

PÉREZ ARBELAEZIA

Diciembre de 2006

ISSN 0120-7717



Mutisia clematis L

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



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ
1986 - 1972

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

PÉREZ
ARBELAEZIA

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"

Directora
Martha Liliana Perdomo Ramírez

Secretaria General
Angélica Díaz Ortiz

Jefe Oficina Asesora Jurídica
Edna Patricia Rangel Barragán

Jefe Oficina Asesora de Control Interno
Nancy Sanabria Rojas

Asesor de Planeación
Vladimir Forero Serrano

Subdirectora Científica
Claudia Córdoba García

Subdirector Técnico Operativo
Rolando Higueta Rodríguez

Subdirectora Educativa y Cultural
Paola Liliana Rodríguez Suárez

PÉREZ ARBELAEZIA

Número 17 - Diciembre de 2006

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

Martha Liliana Perdomo	Directora
Claudia Córdoba	Subdirectora Científica
Paola Rodríguez	Subdirectora Educativa 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

Editores

Patricia Jaramillo Martínez
Germán I. Andrade Pérez

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
Rolando Higueta	Subdirector	
	Técnico Operativo	Jardín Botánico
Sandra Cortés	Investigadora	Jardín Botánico

Grupo de Árbitros

Antonio Luis Mejía	Biólogo - Investigador	Labfarve
Carlos César Parrado	Director	Institución Ferial de Barbastro - IFB
Carlos Valderrama	Coordinador Diseño de Áreas y SIG	Wildlife Conservation Society - Programa Colombia
David Rivera	Biólogo - Investigador	Independiente
Edgar E. Cantillo H.	Ingeniero Forestal - Investigador - Docente	Universidad Distrital
Heliodoro Sánchez	Ingeniero Forestal - Investigador - Docente	Francisco José de Caldas
Jaime Aguirre	Director	Independiente
		Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia
María Teresa Pulido	Profesora - Investigadora	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Méjico.
Marina A. Correa	Docente	Universidad Nacional de Colombia
Orlando Vargas	Profesor - Investigador	Universidad Nacional de Colombia
Santiago Díaz P.	Presidente	Academia de Historia

PÉREZ ARBELAEZIA

Publicación anual

© 2006 - 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

Paola Rodríguez Suárez - Subdirectora Educativa y Cultural

Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

- Corrección:

Germán Ignacio Andrade Pérez

Camila Gaitán Gaitán

Juan Carlos Gómez Amaya

- Diseño y diagramación: Bibiana Andrea Alturo M.

Impresión

Universidad Nacional de Colombia - Unibiblos

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
Dinámica de la germinación y desarrollo plantular en <i>Plantago australis</i> Lam. ssp. <i>oreades</i> (Decne) Rahn	
Héctor Orlando Lancheros.....	11
Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre la producción de biomasa en <i>Plantago australis</i> Lam. ssp. <i>oreades</i> (Decne) Rahn	
Héctor Orlando Lancheros / Hernán Cardozo.....	23
Estudio etnobotánico del manejo, uso y comercialización de plantas arvenses comestibles en las plazas de mercado de Bogotá, D.C. Colombia	
Nathalia Molina.....	37
Extracción de taninos de frutos del mortiño, <i>Hesperomeles goudotiana</i> Decne Killip. Rosaceae, Para ser utilizado en la formulación de un jabón con propiedades astringentes	
María Eugenia Torres.....	53
Planes locales de arborización urbana: estructura y distribución del arbolado de la localidad de Chapinero	
Manuel José Amaya Arias.....	67
Producción de estructuras reproductivas de <i>Ulex europaeus</i> y <i>Teline monspessulana</i> en tres tipos de vegetación en el Cerro de Monserrate, Bogotá, D.C. – Colombia	
Héctor Felipe Ríos A.....	93
Contribución al estudio de la distribución vertical de epifitas vasculares en un relicto boscoso de Junín, Cundinamarca. Colombia.	
Carlos A. Rodríguez Beltrán.....	121
Hongos liquenizados como bioindicadores: macrozonas de isocontaminación atmosférica de Bogotá, D.C. (Cundinamarca, Colombia)	
Wilmer González Aldana.....	137
Hongos fitopatógenos de cuatro especies arbóreas en el contexto urbano	
Raúl Manuel Posada.....	155
Los ecosistemas de manglar en Colombia: situación actual y perspectivas	
Ricardo Álvarez León.....	169
Estudio corológico y fenológico de ocho especies del bosque andino con fines de restauración ecológica	
Yesid Lozano Ramírez / Leonardo Molina Portuguese / Jairo Silva Herrera / Claudia Alexandra Pinzón.....	187
Requerimientos de edición para la publicación de artículos en la revista.....	211

PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

Me complace mucho tener el gusto de presentar el ejemplar número 17 de la revista científica del Jardín Botánico *Pérez Arbelaez*. Con este hemos logrado dar continuidad a la publicación y cumplir los requisitos para su indexación, posición que vincula las investigaciones aquí presentadas al saber de la comunidad científica internacional. Esperamos sea un logro a partir de este número, en el cual podremos apreciar cómo cada vez con mayor claridad se perfila la especialización de las investigaciones adelantadas en el Jardín por un selecto grupo de científicos, así como por parte de las entidades afines sobre los ecosistemas tropicales de alta montaña.

Por tal motivo encontrarán en este ejemplar los resultados de investigaciones que aportan al conocimiento de nuestros ecosistemas y sus componentes como: Dinámica de la germinación y desarrollo plantular en *Plantago australis* Lam. ssp. *oreades* (Decne) Rahn; Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre la producción de biomasa en *Plantago australis* Lam. ssp. *oreades* (Decne) Rahn; Estudio etnobotánico del manejo, uso y comercialización de plantas arvenses comestibles en las plazas de mercado de Bogotá, D.C., Colombia; Extracción de taninos de frutos del mortiño (*Hesperomeles goudotiana* Decne Killip. Rosaceae) para ser utilizados en la formulación de un jabón con propiedades astringentes.

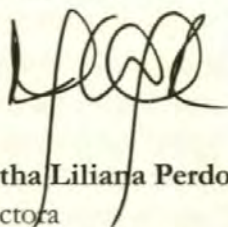
También encontrarán los artículos: Planes locales de arborización urbana: estructura y distribución del arbolado de la localidad de chapinero; Producción de estructuras reproductivas de *Ulex europaeus* y *Teline monspessulana* en tres tipos de vegetación en el Cerro de Monserrate, Bogotá D.C., Colombia; Contribución al estudio de la distribución vertical de epifitas vasculares en un relicto boscoso de Junín, Cundinamarca, Colombia; Hongos liquenizados como bioindicadores: macrozonas de isocontaminación atmosférica de Bogotá,

D.C., Cundinamarca, Colombia; Hongos fitopatógenos de especies arbóreas;
Los ecosistemas de manglar en Colombia: situación actual y perspectivas;
Estudio corológico y fenológico de ocho especies del bosque andino con fines
de restauración ecológica.

Sea esta la oportunidad para despedirme, pues a partir del próximo año estaré
prestando mis servicios al Distrito y a la comunidad a través de la dirección de la
recién creada Secretaría Ambiental, desde donde seguiré velando por el futuro
del Jardín, entidad en la cual, gracias a un equipo humano comprometido, pude
avanzar en la concreción de muchos de sus objetivos y proyectos.

Espero que el conocimiento aquí publicado sea de gran utilidad para la
conservación, conocimiento y adecuado manejo de nuestros ecosistemas.

Cordialmente,



Martha Liliara Perdomo Ramírez

Directora

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Hongos liquenizados como bioindicadores: macrozonas de isocontaminación atmosférica de Bogotá D.C. (Cundinamarca, Colombia)

