

Intercepción de partículas suspendidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el Valle de Aburrá

Total suspended particles interception by five urban tree species in Valle de Aburrá

Byron Duran Rivera¹, Fernando Alzate Guarín^{2*}

¹Grupo de Estudios Florísticos, Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Oriente, Sector 3 Cra 46 N.º 40B-50 Rionegro, Antioquia, Colombia

²Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Calle 67 N.º 53-108, Medellín, Colombia

(Recibido el 15 de enero de 2008. Aceptado el 6 de noviembre de 2008)

Resumen

Durante los meses de mayo a julio de 2005, se evaluó la capacidad de retención de Partículas Suspendidas Totales (PST) en cinco especies arbóreas plantadas en el Valle de Aburrá, mediante la cuantificación de la cantidad de sólidos presentes en el follaje de las especies. Adicionalmente se analizaron características foliares que pudieran influir en la retención de PST. La información obtenida fue extrapolada a la vegetación mantenida por el Metro de Medellín. Se encontró que *Syzygium malaccense* y *Lagerstroemia speciosa*, son más eficientes en cuanto a la intercepción de PST, estimándose que 1379 individuos pertenecientes a las cinco especies evaluadas y establecidas en el perímetro del Metro de Medellín, interceptan 658 Kg/año. Esta investigación buscó generar información que ayude en la toma de decisión de especies a plantar en sitios poluidos, con el fin de maximizar la intercepción de este contaminante.

----- *Palabras clave:* Contaminación, partículas suspendidas totales (PST), árboles urbanos, intercepción, Valle de Aburrá.

Abstract

Between May–July 2005, the capacity of interception of total suspended particles (TSP) by five tree species occurring in Valle de Aburrá was evaluated by measuring the quantity of solids present in the leaves. Morphological features, which could influence contaminant interception, were also analyzed.

* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 4 + 219 56 05, correo electrónico: fernal@biologia.udea.edu.co (F. Alzate).

The information obtained was extrapolated to the total vegetation maintained by Metro of Medellín. *Syzygium malaccense* and *Lagerstroemia speciosa* intercepted more TSP than the other 3 species here evaluated, estimating that 1379 individuals belonging to the five species included in the sampling and established in the perimeter of Medellín Metro, intercept 658 Kg/year. This research wants to generate information that helps to take decisions about the type of species to plant in polluted areas in order to maximize the interception of such contaminants.

----- **Keywords:** Pollution, total suspended particles (TSP), urban trees, interception, Valle de Aburrá

Introducción

Los árboles urbanos influyen positivamente sobre la calidad del aire por su gran capacidad de remoción de contaminantes, debido a que captan gases a través de los estomas y retienen grandes cantidades de partículas aéreas que se sedimentan en la superficie de las hojas [1].

Para el año 1994, se estimó que los árboles urbanos removieron cerca de 1.821 toneladas de contaminantes atmosféricos, en la ciudad de Nueva York, lo cual representa un beneficio económico calculado en 9,5 millones de dólares [1]. Un estimado similar, se obtuvo en Chicago, donde los árboles de ciertas áreas de alto tráfico vehicular de la ciudad, interceptan hasta 234 toneladas de material particulado por año [2].

Al determinar la eficiencia de algunas especies para remover partículas del aire, se obtienen datos que podrían ser usados para guiar la selección de especies a plantar, con la finalidad de maximizar la remoción de partículas de ambientes urbanos, lo cual propendería por solucionar los ascendentes problemas de contaminación de nuestras ciudades [3]. Se ha comprobado que algunos tipos de vegetación urbana, interceptan mayor cantidad de partículas que otras. Por ejemplo, la interceptación de aerosoles es mayor en plantas leñosas que en vegetación herbácea o rastrera y la

mayor efectividad de los bosques en la retención de partículas comparativamente con pastizales, se confirmó en estudios realizados sobre la captura de partículas radioactivas después del accidente de Chernobyl [4].

