zona norte del valle de Aburrá, lo que origina que el viento sople en dirección norte-sur. El campus universitario tiene una superficie de $287.467\ m^2$ y unos $133.942\ m^2$ de área construida, es generoso en zonas peatonales, áreas verdes y espacios abiertos.

Metodología

Se seleccionaron dos especies arbóreas: *Mangifera indica* (mango) de la familia Anacardiaceae y *Psidium guajava* (guayabo) de la familia Myrtaceae. En la ciudad universitaria se seleccionaron ocho sectores que se dividieron en dos posiciones: un anillo externo (sectores 1 al 4) y uno interno (sectores 5 al 8), cada anillo con cuatro zonas que corresponden a los cuatro lados de la universidad, los cuales colindan con cuatro vías: Avenida Regional, calle Barranquilla,



avenida del Ferrocarril y el viaducto del Metro (figura 1).

Los anillos externo e interno se delimitaron con base en la distancia a la malla externa, y se definieron así: anillo externo, el área comprendida entre 0 y 100 m, y el anillo interno, entre 100 y 200 m. En cada uno de los ocho sectores se seleccionó un individuo de *Mangifera indica* y otro de *Psidium guajava*.

Se realizaron tres muestreos en fechas diferentes del año 2011; para el primer muestreo se tomaron cinco hojas por individuo, y para el segundo y el tercero se tomaron diez hojas por individuo. Se había considerado originalmente el primer muestreo como un pre-muestreo, que posteriormente se resolvió incluir como primer muestreo, y a partir de este se decidió aumentar a diez las hojas colectadas por individuo en los dos muestreos siguientes. En cada individuo se seleccionaron las ramas que estuvieran en la periferia del árbol y a una altura entre 1 y 3 m; de las ramas seleccionadas se extrajeron al azar las hojas por individuo. Una vez cortadas las hojas, se depositaron en bolsas sellables.

Posteriormente en el laboratorio, con la ayuda de un pincel y un frasco lavador, cada una de las hojas fue lavada con agua corriente para favorecer el desprendimiento de las partículas. El extracto de agua y partículas resultante se envasó en frascos de vidrio (previamente pesados) para luego desecarlos en un horno a 80 °C. El material particulado producto de la desecación fue pesado en balanza analítica de cuatro cifras decimales. Una vez realizado el lavado de la hoja, se procedió inmediatamente a medir el área foliar antes de que se deformara. Esta medición se realizó usando un planímetro