Por

WILMER Y. GONZÁLEZ ALDANA¹

Recibido: 12 de septiembre de 2006 / Aceptado: 02 de febrero de 2007

Resumen

El presente trabajo se desarrolló como parte de las investigaciones que adelanta la Subdirección Científica del Jardín Botánico José Celestino Mutis de Bogotá, con la cooperación del Instituto Distrital de Recreación y Deporte. La investigación tuvo como objetivo general cualificar la calidad del aire en el perímetro urbano de Bogotá D.C., a través de la delimitación de macrozonas de isocontaminación atmosférica utilizando hongos liquenizados como indicadores. Se utilizó la metodología propuesta por Rubiano (2002) y modificada por González y Salamanca (2004), sustentada en la aplicación del Índice de Pureza Atmosférica, IPA. Se establecieron 40 estaciones de monitoreo correspondientes a Parques Urbanos, en donde se determinó la cobertura relativa, resistencia y diversidad de especies. Se registraron en total 48 especies de hongos liquenizados para las que se estandarizó una escala de resistencia al disturbio. Se determinaron 5 zonas de isocontaminación con valores IPA que van desde 0.07121 para zonas Tipo I «Contaminación Máxima», hasta 182.03221 para zonas Tipo V «Contaminación mínima». Se destaca la gran cobertura de las Zonas Tipo I y II que abarcan más del 70 por ciento del territorio urbano del Distrito, poniendo en evidencia el manejo que actualmente se le viene dando al recurso.

Palabras clave

Hongos liquenizados, contaminación atmosférica, especies indicadoras, Índice de Pureza Atmosférica, IPA, resistencia, isocontaminación, Bogotá D.C.

1. Licenciado en Biología. Subdirección Científica Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Universidad de los Andes, Venezuela. Avenida Calle 63 No. 68-95, Bogotá D.C., Colombia. wgonzaleza@gmail.com



Lichen-fungus as bioindicators: large scale atmospheric pollution zones in Bogotá, D.C.

Abstract

The present work was developed as part of the ongoing research conducted by the scientific vice direction of Bogotá's Botanical Garden, José Celestino Mutis, with the cooperation of the Instituto Distrital de Recreación y Deporte IDRD. The main purpose of this research was to estimate the air quality in the urban perimeter of Bogotá D.C., through the delimitation of macrozones of atmospheric iso-contamination using lichen-fungi as indicators. The chosen methodology was the one proposed by Rubiano (2002) and modified by Gonzalez and Salamanca (2004), supported in the application of the Atmospheric Purity Index, IPA. Forty monitoring stations, correspondent to urban parks, were established to find out the relative cover, resistance and diversity of the species. A total of 48 species of lichen-fungi were registered, for which a disturbance resistance scale was standardized, as a decision argument to put projects of social and environmental spirit into service. Five iso-contamination zones were defined, where IPA values go from 0.07121 for zones Type I «Maximum Contamination», up to 182.03221 for zones Type V «minimum Contamination». It is notable the great proportion of Zones Type I and II, which comprise more than 70 per cent of the district's urban territory, and evidences the kind of management that is currently being given to the resource.

Key words

Lichen-fungi, atmospheric contamination, indicating species, Atmospheric Purity Index, IPA, resistance, iso-contamination, Bogotá D.C.

INTRODUCCIÓN

El Jardín Botánico José Celestino Mutis desde su fundación en 1955 ha centrado sus actividades en la conservación de la flora del Distrito Capital y su área de influencia. Es así como a través del proyecto denominado «Conservación de la flora y los ecosistemas altoandinos y de páramo del Distrito Capital y la región», se ha consolidado la línea de ecofisiología aplicada al espacio urbano, que proporciona los elementos conceptuales y metodológicos necesarios para la comprensión de los procesos e interacciones que ocurren en el sistema árbol-



ambiente. La presente investigación tuvo como objetivo cualificar la calidad del aire en Bogotá D.C., a través de la delimitación de macrozonas con patrones de isocontaminación, utilizando hongos liquenizados como indicadores.

En el año 2004 el parque automotor de la ciudad ascendía a 1.200.000 vehículos en circulación y 500 fuentes fijas mayores, para los que el cálculo de emisión de contaminantes (CO , SO_2 , NO_x , MP, VOC) sobrepasó las 360.000 Mg. El deterioro en la calidad del aire registra impacto de importantes consecuencias en la salud de la población, especialmente con la aparición y agudización de problemas respiratorios, afecciones cardíacas, bronquitis, asma, pulmonía, enfisemas, problemas de la piel y otros semejantes (Secretaría Distrital de Salud 1997). Pero el impacto no solo se ve reflejado en la salud de la población, sino en la desestabilización ecológica continuada con la pérdida y alteración de la cobertura vegetal y asociados en la ciudad y la región.