La capacidad en la interceptación de partículas aéreas por las plantas está influenciada por algunas características propias de las especies como son la fisiología y morfología, además por otros factores extrínsecos a las plantas [1, 2, 4]. Una comparación entre dos especies arbóreas (*Tillia europea* y *Platanus hispanica*), halló que *P. hispanica*, con una superficie foliar total de 481,72 m² interceptaba un total de 88 mg de partículas por m², para un total interceptado de 42,3 g de partículas por individuo, mientras que *Tillia europea* con un área foliar total de 341,12 m² interceptaba 488 mg de partículas por m² y 166.4 g de partículas por árbol; concluyéndose en este análisis, que *Tillia europea* a pesar de tener un área foliar menor, interceptaba mayor cantidad de partículas que *Platanus hispanica* [2].

Comparaciones realizadas entre variables morfológicas y la interceptación de material particulado para algunas especies (*Quercus petrea*, *Eucalyptus globulus*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudo-platanus*, *Pseudotsuga menziesii* y *Ficus nitida*), mostraron que en general las especies con mayor complejidad en las estructuras

caulinares y con hojas mas pequeñas, tenían mayores velocidades relativas de deposición de partículas, o sea mayor capacidad de intercepción de partículas suspendidas [5].

Algunas características morfológicas de las especies son determinantes en la intercepción de Partículas suspendidas totales (PST) y estas se encuentran representadas en la morfología distintiva de cada especie como son la consistencia de las hojas, el área foliar, rugosidad, superficies pubescentes y tallos con superficie compleja e irregular [1, 2, 4]. De forma extrínseca, otras características influyen sobre la capacidad de intercepción de PST como son las estaciones climáticas, el régimen de vientos, la pluviosidad y la concentración del contaminante en cuestión [1, 2, 4].

En laboratorio los métodos para determinar la intercepción de material particulado, consisten en usar túneles de viento, donde se exponen pequeños árboles sembrados en macetas a concentraciones conocidas de material particulado a velocidades de viento conocidas y se cuantifica la efectividad relativa en cuanto a la intercepción de PST de las especies vegetales que se deseen evaluar, para lo cual se utiliza generalmente NaCl como material particulado. Con estos experimentos se intenta simular las condiciones de campo, como la concentración del contaminante, velocidad del viento y humedad relativa [4 - 6].

En campo, la determinación de la cantidad de material particulado que interceptan las plantas, se obtiene colectando muestras de follaje de forma estandarizada y aleatoria, luego en laboratorio a las muestras se les hace un lavado con agua desionizada, se separa el material particulado del agua usando métodos gravimétricos (filtrado con agua) y luego se procede a pesar la cantidad de la muestra y se determinan sus constituyentes utilizando técnicas de microscopía [3, 5, 6].

La idea de utilizar el follaje de las plantas urbanas como elemento descontaminador ha sido propuesto para algunos tipos de gases, sin embargo, su utilidad en la intercepción de partículas de la atmósfera, es reciente y objeto de creciente interés [7].

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Valle de Aburrá, centro del departamento de Antioquia, Colombia, zona metropolitana donde se incluye la ciudad de Medellín. La geomorfología de esta zona es de valle rodeado por montañas con fuertes pendientes, a una altura de 1.490 msnm, con precipitación media anual de 1900 mm, y vientos en dirección norte-sur. En este valle, seleccionaron tres sitios concordantes con estaciones del Metro de Medellín: Niquía, Industriales y Estadio. Se seleccionaron cinco especies arbóreas presentes en las tres ubicaciones, que además presentaran tamaños similares en cuanto a su crecimiento, que se ubicaran a igual distancia de la vía principal y que presentaran diferencias morfológicas en el follaje entre las especies. Las especies seleccionadas fueron: *Syzygium malaccense* (Pera de agua), *Psidium guajava* (Guayabo), *Zygia longifolia* (Suribio), *Mangifera indica* (Mango) y *Lagerstroemia speciosa* (Flor de reina).