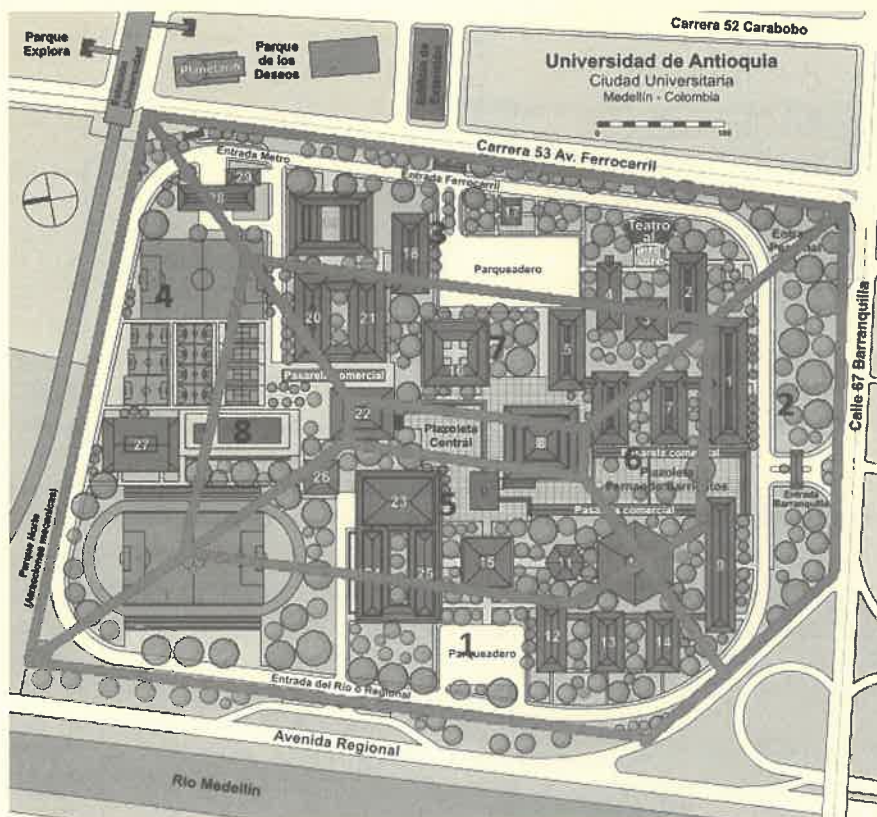


Figura 1. Vista de los 8 sectores de la Universidad de Antioquia donde se realizaron los muestreos. Tomado y modificado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_de_Antioquia.

(Tamaya Digital Planimeter Planix 7). La variable respuesta MPS es una relación entre el peso del material particulado de cada muestra y su correspondiente área foliar dada en g/cm^2 . El procedimiento utilizado fue una modificación de la metodología empleada por Dalmasso et al. (1997).

Análisis estadístico

El MPS captado fue comparado entre los niveles de cada uno de los factores (Especie, Posición y Zona) con métodos estadísticos no paramétricos, según análisis de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis, porque los datos obtenidos no cumplieron con los supuestos para análisis paramétricos (ANOVA). Se realizó una transformación con logaritmo natural de los datos

tomando en cuenta la ANOVA, para analizar las interacciones entre los factores, y se hizo un análisis post hoc (Games-Howell) asumiendo varianzas desiguales, para determinar diferencias significativas. Los análisis estadísticos se realizaron gracias al paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 20.

Resultados

En cuanto al análisis estadístico Kruskal-Wallis, la captación de MPS por las hojas analizadas presentó diferencias significativas en el factor Zona ($p=0,001$). Para los factores Especie ($p=0,962$) y Posición ($p=0,887$), las diferencias no fueron significativas (tabla 1). Para el factor Zona, la figura 2 muestra que las hojas de los árboles que retuvieron mayor

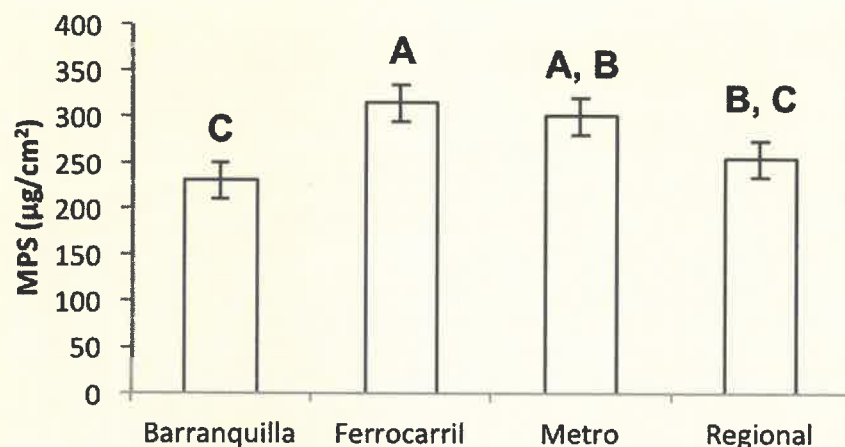


Figura 2. Retención media de MPS resultante del efecto de la Zona. Las letras iguales indican que no hubo diferencias significativas. Se indican los errores típicos.

cantidad de MPS estuvieron en las zonas aledañas a la avenida Ferrocarril y al Metro, con 314,87 g/cm² y 300,08 g/cm² respectivamente, mientras que las hojas con menor retención se encontraron en las zonas aledañas a la avenida Regional y la calle Barranquilla con 254,06 g/cm² y 229,55 g/cm² respectivamente. Las letras iguales presentes en la parte superior de las barras indican que no hubo diferencias significativas.

