

PÉREZ ARBELAEZIA

18 - Diciembre de 2007

ISSN 0120-7717



Mutisia clematis L

Jardín Botánico de Bogotá
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ
1896 - 1972

Sacerdote - Investigador
Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

PÉREZ
ARBELÁEZIA

Publicación del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, dedicada a la memoria de su fundador, el doctor *Enrique Pérez Arbeláez*, quien consagró su vida a institucionalizar la tradición científica de Colombia y a fomentar la investigación, divulgación y defensa de nuestros recursos naturales.



Mutisia clematis L.

Planta ornamental nativa seleccionada como emblema del Jardín Botánico de Bogotá. Debe su nombre a la exaltación que el ilustre botánico *Linneo* quiso hacer en homenaje a *José Celestino Mutis*.

Es una planta trepadora con zarcillos, hojas tomentosas en tonalidades verde grisáceo y flores casi siempre pedunculares, que con su color rojo vivo atraen insectos y colibríes.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D. C.**

Alcalde Mayor de Bogotá D. C.

Luis Eduardo Garzón

Jardín Botánico de Bogotá

«José Celestino Mutis»

Director

Rolando Higueta Rodríguez

Secretaria General

Angélica Díaz Ortiz

Jefe Oficina Asesor Jurídico

Camilo Andrés Páramo Zarta

Jefe Oficina Asesor de Control Interno

Eduardo Torres Duarte

Asesor de Planeación

Vladimir Forero Serrano

Subdirectora Científica

Claudia Córdoba García

Subdirector Técnico Operativo

Jorge Calderón Vargas

Subdirector Educativa y Cultural

Íverson Alfredo López Celis

PÉREZ ARBELAEZIA

Número 18 - Diciembre de 2007

Publicación Anual

PÉREZ - ARBELAEZIA

La revista *Pérez Arbelaezia* es la publicación científica anual del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Está dirigida a investigadores, estudiantes, científicos y a todas las personas interesadas en los temas que esta aborda.

Publica artículos científicos originales e inéditos que desarrollan temas de botánica, biología de especies y ecología de ecosistemas altoandinos; a la vez, abre el espacio para la presentación de ensayos, reflexiones, revisiones y conferencias que aportan al conocimiento de dichas disciplinas, así como de otras áreas misionales de la entidad tales como la arborización urbana, la agricultura urbana y la educación ambiental.

Comité Editorial

Rolando Higueta Rodríguez	Director
Claudia Córdoba	Subdirectora Científica
Íverson Alfredo López	Subdirector Educativo y Cultural
Santiago Madriñán Restrepo	Profesor. Departamento de Ciencias Biológicas Universidad de los Andes
Hernán Mauricio Romero	Profesor. Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia
Andrés Etter Rothlisberger	Profesor - Investigador Departamento de Biología y Territorio Universidad Javeriana

Editora

Patricia Jaramillo Martínez

Comité Científico



Alberto Gómez Mejía Presidente

Red Nacional de
Jardines Botánicos
de Colombia

Claudia Córdoba Subdirectora Científica

Jardín Botánico

Francisco Sánchez Asesor

Jardín Botánico

Gustavo Morales Coordinador Colecciones

Jardín Botánico

Ricardo Pacheco Investigador

Jardín Botánico

Rito Hernán Cardozo Investigador

Jardín Botánico

Técnico Operativo

Jardín Botánico

Sandra Cortés Investigadora

Jardín Botánico

Grupo de Árbitros

Luis Guillermo Baptiste Docente - Investigador

P. Universidad Javeriana

Olga María Bermúdez Coordinadora - Docente

Red Temática de

Educación Ambiental

IDEA-Universidad

Nacional de Colombia

Andrés Etter R. Docente - Investigador

Departamento de

Biología y Territorio

Universidad Javeriana

Luis G. Gutiérrez L. Docente

Universidad Tecnológica

de Pereira

Luz Adriana Mejía Arquitecta - Planificadora

Independiente

Carlos Javier Mosquera Rector (E)

Universidad Distrital

Francisco José de Caldas

Clara Inés Orozco Docente

Instituto de Ciencias

Naturales Universidad

Nacional de Colombia

Margarita Perea Docente

Universidad Nacional

de Colombia

Martha C. Quicazán Directora

Instituto de Ciencia y

Tecnología de

Alimentos-ICTA

Hernán M. Romero Docente - Investigador

Universidad Nacional de

Colombia

PÉREZ ARBELAEZIA

Publicación anual

© 2007 - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

ISSN 0120-7717

*La reproducción total o parcial de un artículo debe citar la fuente.
Corresponde a los autores la total responsabilidad de las ideas, tesis
y conceptos emitidos en sus respectivos artículos.*

Coordinación general

Claudia Córdoba - Subdirectora Científica

Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

- Corrección:

Germán Ignacio Andrade Pérez

Juan Carlos Gómez Amaya

- Diseño y diagramación:

Bibiana Andrea Alturo M.

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia

Ilustración carátula

Alfonso Robledo Anzola - Arquitecto.

Logo Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Mutisia clematis L.