Según el DAMA (2004) existen tres contaminantes que revisten interés en cuanto a su papel en el potencial deterioro de la calidad del aire en la ciudad. Las altas concentraciones de material particulado, PM, óxidos de nitrógeno y ozono O_3 , tienen un efecto relevante que se manifiesta en la vegetación, con la restricción parcial del paso de luz, el taponamiento de estomas, la disminución e inhibición de la tasa fotosintética y la alteración mecánica de sus hojas (Jardín Botánico JCM 2005). Es por estas razones que el empleo de especies indicadoras para la determinación de disturbios ambientales, caso contaminación atmosférica, es una estrategia natural, de rápidos resultados y aporta información relevante para el conocimiento de especies urbanas (González & Salamanca, 2004).

ÁREA DE ESTUDIO

Bogotá D.C. se encuentra ubicada en la sabana que lleva su mismo nombre a una altura promedio de 2600 msnm, latitud $4^\circ 35'$ norte, longitud $74^\circ 4'$ oeste Greenwich, presión atmosférica de 752 milibares, humedad relativa de 72 por ciento y con 1732 km² de extensión (Parrado 2001). Limita al norte con el municipio de Chía, al oriente con los cerros orientales y los municipios de La Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Ure y Gutiérrez, al sur con los departamentos de Meta y Huila y al occidente con el río Bogotá y los municipios de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibate, Soacha, Mosquera, Funza y Cota (González & Salamanca 2004).



FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

Los **indicadores biológicos** son atributos de los sistemas a diferentes escalas de organización (ecosistémica, poblacional, comunidades, especies, bioquímica), de los que se dispone para monitorear fenómenos que se escapan a la percepción normal. Las especies tienen requerimientos específicos (Odum 1972) por tanto, son **especies indicadoras** aquellos organismos (o restos) que brindan información sobre fenómenos o acontecimientos relacionados con el ambiente. Según Mejía en González & Salamanca (2004), todas las especies son potencialmente indicadoras desde los enfoques ecológico o ecotoxicológico. En conclusión, los bioindicadores son organismos (que manifiestan síntomas particulares en respuesta a cambios ambientales) o sistemas biológicos que sirven para evaluar variaciones en la calidad ambiental, generalmente de manera cuantitativa.

Hongos liquenizados como indicadores. Los hongos liquenizados (hl) responden a una asociación simbiótica entre un hongo y uno o más organismos autótrofos (algas) (Chaparro & Aguirre 2002), que puede funcionar en la naturaleza como una unidad (Hawksworth 2005). Han sido de gran reconocimiento, especialmente en lo referente a la determinación de fenómenos de contaminación atmosférica, debido al hecho de que son incapaces de excretar las sustancias que absorben del aire y el agua del sustrato (González & Salamanca 2004, Hawksworth 2005, Alves 2004, Chaparro & Aguirre 2002, Cantor & Urbano 2002, Rubiano 2002, Carreras & Pignata 2001, Carballeira 2000, Pignata et. al. 1999, Rossbrach et. al. 1999, García & Rubiano 1984, Ibáñez 1977).

Presentan características que los hacen especiales. Son perennes, de crecimiento lento y fácilmente discernibles, de fácil determinación a niveles taxonómicos superiores (género), son sedentarios, de amplia distribución y las especies presentan variabilidad en la sensibilidad a los contaminantes. Son organismos poiquilohydros, estenoicos, cosmopolitas y no son cormófitos, características que permiten la generación y aplicación de índices biocenóticos de la calidad del aire.

Efecto de la contaminación sobre los hongos liquenizados. Estos organismos absorben materiales sin selección, una vez absorbidos se acumulan y desde allí no hay excreción. Reaccionan a las intrusiones y sus manifestaciones pueden valorarse a través del análisis de cambios anatómicos (coloración, tamaño, grosor del talo, histología) y cambios fisiológicos (absorción, respiración,

regulación hídrica, tasa fotosintética, pH y filtración de elementos) (Kovacs 1992, González & Salamanca 2004). Con el fin de amortiguar el efecto de las inmisiones generan estrategias consistentes en la reducción de superficie de contacto hídrico, cambio en la estrategia de reproducción, producción de sustancias hidrófobas y encogimiento de los talos (González & Salamanca 2004).