Según el análisis de comparaciones múltiples post hoc (Games-Howell), los promedios comparados difieren significativamente entre Barranquilla y Ferrocarril, Barranquilla y Metro, y Regional y Ferrocarril (tabla 2 y figura 2).

A pesar de las limitaciones dadas por la heterogeneidad de varianzas, se observan los efectos de las interacciones entre los factores, que fueron significativas entre Zona-Especie ($p=0,002$) y

entre Zona-Posición ($p<0,001$), mientras que la interacción Especie-Posición ($p=0,308$) y la interacción entre los 3 factores ($p=0,312$) no fueron significativas. Las figuras 3 y 4 muestran las retenciones medias de MPS resultantes de las interacciones Posición-Zona y Especie-Zona respectivamente, siendo la Zona el factor principal. En las zonas de Metro y Ferrocarril, el anillo externo retuvo mayores niveles de MPS que el anillo interno. En la zona de Barranquilla, hubo retención relativamente homogénea, mientras que en la zona de la Regional el anillo interno retuvo mayor cantidad que el externo (figura 3). La figura 4 muestra que en Ferrocarril y Regional, la especie *Mangifera indica* retuvo mayor cantidad de MPS, mientras que en Metro y Barranquilla ocurrió lo contrario: *M. indica* retuvo menor cantidad que *P. guajava*.

Discusión

Las dos especies evaluadas son muy parecidas en su morfología foliar, ya que ambas presentan forma elíptica y su base, ápice y márgenes son muy similares; ambas son glabras y no presentan ningún tipo de sustancia cerosa sobre su superficie. Lo anterior seguramente incide en que no ocurran diferencias significativas ($p=0,962$) en la retención de MPS por las dos especies, lo cual concuerda con los resultados de Durán y Alzate (2009), en su estudio sobre cinco árboles urbanos en el valle de Aburrá, que incluye las especies aquí estudiadas.

Almirón et al. (2008) y Dalmaso et al. (1997) encontraron que los niveles más altos de retención de MPS se presentan en las estaciones más cercanas a la fuente de emisión, con respecto a las más alejadas, por tanto se esperaba que el anillo externo retuviera mayores niveles de MPS que el anillo interno, a pesar de que las diferencias no fueron significativas ($p=0,887$).

La baja retención en Barranquilla, que se esperaba que fuera la de mayor retención dado el alto flujo vehicular, se podría explicar por el hecho de que en Medellín, por lo general, la dirección del viento predominante en todos los meses del año es la nortesur, lo cual alejaría el MPS en dirección sur, impidiendo su ingreso al área de la Universidad. Por otra parte, el mayor nivel de retención en Ferrocarril podría

Tabla 1. Resumen de pruebas de hipótesis para la variable dependiente MPS

Factor	Test	Estadístico	gl	Probabilidad
Especie	Mann-Whitney	U	1	0,962
Posición	Mann-Whitney	U	1	0,887
Zona	Kruskal-Wallis	K	3	0,001*

* Diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 2. Análisis de colaciones múltiples post hoc (Games-Howell) Ln de MPS para el factor Zona asumiendo varianzas desiguales.

		Diferencia de Medias			
Probabilidad		Barranquilla	Ferrocarril	Metro	Regional
	Barranquilla		-0,2907	-0,2101	-0,1055
	Ferrocarril	<0,001*		-0,0805	0,1851
	Metro	0,029*	0,723		0,1046
	Regional	0,378	0,035*	0,490	

* Diferencias estadísticamente significativas.

atribuirse a otras fuentes de emisión como las construcciones. Durante el periodo de muestreos, se presentó la construcción del edificio de Ruta N (avenida del Ferrocarril); la emisión de partículas provenientes de la obra pudo haber contribuido a que esta zona fuera la mayor retenedora de MPS.