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. Calle 63 No. 68-95 / Teléfono: 437 7060 / Fax: 630 5075

www.jbb.gov.co

CONTENIDO

Presentación	8
Recorridos guiados y aprendizaje de los niños y niñas en el Jardín Botánico José Celestino Mutis.	
Paola Sierra Manrique	11
Germinación y desarrollo de plántulas de <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav. (Solanaceae) en el Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá, D.C. - Colombia.	
Pamela Tatiana Zúñiga / Ricardo Arturo Pacheco	33
Aplicación de dos técnicas de conservación de alimentos a frutos maduros de ají de clima frío. <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	
María Eugenia Torres C. / Carlos Ernesto Garzón A.	47
Micropropagación de <i>Solanum muricatum</i> Alt. a partir del cultivo de semillas.	
Jaime R. Guzmán Castañeda / Belkys A. Pérez Martínez / Claudia P. González Rojas	61
Propagación vegetativa y sexual de <i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Dietr., especie promisorio del bosque neotropical montano.	
Sergio Leonardo Córdoba Cárdenas	75
Análisis del cambio en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años.	
Camilo A. Correa Ayram	87
Escenarios vivos de aprendizaje: estrategia de divulgación y aplicación de la investigación científica con las comunidades.	
Alexander Delgado Tobón	105
Aporte voluntario para la arborización urbana en el impuesto de vehículos en Bogotá.	
Manuel José Amaya Arias / Paola Andrea Escobar / July Aparicio Cabrera / Julia Andrea Pérez Rojas / Yenny Valverde Niño / Vanessa Cortés Martínez / Germán Herreño Fierro.....	121
Germinación <i>in vitro</i> asimbiótica de semillas maduras de <i>Odontoglossum luteopurpureum</i> H.B.K., <i>Epidendrum cbioneum</i> , <i>Comparettia macroplectron</i> Poepp. & Endl. y <i>Epidendrum</i> aff. <i>portakalium</i> (Orchidaceae).	
Belkys Adriana Pérez Martínez	137
Reflexiones sobre la aplicación del Enfoque Ecosistémico para la conservación de la biodiversidad en la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia.	
C. Lorena Franco Vidal / Germán I. Andrade Pérez	151
Requerimientos de edición para la publicación de artículos en la revista.....	169

PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

El Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis en su calidad de Centro de Investigación y Desarrollo Científico del Distrito Capital está comprometido con el Plan de Desarrollo «Bogotá sin indiferencia un compromiso social contra la pobreza y la exclusión» liderado por el Alcalde Luis Eduardo Garzón, el cual se concreta en el Jardín a través del Plan Estratégico que a su vez comprende una serie de proyectos que materializan el qué hacer institucional.

Con el fin de que la producción de conocimiento en el Jardín Botánico se armonice con el Plan de Desarrollo, además de la investigación pura se está trabajando en investigación aplicada con énfasis en los ecosistemas altoandinos, orientándola hacia las necesidades del Distrito y, por ende, de sus habitantes.

Durante el período 2004 – 2007 el Jardín ha tenido la mayor producción de conocimiento en su historia; parte de la cual nos complace presentar en este número de la revista *Pérez Arbelaez* cuya función esencial es la presentación a la comunidad científica y a los interesados, los resultados de las investigaciones realizadas por los científicos vinculados a la institución, aquellas producto de convenios, así como de entidades afines.

Es así como en el marco del proyecto «Procesos de educación y cultura para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad del Distrito Capital» a cargo de la Subdirección Educativa y Cultural publicamos el artículo Recorridos guiados y aprendizaje de los niños en el Jardín Botánico José Celestino Mutis, producto de la tesis de grado de la educadora Paola Sierra Manrique.

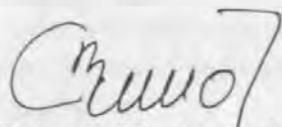
Dentro del marco del proyecto «Uso sostenible de los recursos vegetales del Distrito Capital y la región» la Subdirección Científica presenta los resultados de las investigaciones realizadas, con los siguientes artículos: «Germinación y desarrollo de plántulas de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. (Solanaceae)» en el Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá, D.C. – Colombia, de los investigadores Pamela Tatiana Zúñiga y Ricardo Arturo Pacheco Salamanca; «Aplicación de dos técnicas de conservación de alimentos a frutos maduros de

ají de clima frío *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.», producto del trabajo de María Eugenia Torres C. y Carlos Ernesto Garzón A.; «Micropropagación de *Solanum muricatum* Alt. a partir del cultivo de semillas» de Jaime R. Guzmán Castañeda, Belkys A. Pérez Martínez y Claudia P. González Rojas; «Germinación *in vitro* asimbiótica de semillas maduras de *Odontoglossum luteopurpureum* H.B.K., *Epidendrum chioneum*, *Comparettia macroplectron* Poepp. & Endl. y *Epidendrum* aff. *portakalium* (Orchidaceae)» de Belkys Adriana Pérez Martínez; y en el marco de un convenio con la Universidad Minuto de Dios el artículo «Propagación vegetativa y sexual de *Saurauia scabra* (Kunth) D. Dietr., especie promisorio del bosque neotropical montano» de Sergio Leonardo Córdoba Cárdenas.

En cuanto al «Proyecto conservación de la flora de bosque andino y páramo del Distrito Capital y la región» presentamos los artículos «Análisis del cambio en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en los últimos 40 años» producido por Camilo Correa Ayrán y «Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA: estrategia de divulgación y aplicación de la investigación científica con las comunidades» de Alexander Delgado Tobón.

De la Subdirección Técnica se presentan los resultados de la investigación realizada en el marco del censo del arbolado urbano en el artículo «Aporte voluntario para la arborización urbana en el impuesto de vehículos en Bogotá» producto de la investigación realizada por Manuel J. Amaya Arias, Paola A. Escobar, July Aparicio Cabrera, Julia A. Pérez Rojas, Yenny Valverde Niño, Vanessa Cortés Martínez y Germán Herreño Fierro.

Para finalizar presentamos el artículo «Reflexiones sobre la aplicación del enfoque ecosistémico para la conservación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia» de los investigadores Germán I. Andrade Pérez y Lorena Franco Vidal, de la Fundación Humedales, entidad con objetivos afines a los del Jardín.