Índice de Pureza Atmosférica. En 1970, De Sloover y Le Blanc diseñaron un método para la valoración de los niveles de contaminación atmosférica que considera atributos de las especies y comunidades (presencia, frecuencia, distribución, diversidad y resistencia) y permite la cuantificación y la relación de zonas con patrones similares de distribución de contaminantes a través de mapas de vegetación (González & Salamanca, 2004).

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló basada en la metodología propuesta por Rubiano (2002), adaptada por González & Salamanca (2004) y ajustada para el presente trabajo.

Selección de las estaciones de muestreo y monitoreo. Se establecieron cuarenta estaciones de muestreo, definidas en su mayoría como parques de escala metropolitana, zonal o vecinal. Esta selección fue asesorada por la Oficina Ambiental de la Subdirección de Parques del Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte, IDRD. Se utilizaron planos de la ciudad a escala 1:25.000 en los que se determinó su ubicación preliminar, análisis de viabilidad *in situ* y fueron evaluados los estándares para su definición (cantidad de forófitos existentes, su distribución y la distancia entre los mismos) (González & Salamanca 2004).

Selección del forófito. Es importante tener en cuenta que no hay claridad acerca de los requerimientos para la selección, implantación, crecimiento y desarrollo de los hongos liquenizados en los árboles, por tanto, hasta que no sean clarificadas las condiciones óptimas de sustrato se recomienda no descartar los forófitos que se encuentren en las localidades de estudio. Para cada forófito se registró especie, diámetro a la altura del pecho, DAP, altura e inclinación, estado sanitario aparente y registro de daños mecánicos. Se censaron cuatro forófitos por estación, inclinación y distribución en la estación.



Muestreo. Se realizaron en intervalos de 50 cm, desde la base hasta 2 m de altura, teniendo en cuenta su orientación. La información obtenida del censo fue registrada en formatos adaptados de González & Salamanca (2004). Para cada muestra se registró género o especie, vitalidad, orientación, altura sobre el fuste, fructificación (Rubiano 2002), asociaciones y luminosidad (medición subjetiva por categorías alta, media, baja, dependiente de su exposición al sol). Con el fin de establecer la escala de resistencia de las especies se tomó como base la propuesta por González y Salamanca (2004). Se recomienda que el análisis y censo sean iniciados de manera progresiva por las estaciones para las que se presume la mayor valoración. El material fue determinado hasta el taxón más específico posible. Fueron utilizadas claves taxonómicas dicotómicas para géneros y especies (Sipman 2001, Marcano 1994, Chaparro & Aguirre 2002) y confirmadas las muestras en la colección del Herbario Nacional Colombiano COL y con expertos en el grupo.

Análisis de la información. La determinación teórica de las zonas de isocontaminación se realizó por medio de la aplicación del Índice de Pureza Atmosférica, IPA (Kovaks 1992), que permite la correlación entre los atributos cobertura, frecuencia y resistencia de las especies (Rubiano 2002). Los valores IPA varían de acuerdo con los niveles de contaminación, siendo evidente la relación entre bajos valores y altos niveles de contaminación y viceversa. Posteriormente, a través de la interpolación de los mismos en los planos se establecieron las líneas de isocontaminación.

El factor de resistencia se deduce mediante la aplicación del cociente: $Q_i = \sum_j \frac{A_j - 1}{E_j}$
Donde:

Q_i = Factor de resistencia de la especie i

A_j = Número de especies presentes en cada estación donde se encuentra i.

E_j = Número de estaciones donde se encuentra i.

Posterior a la determinación de la resistencia se aplica el índice IPA mediante la formula:

$$IPA_j = \sum Q_i \cdot F_i / n \cdot C_i$$

IPA_j = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j

Q_i = Factor de resistencia definido como el número promedio de las especies acompañantes de la especie i en todas las estaciones y se deduce mediante el cociente,

- Fi = Frecuencia de la especie i (número de forófitos de la estación j en que aparece la especie i).
- Ci = Cobertura relativa de la especie i en la estación j respecto a la cobertura máxima de la especie i en el área estudiada. La cobertura en cada forófito.
- n = Número de forófitos censados en la estación j.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para efectos de facilidad en la presentación de los resultados, en esta versión únicamente se hace referencia a las estaciones parques urbanos de escala metropolitana.