Los flujos de aire turbulento alrededor de edificaciones y de la vegetación, sumados a los procesos de impactación, son los principales mecanismos que producen una variación en la retención de material particulado sobre las superficies, entre ellas las hojas de los árboles. Croxford et al. (1996) encontraron valores altamente significativos en ecosistemas urbanos, que muestran un aumento en la retención de partículas gracias a la relación entre la turbulencia y la velocidad del viento. Las superficies

rugosas que proporcionan algunas edificaciones en ecosistemas urbanos, facilitan un intrincado patrón de flujo de aire turbulento que ocasiona una mayor retención de MPS en ciertos lugares. Cuando el flujo, en este caso el viento, pasa por una esquina aguda, genera la formación de un vórtice que, al realizar un giro suave, produce la separación del mismo flujo (figura 5) (Vogel, 1996). Esto lo observamos en el anillo interno de las zonas de Ferrocarril y Regional (figura 3), donde los individuos muestreados se encontraban en patios resguardados por edificios. Por tanto, los valores de retención de contaminantes suspendidos sobre la vegetación en ecosistemas urbanos, no son necesariamente inducidos por la especie arbórea como tal y sus características morfo-anatómicas, ni por la distancia con la fuente de emisión, sino por los patrones de

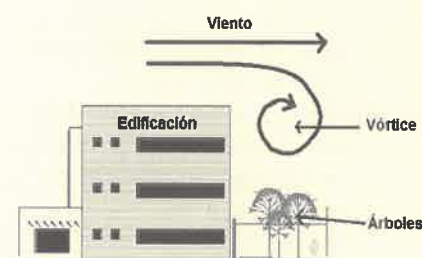


Figura 5. Formación del vórtice justo cuando el viento pasa por un borde agudo (edificación).

flujo de aire y la ubicación puntual donde se encuentra el individuo muestreado.

La mayoría de los estudios realizados acerca de los efectos ocasionados por el material particulado se centran en la afectación que este pueda causar en la salud humana, pero poco se ha estudiado sobre los daños causados a los ecosistemas urbanos. Es importante que se desarrollen estudios al respecto, que permitan tener en cuenta las especies con mayor capacidad

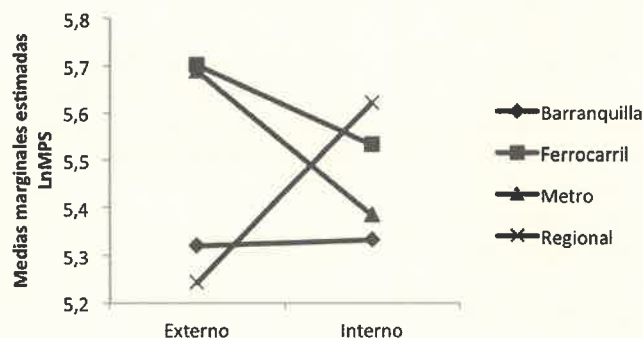


Figura 3. Retención media de Ln de MPS resultante de la interacción Posición-Zona ($p < 0,001$).

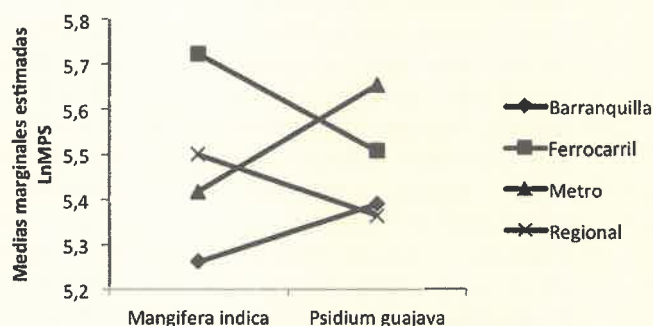


Figura 4. Retención media de Ln de MPS resultante de la interacción Especie-Zona ($p = 0,002$).

de retención de MPS, ya que este factor no está incluido en los catálogos silviculturales de las ciudades.