Para cuantificar la intercepción de PST por las especies en los tres sitios, se seleccionaron varias ramas de cada árbol, a una misma altura y abiertamente expuestas a la atmósfera; de estas ramas se limpió el material particulado de 30 hojas sanas, las cuales se marcaron. A los 20 días, se colectaron 15 hojas por árbol, de las 30 inicialmente marcadas, se empacaron individualmente y se llevaron al laboratorio de biología de la Universidad Católica de Oriente. Este muestreo se repitió tres veces, sobre las mismas especies de los tres sitios escogidos. Una vez en el laboratorio, cada hoja se lavó con agua, la cual se colectó en frascos de vidrio, para su posterior desecación en estufa a 80°C, tras lo cual solo se conservaba el material particulado de la muestra. Al mismo tiempo, se describieron las siguientes características foliares: relación longitud máxima versus ancho máximo, peso húmedo, peso seco, porcentaje de humedad y porcentaje de materia seca. Los pesos se hallaron usando balanza analítica de cuatro cifras decimales; el peso seco se determinó con las hojas completamente secas en horno a 60° C durante

48 h, el porcentaje de humedad es la fracción de peso total que pierde cada hoja por el secado, el porcentaje de materia seca, es el peso de la hoja seca dividido por el peso fresco. Con las características morfológicas, el peso de las hojas y la cantidad de PST interceptado en todas las muestras se conformó una matriz de correlaciones para determinar cual o cuales de estos caracteres tienen influencia significativa en la capacidad de interceptación de PST. Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las diferencias existentes entre las medias de interceptación de PST de las cinco especies, entre los tres sitios y durante los tres muestreos realizados. Los datos de los tres muestreos se usaron para estimar la interceptación de PST realizada por los árboles de las cinco especies evaluadas y que se encuentran en el trazado del Metro de Medellín. Para esto, se requirió estimar estadísticamente el número total de hojas por árbol, para lo cual se efectuó un muestreo de cincuenta individuos por especie, a los cuales se les midieron los siguientes parámetros: altura total, diámetro de copa, diámetro del tallo a la altura del pecho (DAP=1,30 m) y número estimado de hojas. Para hallar este último valor, se procedió de la siguiente manera: 1) se clasificaron las ramas de cada árbol en varias categorías de longitud, así: Ramas de 1, 2 y 3 metros; 2) se determinó un número promedio de hojas para cada categoría de rama y para cada especie; 3) se contó el número de ramas por categoría; 4) al multiplicar el número de ramas de cada categoría por su número promedio de hojas, se obtuvo el total de hojas por categoría; 5) La suma

del número total de hojas de todas las categorías, arroja el número total de hojas por árbol.

Con los datos colectados de los cincuenta árboles/especie se procedió a hacer un análisis de regresión para determinar cual variable ayudaba a predecir más exactamente el número estimado de hojas. Teniendo esta variable, se estimó la cantidad de PST interceptada por el conjunto arbóreo de las cinco especies halladas en predios del Metro de Medellín. El inventario de la flora del Metro se conoce del estudio “Actualización del inventario de árboles sembrados y/o mantenidos por el Metro de Medellín a lo largo de su trazado” realizado por el herbario de la Universidad de Antioquia (HUA). El inventario contiene datos como altura, diámetro de copa y DAP de todos sus individuos. La estimación se hizo hallando el número de hojas de los individuos, aplicando la ecuación de regresión de cada especie y luego multiplicando este número por el promedio de interceptación de la hoja de cada especie.

Resultados

El promedio de PST interceptada por las cinco especies para los 3 sitios y los tres muestreos, se detalla en la tabla 1. Con estos valores se estimó la interceptación para el total de individuos encontrados en predios del Metro de Medellín de cada una de las 5 especies evaluadas. La figura 1 muestra los promedios de interceptación de PST discriminados por especie, estación y por período de muestreo.