Diversidad de hongos liquenizados en Bogotá. Fueron revisados 485 registros que corresponden a 48 especies de hongos liquenizados distribuidos en 11 familias, 24 géneros y un grupo de 8 especies indeterminadas. Las zonas representadas por las estaciones No. 8 Jardín Botánico José Celestino Mutis y No. 3 Sector Catastral San José de Bavaria presentan los más altos valores en diversidad (Tabla 1) y significan dos puntos importantes para la conservación de especies urbanas. El sector representado en San José de Bavaria presenta los más altos niveles de diversidad, que se adjudican a su posición estratégica en los Cerros de Suba y La Conejera que de acuerdo con Parrado (2001) estos cerros conforman un sistema ecológico de borde de control y son parte de los procesos naturales de depuración del aire.

Vitalidad y resistencia de las especies. La resistencia es un atributo que permite la determinación del patrón de permanencia de una especie en una localidad bajo tensores identificados. El factor es determinado por el número de especies que acompañan una especie dada en las estaciones. La lectura general de los valores demuestra que la vitalidad y las condiciones oligotróficas de la troposfera local sostienen una relación de covalencia.

Se resaltan siete especies para las que los valores vs. su comportamiento son considerados como atípicos *out layer* (Tabla 2). La razón de su comportamiento se explica por factores de distribución, la cual se considera como local focalizada, para lo que se deduce que las condiciones de microhábitat son especiales. Basado en esas afirmaciones son consideradas como posibles indicadoras de sustrato y condiciones especiales de microhábitat.



No.	Estación	No. Especies	No. Familias	No. Géneros	No. Especies	%
6	P.M. La Florida.	29	7	12	29	21
8	P.M. Simón Bolívar. Sector Jardín Botánico José Celestino Mutis.	27	9	15	27	19
3	S.C. San José de Bavaria.	27	9	16	27	19
10	S.C. Chicó.	14	7	11	14	10
2	P.M. Simón Bolívar. Sector Parque el Salitre.	11	5	8	11	8
7	P.C.E. Quebrada la Vieja.	11	6	10	11	8
1	P.M. Enrique Olaya Herrera.	9	4	8	10	7
4	P.M. El Tunal.	4	2	4	4	3
9	P.Z. Ciudad Montes.	4	2	4	4	3
5	P.M. Timiza.	3	2	3	3	2
Total		48	11	24		

Tabla 1. Relación total de especies, familias y géneros por estación de muestreo para los parques urbanos de escala metropolitana.

De acuerdo con la escala de resistencia obtenida, se determinaron 7 especies de resistencia alta, equivalentes al 14.58 por ciento de los datos, 4 especies indicadoras de transición de disturbio zonal (8.33 por ciento), 7 especies de resistencia baja (14.58 por ciento) y 23 especies de resistencia crítica (47.91 por ciento). Según Ramírez (1999) a lo largo de gradientes espaciales se encuentran coenoclinas para los que las especies responden de manera específica determinando así: especies especialistas 1 (resistencia crítica y baja) que decaen con el gradiente; especies especialistas 2 (transición y alta) se benefician con el gradiente; y especies generalistas, cuyas variaciones resultan poco definidas (*Physcia*).

Estos indicadores permiten percibir que la disminución o aumento de la diversidad de hongos liquenizados en la ciudad presenta un comportamiento sucesional, dependiente de las condiciones de oligopolución zonal. De igual manera la evaluación microzonal permite la definición de las condiciones atmosféricas (contaminación) para la priorización y determinación en la implementación de proyectos con objetivos social y ecológico. La apariencia