Referencias bibliográficas

- Almirón, Martín; Dalmaso, Antonio; Llera, Joaquín (2008). Uso de *Larrea cuneifolia* cav. y *Zuccagnia punctata* cav. en la evaluación del material particulado sedimentable en una calera de los berros, San Juan, Argentina. *Multequina*, (17), 29-38, Mendoza.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, (s.f.). *Implementar un Modelo de Simulación Atmosférica y un Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire*. Recuperado de: <http://www.metropol.gov.co/aire/compartidos/docs/capitulo13.pdf> (jul. 25).
- Beckett, Paul; Freer-Smith, Peter; Taylor, Gail (2000). Particulate pollution capture by urban trees: Effect of species and windspeed. *Global Change Biology*, 6, 995-1003, New York.
- Codina, Ramón; Fioretti, Sonia; Pérez, Paola; Ureta, Norberto; Llera, Joaquín; Verd, Patricia; Carrieri, Sergio; Manzano, Enrique (2002). Captación de polvo atmosférico por especies ornamentales. *Rev. Fac. Cs. Agr.*, (2), 73-79.
- Costa Posada, Carlos; Saldarriaga Orozco, Gabriel; Lozano Picón, Ricardo; Suárez Castaño, Rodrigo (2007). *Informe anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: calidad del aire*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd050996/costa.pdf>
- Croxford, Ben; Penn, Alan; Hillier, Bill (1996). Spatial distribution of urban pollution: Civilizing urban traffic. *Science of the Total Environment*, (190), 3-9, Amsterdam.
- Dalmaso, Antonio; Candia, Roberto; Llera, Joaquín (1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, (6), 91-97, Mendoza.
- Durán, Byron y Alzate, Fernando (2009). Intercepción de partículas suspendidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el Valle de Aburrá. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*, (47), 59-66, Medellín.
- Fowler, David; Cape, J. Neil; Coyle, Mhairi; Smith, Richard; Hjellbrekke, Anne-Gun; Simpson, David; Derwent, Richard and Johnson, Colin (1999). Modeling photochemical oxidant formation, transport, deposition and exposure of terrestrial ecosystems. *Environment Pollution*, 100 (1/2/3), 43-55, Amsterdam.
- Gautam, Pitambar; Blaha, Ulrich; Appel, Erwin (2005). Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal. *Atmospheric Environment*, (39), 2201-2211. Amsterdam.
- Grantz, David; Garner, J.; Johnson, Dale (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, (29), 213-239, Amsterdam.
- Maher, Barbara; Moore, Catherine; Matzka, Juergen (2008). Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*, 42 (2), 364-373 Amsterdam.
- Mitchell, Ruth and Maher, Barbara (2009). Evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution. *Atmospheric Environment*, (43), 2095-2103, Amsterdam.
- Nowak, David; Civerolo, Kevin; Rao, S. Trivikrama; Sistla, Gopal; Luley, Christopher and Crane, Daniel (2000). A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*, (34), 1601-1613, Amsterdam.
- Pope III, C. Arden; Burnett, Richard; Thun, Michael; Calle, Eugenia; Krewski, Daniel; Ito, Kazuhiko; Thurston, George (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, (287), 1132-1141, Chicago.
- U.S. Environmental Protection Agency – EPA– (1996). *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. 3 vols. Recuperado de <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?deid=2832#Download> (feb. 2011).
- Vogel, Steven (1996). *Life in moving fluids: the physical biology of flow*. New Jersey: Princeton University Press.
- Yang, Jung; McBride, Joe; Zhou, Jinxing; Sun, Zhenyuan (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening*, (3), 65-78, Jena.
- Yassi, Annalee; Kjellström, Tord; De Kok, Theo y Guidotti, Tee L. (2002). *Salud Ambiental Básica*. México: PNUMA. Recuperado de <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/aea/descargas/yassi01.pdf> (feb. 2011).