Tabla 1 Interceptación promedio de PST por hoja de cada una de las 5 especies incluidas, obtenido mediante medición en un período de 20 días

	<i>Syzygium malaccense</i>	<i>Psidium guajava</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Mangifera indica</i>	<i>Lagerstroemia speciosa</i>
PST (mg) interceptado por hoja / 20 días.	7,37	4,56	2,42	4,53	6,37

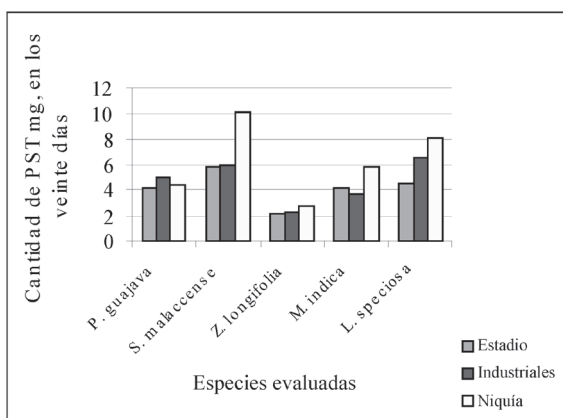


Figura 1 Valores promedio de intercepción de PST en un período de 20 días logrado por cada una de las especies evaluadas, discriminado para cada estación de muestreo

En la tabla 2 se presenta la matriz de correlaciones donde las variables foliares peso seco, peso húmedo, ancho y relación largo por ancho, mos-

traron una correlación estadísticamente significativa ($\geq 0,05$) con la cantidad de PST interceptada por cada una de las especies en experimentación.

En cuanto a los análisis de varianza (ANOVA), se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de PST interceptados comparativamente entre las especies, con la única excepción para la comparación entre *M. indica* y *P. guajava*, las cuales no mostraron diferencias estadísticas entre sí. La comparación entre los tres períodos de muestreo no arrojó diferencias significativas entre las cantidades de PST interceptadas por especie. Entre las estaciones de muestreo se advirtieron diferencias significativas en cuanto a las cantidades de PST interceptadas por especie, siendo los promedios de PST interceptados en las estaciones Estadio e Industriales estadísticamente similares, y estas diferentes con respecto a la estación Niquía. Las medias muestran una mayor intercepción por parte de *Syzygium malaccense* seguida por *Lagerstroemia speciosa*

Tabla 2 Matriz de correlaciones entre cinco características foliares de cada especie (longitud, ancho, relación largo máximo por ancho máximo, peso húmedo y peso seco) y la intercepción de PST durante un periodo 20 días.

	<i>L. cm.</i>	<i>A. cm.</i>	<i>LxA cm.</i>	<i>P. H. g</i>	<i>P. S. g</i>	<i>PST mg.</i>
<i>L. cm.</i>	1,000	0,681	0,769	0,804	0,792	0,404
<i>A. cm.</i>		1,000	0,850	0,887	0,837	0,819
<i>LxA cm.</i>			1,000	0,947	0,932	0,652
<i>P. H. g</i>				1,000	0,977	0,738
<i>P. S. g</i>					1,000	0,710
<i>PST mg</i>						1,000

L: longitud; A: ancho; LxA: relación largo máximo por ancho máximo; P.H: peso húmedo; P.S: peso seco; PST: partículas suspendidas totales. Correlaciones estadísticamente significativas con $P \geq 0,05$

Tal como se muestra en la tabla 3, el DAP es la variable predictora del número estimado de hojas por árbol, de acuerdo a la estimación de las ecuaciones de regresión para cada especie incluyendo 50 individuos por especie.

La tabla 4 presenta la intercepción total de PST para un período de un año estimada en 658,27 Kg, y lograda por la población de árboles de las cinco especies vegetales seleccionadas que se encuentran en predios del Metro de Medellín.