No.	ESPECIE	FACTOR DE RESISTENCIA Qi.	No.	ESPECIE	FACTOR DE RESISTENCIA Qi.
1	A		25	<i>Teloschistes exilis</i>	23.25
2	A		26	<i>Cystocoleus</i> sp.	26
3	A		27	Indeterminado sp [8]	26
4	A		28	<i>Heterodermia circinalis</i>	26
5	A		29	<i>Punctelia stictica</i>	26
6	<i>Flavopunctelia</i> sp [1].	13	30	<i>Pseudocyphellaria aruata</i>	26
7	<i>Parmotrema</i> spp.	13	31	<i>Sticta</i> sp	26
8	A		32	<i>Teloschistes flavicans</i>	26
9	<i>Buellia</i> sp.	13.33	33	Indeterminado sp [2]	26.66
10	<i>Heterodermia</i> sp [1]	14.5	34	Indeterminado sp [4]	26.66
11	<i>Candelariella</i> sp.	16.33	35	Indeterminado sp [1]	27
12	<i>Heterodermia</i> sp [2]	16.41	36	Indeterminado sp [7]	27
13	<i>Heterodermia albicans</i>	17.66	37	<i>Heterodermia</i> sp [4]	27
14	<i>Usnea</i> sp [1]	18	38	<i>Lecanora</i> sp [1]	27
15	<i>Flavopunctelia</i> sp [2]	18.16	39	<i>Lecanora</i> sp [3]	27
16	<i>Lecanora</i> sp [1]	18.33	40	<i>Ramalina</i> sp [2]	27
17	A		41	<i>Xanthoria parietina</i>	27
18	<i>Pyrenula</i> sp [1]	18.66	42	Indeterminado sp [3]	28
19	<i>Heterodermia</i> sp [3]	19.5	43	Indeterminado sp [5]	28
20	<i>Everniastrum</i> sp.	20.33	44	Indeterminado sp [6]	28
21	<i>Xanthoria elegans</i>	21.66	45	<i>Lecanora</i> sp [4]	28
22	<i>Ramalina</i> sp [1]	22.5	46	<i>Lecanora</i> sp [5]	28
23	<i>Xanthoparmelia</i> sp.	22.5	47	<i>Pyrenula</i> sp [2]	28
24	<i>Erioderma</i> cf.	23.25	48	<i>Pyrenula</i> sp [3]	28

No.	ESPECIE	Qi.
1	<i>Caloplaca</i> spp	9
	<i>Bacidia</i> sp	10
3	<i>Coenogonium</i> sp	10
4	<i>Lepraria</i>	10
5	<i>Rimelia reticulata</i>	10
8	<i>Usnea subfloridana</i>	13
17	<i>Physcia</i> spp	18.66

Tabla 2. Escala de resistencia de las especies de hongos liquenizados para Bogotá D.C. y valores A out layer.