Rolando Higuaita Rodríguez

Director

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Aporte voluntario para la arborización urbana en el impuesto de vehículos en Bogotá

Por

MANUEL JOSÉ AMAYA ARIAS¹

PAOLA ANDREA ESCOBAR²

JULY APARICIO CABRERA³

JULIA ANDREA PÉREZ ROJAS⁴

YENNY VALVERDE NIÑO⁵

VANESSA CORTÉS MARTÍNEZ⁶

GERMÁN HERREÑO FIERRO⁷

Recibido: 24 de octubre de 2007 / Aceptado: 14 de noviembre de 2007

Resumen

Existe una relación entre los vehículos que circulan por la ciudad y los árboles. Esta relación tiene dos vertientes: los árboles captan contaminantes generados por las fuentes móviles —específicamente CO_2 — y los vehículos con sus emisiones —especialmente PM_{10} — generan fuertes afectaciones y problemas fitosanitarios en los árboles de Bogotá.

El aporte voluntario de recaudación tiene destinación específica sobre el impuesto de vehículos; con él se apoya el Programa de Arborización Urbana adelantado por el Jardín Botánico José Celestino Mutis para la ciudad de Bogotá.

1. Ingeniero Geógrafo. Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Subdirección Técnica Operativa. Censo del Arbolado urbano. Bogotá Colombia. mamaya@jbb.gov.co
2. Economista. Candidata a Magíster en Economía. Universidad de Luxemburgo.
3. Ingeniera Forestal. Especialista en SIG. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Subdirección Técnica Operativa. Censo del Arbolado urbano. Bogotá Colombia. jmaparicioc@unal.edu.co
4. Ingeniera Forestal. Estudiante de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Subdirección Técnica Operativa. Censo del Arbolado urbano. Bogotá Colombia. japeroz2@gmail.com
5. Estadística. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Subdirección Técnica Operativa. Censo del Arbolado urbano. Bogotá Colombia. ymvalverden@unal.edu.co
6. Ingeniera Forestal, candidata a Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Subdirección Técnica Operativa. Censo del Arbolado urbano. Bogotá Colombia. vanecm@yahoo.com
7. Ingeniero Catastral y Geodesta. Especialista en SIG. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Subdirección Técnica Operativa. Censo del Arbolado urbano. Bogotá Colombia. gherreno@gmail.com



Palabras Clave

Material particulado menor a $10 \mu\text{m}/\text{m}^3$, PM_{10} , dióxido de carbono, CO_2 , problemas fitosanitarios, aporte voluntario.

Volunteer contribution for the urban tree cultivation upon the vehicles tax in Bogotá

Abstract

Exists a relationship between the vehicles running through the city and the trees. This relationship has two aspects: the trees pick up pollutants generate by the mobile sources —specifically CO_2 — and the vehicles with their emissions —specially PM_{10} Particle Matter— generate strong affections and phytosanitary problems in the trees of Bogotá.

The collection volunteer contribution have specific destination on the vehicles tax, through which it would be supported the Urban Tree Planting Program carried out by the Botanic Garden José Celestino Mutis for Bogotá city.

Key words

PM_{10} , CO_2 , phytosanitary problems, volunteer contribution.

INTRODUCCIÓN

Una de las situaciones más preocupantes en materia medioambiental es el mejoramiento de la calidad del aire debido a los niveles de contaminación que se presentan en ciudades como Bogotá. Entre los factores que inciden en este aspecto se encuentran los procesos de urbanización y el crecimiento demográfico acelerado. Ambos hacen que en ciudades como esta la demanda por el uso de los recursos sea cada vez mayor.

Esto a su vez incide directamente en el proceso de contaminación atmosférica. Se deben analizar otras variables que afectan directamente este proceso, como el uso intensivo del transporte vehicular y el desarrollo industrial y tecnológico, que generan altos niveles de concentración de contaminantes.

Un proceso análogo se ha vivenciado en otras ciudades latinoamericanas como Santiago de Chile y ciudad de Méjico donde los niveles de saturación por contaminación han llegado a ser tan altos que los gobiernos han tenido que intervenir en procesos de prevención de contaminación y de descontaminación



a través de programas que permiten mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

A través de este estudio se muestra la importancia del arbolado urbano en la mitigación de la contaminación de la ciudad. Se hizo un análisis histórico de remoción de CO_2 y se evaluaron los efectos del PM_{10} sobre la sanidad foliar de los árboles que forman parte del sistema de circulación urbana en Bogotá, debido a que es la zona más propensa a la contaminación por material particulado por la tracción vehicular. El estudio se hizo con los datos reportados por el operativo del Censo del Arbolado Urbano 2006 del Jardín Botánico.

A partir de este análisis y de la revisión de los niveles de contaminantes en el aire es posible cuantificar los beneficios de los árboles sobre la calidad del mismo y determinar la importancia de orientar la inversión del distrito hacia el manejo del arbolado urbano de la ciudad, para el posible desarrollo de un aporte voluntario de los contribuyentes del Impuesto sobre Vehículos Automotores matriculados en Bogotá —Proyecto de Acuerdo 169 de 2007—.

METODOLOGÍA

Para el caso en concreto del estudio la evaluación que se hace sobre el Impuesto de Vehículos se refiere a la utilización de un instrumento económico adicional, que en este caso corresponde un aporte voluntario utilizado como instrumento económico para interiorizar las externalidades negativas causadas por la contaminación.¹ Este mecanismo permite, a través de una medida intervencionista, aproximar el equilibrio entre el costo social y el privado y mejorar la calidad ambiental mediante la inversión en el mantenimiento y en la plantación de árboles en el espacio público.

Ese aporte puede ir a varias causas benéficas: una de ellas es ayudar al Programa de Arborización Urbana —Proyecto 7059 «Planificación y fomento de la arborización de la ciudad, para un mejor hábitat»—. En la medida en que se planten más árboles dentro del Distrito Capital se contribuye con la captación de emisiones de CO_2 ; esto genera impactos positivos en el ambiente y en la comunidad. Otra es invertir en programas de sanidad vegetal que, como se demostrará más adelante, el PM_{10} generado por fuentes móviles tiene una relación directa con las afectaciones fitosanitarias.