Tabla 3 Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación entre las variables DAP versus número estimado de hojas en las cinco especies evaluadas

	Ecuación de regresión	Coefficiente de correlación (r)	Coefficiente de determinación (R²)
<i>Syzygium malaccense</i>	Y=391,07X+467,36	5,99	0,3597
<i>Psidium guajava</i>	Y=394,16X+1281,6	0,620	0,38844
<i>Zygia longifolia</i>	Y=310,99X+1276,3	0,643	0,4136
<i>Mangifera indica</i>	Y=320,97X+1365,5	0,694	0,4829
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Y=311,8X+1586,7	0,757	0,5745

Tabla 4 Intercepción total estimada de PST para la población de individuos de las cinco especies evaluadas y presentes en predios del Metro de Medellín para un período de un año

	<i>Syzygium malaccense</i>	<i>Psidium guajava</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Mangifera indica</i>	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Total
Número individuos	475	63	364	193	284	1379
Retención de PST en Kg/año	304,78	23,78	76,58	88,67	164,46	658,27

Análisis y discusión

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar la capacidad de intercepción de PST entre las especies *Lagerstroemia speciosa*, *Zygia longifolia* y *Syzygium malaccense*, mientras que *Mangifera indica* y *Psidium guajava* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sus promedios. Beckett *et al* (1998) [6] encontraron diferencias en la eficiencia de intercepción de material particulado entre especies con hojas de diferente tamaño (*Corylus avellana*, *Betula pubescens* y *Acer campestre*), lo cual se atribuye a la conformación de distribuciones aerodinámicas diferentes con respecto a su exposición a las corrientes de aire. *Zygia longifolia* presenta la más baja tasa de intercepción de PST, mientras que *S. malaccense* arrojó el más alto valor, encontrándose que las especies con mayor área foliar intercepearon la mayor cantidad de PST. Este resul-

tado es contrario a lo reportado por otros autores [2] quienes han encontrado que las especies con menor área foliar retienen mayor cantidad de material particulado, ya que de acuerdo a los investigadores, las hojas anchas no favorecen la turbulencia, y este factor es el que permite la descarga de material particulado sobre el follaje. Sin embargo, se deben considerar otras variables morfológicas como pubescencia o la relación foliar largo-ancho para establecer correlaciones más confiables y sustentadas [2]. La estación de muestreo Niquía presentó diferencias significativas en cuanto a la cantidad de PST interceptado por los árboles evaluados, al compararla con los restantes sitios de muestreo (Estadio e Industriales), mientras que las estaciones Estadio e Industriales no presentaron diferencias estadísticas en cuanto a esta variable. El sector de Niquía tiene uno de los mayores índices de contaminación por PST [8] y es actualmente una de las zonas con mayor

cantidad de industrias asentadas, tráfico vehicular y canteras establecidas del Valle de Aburrá. En cuanto a los tres períodos de muestreo, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas para las cantidades de PST retenidas por las especies, esto puede atribuirse a las condiciones estables de concentración del contaminante durante los tres períodos por la baja dispersión en la atmósfera, como es característico del Valle de Aburrá [9]. Las correlaciones mostraron influencia de las variables ancho de la hoja, superficie largo x ancho de la hoja y peso de la hoja (húmedo y seco) sobre la cantidad de PST interceptada, obedeciendo estas variables al efecto de conformar un área rígida expuesta, donde impactan de forma turbulenta corrientes de aire cargadas de partículas [2]. Los árboles pertenecientes a las cinco especies evaluadas en este estudio y ubicados en predios del Metro de Medellín, ascienden a un total de 1.379, los cuales interceptan 36 Kg de PST en períodos de 20 días y 658 Kg/año, suponiendo condiciones no variables.

Conclusiones

Las especies *Zygia longifolia*, *Psidium guajava*, *Mangifera indica*, *Lagerstroemia speciosa* y *Syzigium malaccense* tienen un alto potencial descontaminador de partículas suspendidas totales, ya que sus follajes conforman una barrera, que por sus características morfológicas filtran en ellas cantidades apreciables de PST que se encuentran suspendidas en las corrientes de aire. *Syzigium malaccense* y *L. speciosa* resultaron ser las especies más eficientes en interceptar PST en los tres sitios muestreados.