1. IDP 1996. Uso de Instrumentos Económicos en Política Ambiental. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Pontificia Universidad Javeriana.



Como la institución facultada para trabajar en los programas de arborización en la ciudad es el Jardín Botánico José Celestino Mutis, JBB, lo pertinente es que todos los aportes que se recauden por este concepto se destinen específicamente al programa de arborización. Esto significa que para el JBB será un ingreso adicional a las transferencias presupuestarias regulares que recibe de parte de la Secretaría de Hacienda Distrital por ser una entidad adscrita al Distrito.

Análisis de la relación necrosis y clorosis con PM_{10}

La clorosis es el cambio en la coloración normal de las hojas que se evidencia por la aparición de tintes claros o amarillentos en el follaje. La necrosis es el proceso degenerativo del tejido foliar por muerte celular. El PM_{10} es una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas en suspensión en el aire con diámetro aerodinámico inferior a 10 μm ; este material particulado se puede originar por combustión de motores, actividades industriales, erosión de la superficie de las carreteras por tráfico rodado, abrasión de frenos y neumáticos de vehículos y trabajos en cuevas y minas (OMS 2007).

Se tiene la hipótesis de que existe una relación directa entre la concentración de PM_{10} en el ambiente y la presencia de síntomas de clorosis o necrosis en los árboles. Esta hipótesis se basa en las afirmaciones hechas en los dos estudios que se citan a continuación:

«Las partículas de polución pueden depositarse en las superficies de las hojas a través de sedimentación, bajo la influencia de la gravedad o por el viento. La intercepción y la retención de partículas en las plantas es altamente variable: las hojas pequeñas y con superficie rugosa son más eficientes en la colección de partículas que las hojas largas y con superficies lisas.» (Nowak, D. 1994).

«Las partículas PM_{10} atmosféricas tienen una composición variable que incluye óxido de nitrógeno, NO_x , óxido de azufre, SO_2 , y partículas orgánicas volátiles, VOC, que producen alteraciones graves de tipo estructural y funcional en las plantas. La necrosis tiene lugar cuando se ha dañado el parénquima esponjoso o el parénquima de empalizada; la hoja aparece muy descolorida, con posible pérdida de tejido y con orificios. Un efecto menos dramático aparece cuando se descolora, con reducción o pérdida de cloroplastos o clorosis.» (Ciernad 2005).



Para sustentar lo anterior se partió de información aportada por el Censo del Arbolado Urbano, CAU,² en donde se tomaron los síntomas de sanidad foliar necrosis y clorosis, clasificadas en dos categorías: uno (1) si el individuo presenta el síntoma y cero (0) si no lo presenta. Para el PM_{10} se tomaron datos de la Red de Calidad de Aire del DAMA en el año 2006, los cuales se clasificaron en cinco intervalos de acuerdo con la unidad de medición $\mu g/m^3$ y el mapa de distribución de PM_{10} en Bogotá: 38-61, 61-83, 83-106, 106-128 y 128-151 (Gráfica 2).

Para validar esta hipótesis, teniendo en cuenta que las variables en estudio se encuentran en formato categórico —incluyendo clorosis y necrosis—, se hizo un análisis multivariado para evaluar asociación por el método de correspondencias múltiples.

Esta técnica estadística es aplicada al estudio de variables categóricas. El objetivo de este método es representar la estructura de asociación de las variables en estudio en un espacio de dimensión menor, de tal forma que se pierda la menor variabilidad posible; es decir, que se preserve la estructura de correlación de los datos originales, permitiendo identificar las características que tienden a aparecer asociadas (Díaz 2002).

Se realizó el análisis con base en los datos de 124208 árboles censados. Se incluyeron todas las especies en el sistema de emplazamiento de circulación urbana,³ ya que es en estas vías en donde se presenta el mayor número de individuos afectados en el tejido foliar por necrosis y clorosis de acuerdo con los análisis y los datos del CAU.

Es importante aclarar que en un principio el análisis de correspondencias se hizo excluyendo las especies de Urapán y Caucho Sabanero debido a que en la literatura se reporta que en dichas especies estos tipos de sintomatología se presentan también por otras causas como herbivoría y deficiencias nutricionales. El resultado de este análisis no presentó diferencias notables con los resultados obtenidos para todas las especies. Por esto se optó por realizar el análisis incluyendo los individuos de todas las especies situadas en el sistema de circulación urbana.

2. Proyecto actualmente ejecutado por el Jardín Botánico José Celestino Mutis.

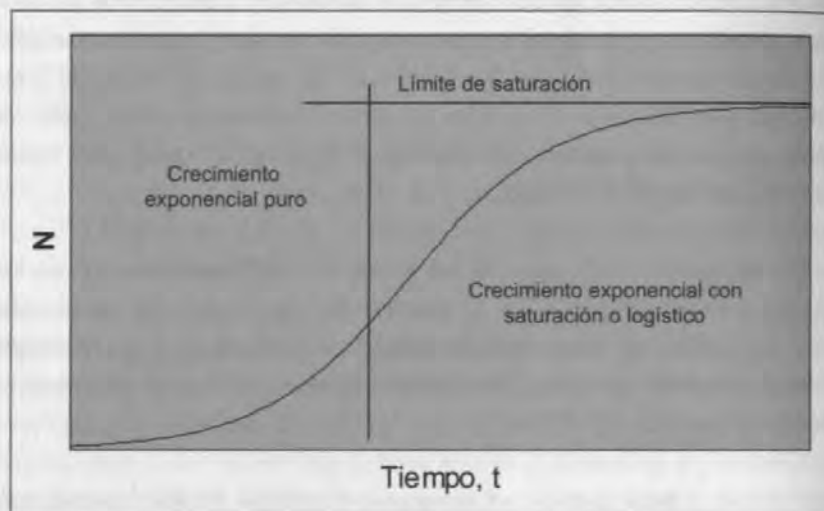
3. Los datos fueron recolectados en el operativo de campo de los censos arbóreos de 2005 y 2007.

Análisis de estimación de la captura de CO₂

Con la información proveniente del CAU sobre diámetro a la altura del pecho, DAP, y altura total de cada árbol se estimó la captura de CO₂. Dado que la madera constituye el almacén principal de carbono en tejido vivo se estimó la biomasa del fuste y la densidad de la madera por especie para correr un modelo que permitiera obtener las toneladas de carbono capturado por parte del arbolado. Para esto se utilizó la información del arbolado en espacio público de uso público de las localidades que fueron censadas en su totalidad hasta septiembre de 2007.

Modelo de crecimiento de los árboles y captura de carbono

A partir de los estudios sobre el crecimiento de las poblaciones humanas hechos por Verhulst (1838) se hizo evidente que los patrones de crecimiento de las poblaciones de seres vivos podían ser representados gráficamente (Gráfica 1).



Gráfica 1. Representación modelo logístico de crecimiento

En el eje X se tiene la variable tiempo y en el eje Y la variable que corresponde al crecimiento de la especie —expresado en altura o DAP—.

Este tipo de crecimiento se denomina crecimiento logístico y puede ser descrito matemáticamente por la función:

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(\frac{1-x}{k} \right)$$



El modelo logístico presenta las siguientes características:

1. La fase inicial de crecimiento es muy acelerada y corresponde a un desarrollo o crecimiento de tipo exponencial.
2. La segunda fase de crecimiento es lenta y se denomina *plateau* o crecimiento asintótico. En la Gráfica 1 la asíntota se representa en el inicio del límite de saturación.
3. Las constantes r y k se denominan respectivamente tasa reproductiva y capacidad de carga.

Los árboles crecen siguiendo un modelo logístico. En sus primeros años presentan un rápido crecimiento que luego va haciéndose más lento a medida que el árbol madura y luego envejece, de tal forma que en las primeras etapas de crecimiento se desarrollan rápidamente y el potencial de remoción es alto. Al llegar a la madurez las tasas de respiración y de fotosíntesis se equilibran, es decir, que lo respirado —removido— por el árbol es consumido en su metabolismo. De esta manera el arbolado que representa un alto potencial para captación es aquel que se encuentra en estado juvenil y adulto, para lo cual actualmente se está ajustando el modelo con el fin de obtener las tasas y los potenciales de captación del arbolado que ha sido plantado recientemente y de aquel que no ha llegado a su senescencia.

El biólogo Ludwing von Bertalanffy, uno de los creadores de la Teoría General de Sistemas, desarrolló un modelo general de crecimiento en seres vivos en función del tiempo de vida. Es un modelo de tipo exponencial para el crecimiento individual y uno de los más aplicados a la epidometría.

Modelo de captura de CO_2

El modelo que se usa generalmente estima la cantidad de carbono total removido —el CO_2 que ha tomado el árbol en su ciclo de vida— y ha sido validado experimentalmente en varias regiones del país con métodos de tala rasa y con modelos matemáticos estándar de la FAO desarrollados por Brown (1996). Este estudio realizó métodos de cosecha para cada uno de los componentes del árbol y halló la relación entre biomasa total del árbol con biomasa del fuste, encontrando un factor de expansión de biomasa, FEB,⁴ para todas las regiones de Colombia. El factor calculado para Colombia se encuentra en un rango de 1.12 a 1.72 con un promedio de 1.34 para todos los ecosistemas.

4. El FEB es empleado para estimar la biomasa de otras estructuras de almacenamiento de carbono como hojas, ramitas, frutos, etcétera.



Matemáticamente el modelo aplicado por individuo es el siguiente:

$$BT = FEB * V * DB$$

Donde:

BT = Biomasa total del árbol

FEB = Factor de expansión de biomasa

V = Volumen m³/ha

DB = Densidad básica

Dada la heterogeneidad del arbolado y la ausencia de información de plantaciones en el período anterior a 1998 aún se está ajustando el modelo para presentar una tasa de plantación en la cual se emplea la noción de crecimiento de von Bertalanffy.

RESULTADOS

Análisis PM₁₀

Para hallar las relaciones entre PM₁₀ y necrosis y clorosis con el procesamiento de los datos se encontró que el porcentaje de árboles afectados en el emplazamiento de circulación urbana es alto respecto al total de los árboles censados, como lo presentan las Tablas 1 y 2.

Necrosis	Frecuencia	%
No presenta	6342	51.10
Presenta	60788	48.90
Total	124208	100.00

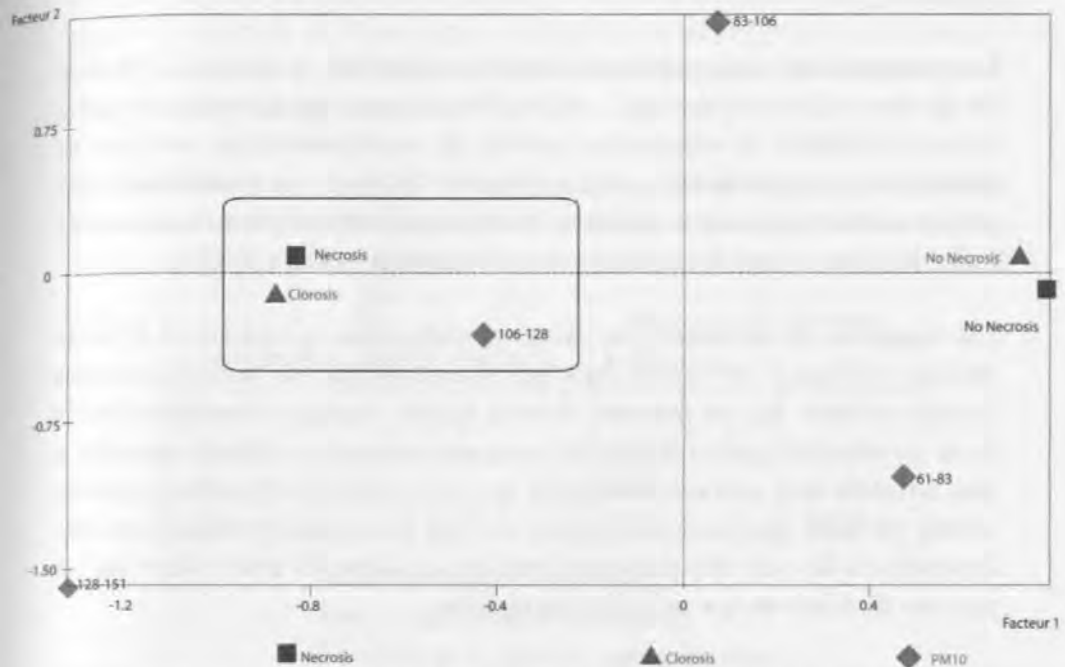
Tabla 1. Frecuencias en que se presenta necrosis