En la estación Niquía las especies tuvieron los mayores valores promedio de intercepción, lo cual demuestra que la cantidad de PST interceptado por las especies se correlaciona con la concentración del contaminante en la atmósfera, y bajo estas condiciones algunas especies llegan a constituir bioindicadores de la calidad del aire, tal como ha sido propuesto por algunos autores [7].

Los árboles en predios del Metro de Medellín, se constituyen en un importante captador de PST de la atmósfera del Valle de Aburrá. Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la presente investigación, y si se utiliza un promedio general de intercepción de PST de 26,15 g en 20 días, obtenido para las cinco especies aquí evaluadas, se puede proponer que los 6500 árboles censados en el inventario forestal del Metro de Medellín, interceptan en total un valor cercano a 3102 Kg de PST por año.

Las especies *Syzigium malaccense* y *Lagerstroemia speciosa* son recomendables para ser plantadas en sitios con concentraciones altas de PST ya que demostraron ser adecuadas alternativas de descontaminación de material particulado. Se hace necesario además generar mayor información sobre la capacidad de intercepción de otras especies vegetales creciendo en el Valle de Aburrá y conformar bases de datos sobre inventarios de la flora urbana, con el fin de estimar y conocer el potencial beneficio ambiental que se obtiene de esta flora, y utilizar esta estrategia como medida de manejo frente a las altas concentraciones de contaminantes que se encuentran en aumento en las ciudades.

Agradecimientos

Los autores agradecen muy especialmente al Biólogo Felipe Cardona (Herbario Universidad de Antioquia), Nicolás Adolfo Ramírez y Ledys De La Hoz de la Universidad Católica de Oriente y al Metro de Medellín, en especial a la ingeniera Isabel Cristina Giraldo. Igualmente a REDAIRE por permitir utilizar los datos de concentración de PST del Valle de Aburrá.

Referencias

1. D. J. Nowak, K. Civerolo, S. Rao, G. Sistla, C. Luley, D. Crane. "A modeling study of the impact of urban trees on ozone". *Rev. Atmos. Environ.* Vol. 34. 2000. pp. 1601-1613.
2. P. Beckett. "Particulate pollution removal by Urban Trees". http://www.biols.susx.ac.uk/Horne/Kevin_Beckett/. 1998. Consultada en diciembre 12 de 2005.

3. P. H. Freer Smith, P. Beckett, G. Taylor. "Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides x trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus nigra* and *X Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment". *Environmental pollution*. Vol. 133. 2005. pp. 157-167.
4. K. Beckett, P. Freer Smith, G. Taylor. "Particulate pollution uptake by urban trees: effect of species and windspeed". *Global change biology*. Vol. 6. 2000. pp. 1995-1003.
5. P. Freer Mith, A. El khatib, G. Taylor. "Capture of particulate pollution by trees: A comparison of Species Typical of semi-arid areas (*Ficus nitida* and *Eucaliptus globulus*) with European and North American Species". *Water, air and Soil Pollution*. Vol. 155. 2004. pp. 173-187.
6. K. Beckett, P. Freer Smith, G. Taylor. "Urban Woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution". *Environmental Pollution*. Vol. 99. 1998. pp. 347-360.
7. J. Abraham. *Leaves: Monitors of particulate air pollution*. Occupational/Environmental-Patology SUNY Upstate Medical University. <http://www.upstate.edu/pathenvi/JoshLeafsite/index.htm>. 2000. Consultada en agosto de 2005.
8. P. F. Molina, C. Echeverri, D. Aragón, A. Delgado, W. Giraldo, C. Sepúlveda. "Análisis de concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) en el Valle de Aburrá durante el año 2001, ciclos y tendencias". *REDAIRE*. Boletín número 10. 2003.
9. G. Alarcón, J. Gómez, R. Quiceno. "Modelo de dispersión de material particulado para el Valle de Aburrá". *Rev. Cont. Amb*. Vol. 15. 1995. pp. 29-40.