Clorosis	Frecuencia	%
No presenta	68175	54.90
Presenta	56033	45.10
Total	124208	100.00

Tabla 2. Frecuencias en que se presenta clorosis



A continuación se muestra el plano factorial de correspondencias entre las variables a analizar (Gráfica 2). El análisis de correspondencias permite la extracción de nuevas variables —factores— que resumen de una manera organizada la información significativa contenida en los datos de tablas de contingencia; estas sirven como soporte numérico de esta metodología y se muestran más adelante.



Gráfica 2. Representación del plano factorial del análisis de correspondencias

La Gráfica 2 corresponde a un plano representado por dos ejes factoriales factor 1 y factor 2. Estos ejes son los que recogen el mayor porcentaje de variabilidad de los datos y permiten comparar las variables entre sí. La cercanía entre puntos representa características que se interpretan como alta probabilidad de respuesta simultánea o correspondencia —asociación—. Por otro lado los puntos alejados indican no correspondencia —no asociación— entre las variables de la distribución de la muestra o población, según las modalidades de la variable. Las características de baja frecuencia se encuentran generalmente en los extremos. Como se denota en la gráfica el factor 1 está altamente influenciado por afectaciones de tipo foliar y el factor 2 por la variable PM_{10} .

En un extremo del eje factorial 2 se ubica la variable de PM_{10} —128-151 $\mu g/m^3$ — con el valor más alto. Este fenómeno se presenta debido a la baja cantidad de datos disponibles para el análisis; se incluyeron 3150 individuos que representan el 2.5 por ciento del total de los datos incluidos para el análisis, ya que en las zonas de PM_{10} más alto en la fecha de realización del estudio no se tenían datos del operativo del censo en las localidades Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

Los resultados de correspondencia obtenidos entre PM_{10} y afectación foliar de los árboles —clorosis y necrosis— se corroboran con lo siguiente: «La distancia de una modalidad al origen en el análisis de correspondencias múltiples es inversamente proporcional a su participación. Es decir, las modalidades con participación baja aparecen más alejadas del origen por tener menor número de individuos que las modalidades de mayor frecuencia.» (Díaz 2002).

Las categorías de *no necrosis* y *no clorosis* se encuentran agrupadas en la parte derecha del plano; esto quiere decir que si un individuo no presenta necrosis es muy probable que no presente clorosis. El caso análogo se evidencia en la parte derecha del gráfico donde las categorías necrosis y clorosis aparecen a una distancia muy cercana, indicando que si un individuo presenta necrosis es muy probable que presente también clorosis. Este hallazgo sugiere una alta dependencia de estos dos síntomas: antes de la muerte del tejido foliar hay un proceso de deterioro que se inicia con clorosis.

En cuanto al PM_{10} se evidencia que su nivel más alto en el área geográfica de estudio —106-128— está situado muy cerca de las categorías necrosis y clorosis, lo que sugiere una correspondencia; es decir, en lugares donde hay niveles altos de PM_{10} es más frecuente encontrar individuos con *clorosis*, *necrosis* o los dos síntomas simultáneamente que en las áreas con menores niveles de concentración del PM_{10} ; esto para los individuos situados en zonas de circulación urbana.

Las siguientes tablas de frecuencia presentan evidencia de los resultados obtenidos con el análisis de correspondencias.

En la Tabla 3 se observa que el porcentaje de árboles con clorosis se incrementa cuando el nivel de PM_{10} se hace más alto —esta relación es evidente en el Gráfico

3—. Es decir, de 14924 individuos ubicados en el nivel de PM_{10} 61-83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se incrementa a 18154 individuos situados en el nivel de PM_{10} 83-106 y desde este punto aumenta a 20937 individuos en los sitios con concentraciones de 106-128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso del nivel más alto de PM_{10} solo hay una pequeña parte de árboles censados —5 por ciento del total—. Sin embargo, el 64.1 por ciento de los individuos en este nivel tienen problemas de clorosis, siendo más alto que el porcentaje de los individuos afectados en otros niveles de PM_{10} . Se hizo la prueba ji cuadrado de Pearson para evaluar la asociación. Se encontró que con un 95 por ciento de confiabilidad existe asociación entre la concentración de PM_{10} y la presencia de clorosis.

De forma similar se evidencia dicha relación con la necrosis. La tabla de frecuencias muestra las asociaciones del gráfico de correspondencias: a mayores niveles de PM_{10} el porcentaje de árboles con afectación de necrosis aumenta. El

Concentración de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Presencia de clorosis	
	Frecuencia	%
61-83	14924	40.90
83-106	18154	41.80
106-128	20937	50.80
128-151	2018	64.10

Tabla 3. Relación entre clorosis y PM_{10}

Test χ^2 para evaluar asociación

$$\chi^2 = 1446.9 \quad gl = 3 \quad \text{valor } p < 0.00001$$

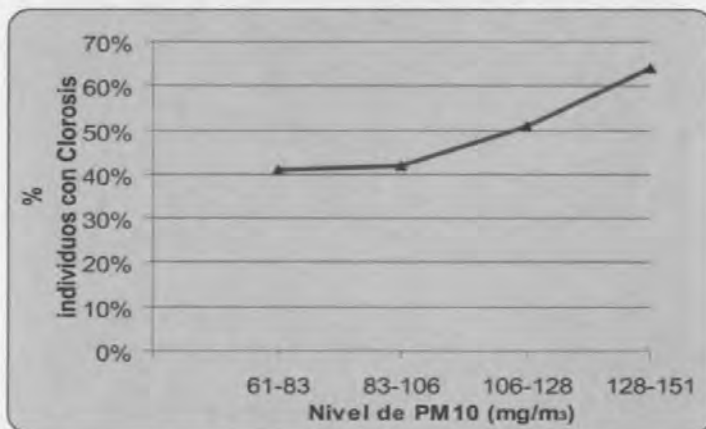


Gráfico 3. Relación entre clorosis y PM_{10}



mayor intervalo de aumento de este tipo de afectación en los árboles censados se observa cuando se pasa del nivel de 106-128 a 128-151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; se incrementa en un 11.3 por ciento. Por tanto, el porcentaje más alto de los individuos que presentan necrosis —66 por ciento— se encuentra en el nivel más crítico de PM_{10} en Bogotá —128 a 151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ —. Al igual que en el caso anterior, soportado en la prueba ji cuadrado de Pearson, se encontró que esta relación es significativa.

Es importante aclarar que existe una relación entre clorosis y necrosis y el PM_{10} ; sin embargo, esto no indica que el PM_{10} es el único causal de tales síntomas y para conocer su aporte se deben realizar estudios específicos en especies particulares que determinen el grado de participación de este agente en la presencia de este tipo de afectaciones en el arbolado.

Concentración de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Presencia de necrosis	
	Frecuencia	%
61-83	14547	39.90
83-106	21632	49.90
106-128	22531	54.70
128-151	2078	66.00

Tabla 4. Relación entre necrosis y PM_{10}

Test χ^2 para evaluar asociación

$$\chi^2 = 2123.3 \quad gl = 3 \quad \text{valor } p < 0.00001$$

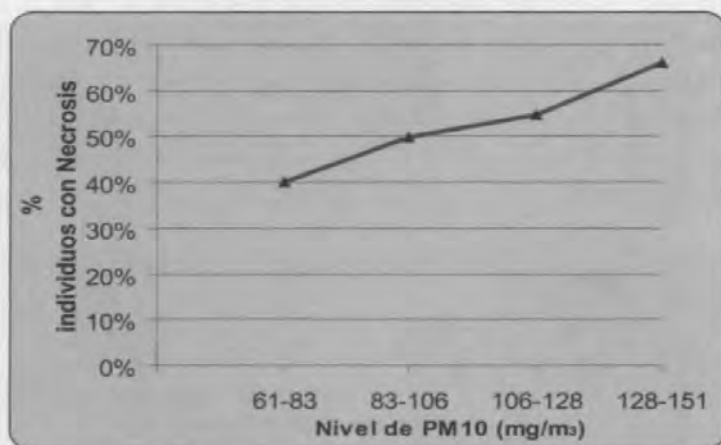


Gráfico 4. Relación entre necrosis y PM_{10}

Localidad	Total de árboles	Árboles incluidos en el modelo	Área (Ha)	Densidad árboles modelo	Total CO capturado (Ton)	Total CO ₂ capturado (Ton)	CO ₂ capturado (Ton/ha)
Candelaria	3224	1801	206.30	8.73	155.09	568.68	2.76
Mártires	5695	2744	651.41	4.21	139.14	510.17	0.78
Antonio Nariño	9106	4158	487.96	8.52	196.2	719.3	1.47
Chapinero	30509	17665	1206.91	14.64	2810.64	10305.69	8.54
Barrios Unidos	30825	15381	1190.32	12.92	1242.16	4554.60	3.83
Teusaquillo	56684	29276	1419.32	20.63	2019.77	7405.83	5.22
Usaquén	81384	39572	3521.66	11.24	5186.17	19015.95	5.40
Kennedy	97203	41647	3857.43	10.80	1742.32	6388.52	1.66
Engativá	85739	43208	3588.12	12.04	2089.20	7660.00	2.13
TOTAL	400369	195452	16129	104	15581	57129	

Tabla 5. Estimación de CO₂ captado en localidades censadas (CAU)

Estimación de captura de CO₂

La biomasa fue calculada para cada individuo. En la Tabla 5 se muestra la sumatoria de la remoción estimada de carbono total en cada localidad. Al tener la biomasa de cada árbol se obtiene el 50 por ciento de su valor, lo cual ha sido considerado como la cantidad de carbono de la que está compuesta la biomasa. Luego se realiza la sumatoria por localidad y se obtiene el total de carbono removido.

El total de individuos censados en las nueve localidades fue de 400369, de los cuales 195452 fueron seleccionados con los siguientes parámetros: árboles con altura ≥ 1.9 m y con DAP > 0 . De esta manera con tan solo el 48.9 por ciento de la población arbórea ubicada en 16129 ha, que corresponden al 50.7 por ciento del área del distrito, se ha removido en todo su ciclo de vida un total de 57129 ton de CO₂.

La localidad que ha removido una cantidad mayor de CO₂ es Usaquén, dado que presenta el mayor porcentaje de individuos con los requerimientos que exige el modelo.

Las especies que en general reportan la mayor cantidad de carbono removido son el Eucalipto y el Urapán, debido principalmente a que son las especies que fueron plantadas hace más de 25 años.



Observando el comportamiento en algunas localidades como en Antonio Nariño las especies que han removido una mayor cantidad de CO_2 son el eucalipto común —un solo individuo puede remover hasta 4.4 ton— el Urapán —3.49 ton— y la Acacia —3.47 ton—. Estos árboles presentan alturas superiores a los 20 m.

En la localidad de Barrios Unidos el comportamiento de las especies es similar al de Antonio Nariño. El árbol que más ha capturado es un eucalipto de 33 m de altura —14.9 ton—, luego un Urapán de 21 m de altura con 11.16 ton y un Ciprés de 24 m de altura que presenta una remoción de 9.2 ton.

Entre los individuos que han capturado valores menores a 1 predomina la *Acacia bracteata* que presenta un rango de altura entre 1.91 y 5 m con un promedio de 2.69 m.

En la localidad de La Candelaria solo 13 árboles presentan cantidades de remoción menores a 1, con especies de acacia negra y tabaquillo, con alturas entre 1.90 m y 2.72 m.

CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar una relación entre las emisiones de contaminantes de fuentes móviles y el arbolado. Esta relación está mediada por dos premisas: las emisiones más altas de PM_{10} se asocian con los síntomas de clorosis y necrosis foliar que afectan notablemente la sanidad del arbolado de Bogotá y el arbolado urbano tiene un importante papel en la captación de CO_2 proveniente de fuentes móviles. La captación total de CO_2 se estimó mediante la aplicación de un modelo —en 9 localidades con datos del CAU— en 57129 ton.
- Comprobada esta relación se puede afirmar que no solo es pertinente sino necesario el aporte voluntario o pago adicional en el impuesto de vehículos con destino al apoyo de programas de arborización urbana.
- Lo recaudado por concepto del aporte voluntario debe ser trasladado al Jardín Botánico José Celestino Mutis, entidad responsable del arbolado urbano en el espacio público de uso público de Bogotá. Esta contribución debe tener destinación específica y ser adicional a las transferencias regulares que el D.C. realiza al presupuesto del Jardín.



- La búsqueda de un instrumento económico como el aporte voluntario permitirá generar impactos positivos desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad del aire y de la calidad de vida de los habitantes en su entorno —reducción de ERA—. En este caso el árbol urbano juega el papel principal en la medida en que no solo ayuda a disminuir el nivel de concentraciones de contaminantes —CO₂— sino que a su vez mejora la calidad del espacio público de la ciudad.
- En ese sentido el apoyo a estos programas derivará en una serie de beneficios directos —adicionales— como la reducción de la contaminación visual y auditiva, la regulación climática, la protección de cuencas y cuerpos de agua, el mejoramiento del paisaje, el aporte cultural, simbólico y recreativo e incluso la valorización de la propiedad.
- El apoyo a los programas de arborización urbana puede generar también beneficios indirectos percibidos por la reducción en los índices de morbilidad y mortalidad por ERA, a través de la fijación de CO₂ y de la retención de material particulado en los árboles que de otra forma tendrían repercusiones negativas sobre la salud humana; del mismo modo repercutiría en una reducción de los costos de tratamiento especialmente en grupos poblacionales sensibles.
- Se debe informar a la comunidad —sobre todo a los propietarios de vehículos— sobre los resultados de este estudio debido a que a partir del conocimiento sobre los impactos de sus emisiones en la calidad del aire y en el arbolado de la ciudad y en la misma comunidad —población más vulnerable— las personas podrían verse incentivadas a hacer un uso más racional del automóvil y a realizar aportes para el mejoramiento de la calidad del aire de Bogotá, por ejemplo a través del aporte voluntario en el impuesto de vehículos).
- A través del instrumento sería posible reducir los costos sociales, ambientales y de recuperación del recurso afectado por la emisión de contaminantes atmosféricos.

Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente a quienes colaboraron con la captura de datos a través del Censo del Arbolado Urbano y a la Secretaría del



Medio Ambiente de Bogotá, Red de Calidad de Aire, por los datos de PM_{10} suministrados.

Bibliografía

- Brown.** 1997. *Stimating biomass and biomass change in tropical forest: a primer*. FAO forestry paper.
- Ciiemad.** 2005. *Evaluación de la pérdida de espacios agroecológicos de la zona metropolitana de la Ciudad de Méjico*.
- Dama.** 2005. *Red de monitoreo de aire*. Informe anual.
- Dama.** 2006. *Diagnóstico política de aire – documento borrador*. En página web: <http://observatorio.dama.gov.co>. Consultada en abril de 2007.
- Díaz, L.** 2002. *Estadística multivariada: inferencia y métodos*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
- Del Valle.** 1996. *La asintota de la curva especies - aérea como expresión de la riqueza biológica*. En: Crónica forestal y del medio ambiente. Diciembre, vol. 11. N° 1. Universidad Nacional de Colombia.
- Del Valle.** 1999. *Mortalidad, sobrevivencia y vida media del árbol tropical *Campnosperma panamensis**. En: Crónica forestal y del medio ambiente. Notas divulgativas. Diciembre, vol. 14. N° 1. Universidad Nacional de Colombia.
- Nodwak, D.** 1994. *Air pollution removal by Chicago's urban forest*. En: Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago urban forest climate project.
- Organización Mundial de la Salud.** 2007. *Las directrices sobre la calidad del aire y la salud pública: actualización mundial*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html> Consultado 24 de octubre de 2007.
- Secretaría Distrital de Ambiente, SDA.** 2007. *Observatorio ambiental de Bogotá – Red de monitoreo de calidad del aire*. Página web: <http://observatorio.dama.gov.co>. Consultada en abril de 2007.
- Unrcd.** 2000. *Protección del aire y el clima a través del manejo integrado del transporte, usos del suelo y consumo de energía*. Oficina para América Latina y El Caribe.
- Verhulst, P.** 1838. *El derecho que tienen las poblaciones futuras al crecimiento*. Corr. Math. Phys. 10:113-121.