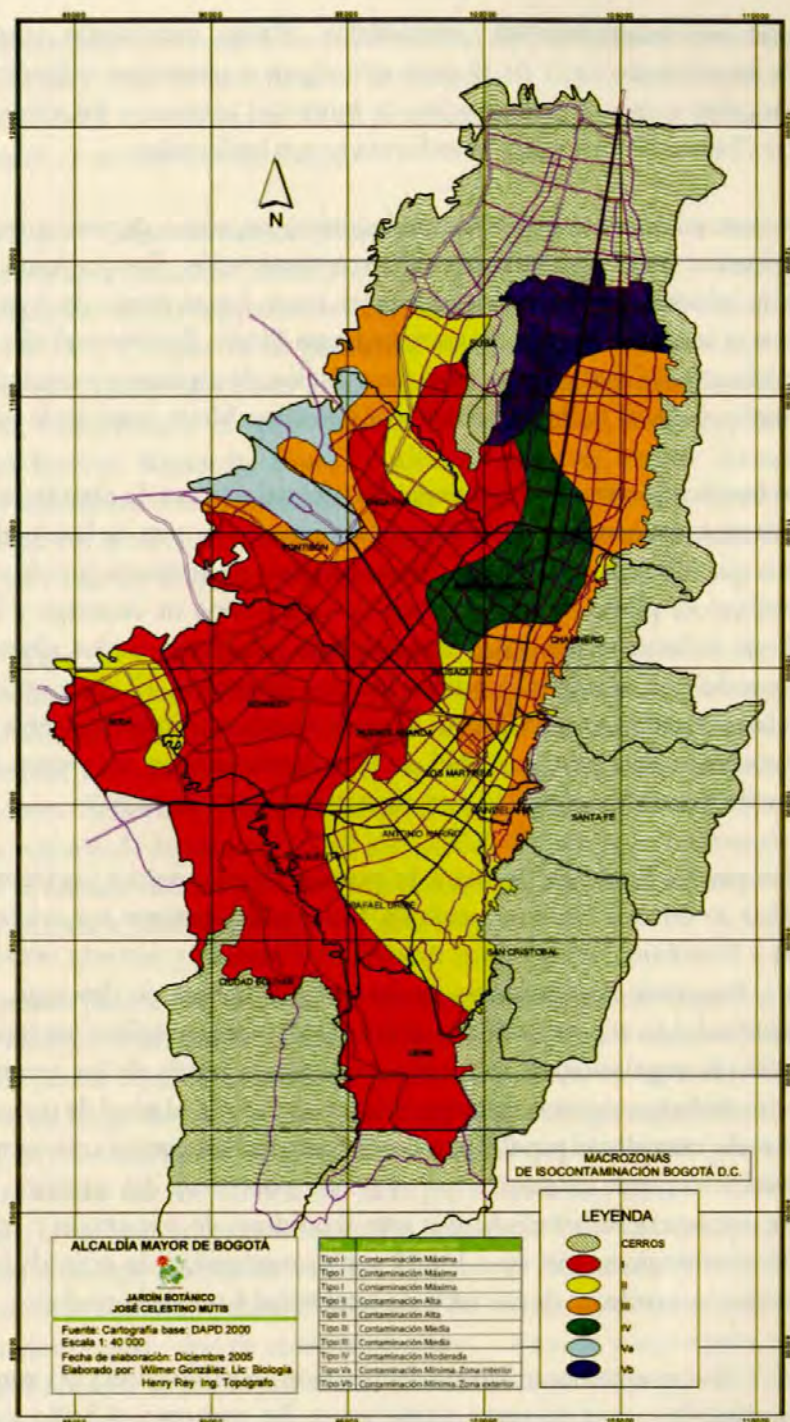
general de los talos responde a las mismas características descritas para las especies por González y Salamanca (2004): clorosis, necrosis, desprendimiento de los talos, encorvamiento, cambios en la estrategia de reproducción y alteraciones en la distribución. El cambio en el tipo de fructificación sexual-asexual se hace evidente para las especies *Flavopunctelia* sp (1) y *Physcia* en estaciones con IPA mayor a 60. Se confirma entonces la estrategia de reproducción como un atributo de magnitud.

Índice de Pureza Atmosférica. Fueron obtenidos valores entre 0.071210 y 182.032210 (Tabla 4). Aunque no se registraron valores IPA netos equivalentes a 0 (desiertos de hongos liquenizados) se registran estaciones que corresponden a zonas tipo I «Carga Crítica Total CCT» (Kavacs 1992). En las zonas tipo CCT el promedio horario, diario y anual de concentraciones de SO_2 , NO_x y otros contaminantes del aire se encuentran cerca o por encima del límite normal o con alta probabilidad de sobrepasarlos (González & Salamanca 2004, Hawksworth 2005, Registro Distrital 2003, DAPD 2001, DAMA, 1998a, 2002b, 2004c).

Se determinaron cinco zonas con patrones similares de distribución y concentración de contaminantes atmosféricos: Zona Tipo I Contaminación Máxima, Zona Tipo II Contaminación Alta, Zona Tipo III Contaminación Media, Zona Tipo IV Contaminación Moderada y Zona Tipo V Contaminación Mínima con dos subzonas: a Interior y b Exterior (Tabla 3) (Mapa 1).

No.	Estación	IPA	Zona de Contaminación
5	P. M. Timiza.	0.071210	Tipo I Contaminación Máxima
4	P. M. El Tunal.	0.280348	
9	P. Z. Ciudad Montes.	0.347421	
10	S. C. Chicó.	2.342104	Tipo II Contaminación Alta
1	P. M. Enrique Olaya Herrera.	3.843895	
2	P. M. Simón Bolívar. Sector Parque el Salitre.	6.238328	Tipo III Contaminación Media
7	P. C. E. Quebrada la Vieja.	10.803046	
8	P. M. Simón Bolívar. Sector Jardín Botánico José Celestino Mutis.	61.971812	Tipo IV Contaminación Moderada
6	P. M. La Florida.	111.858240	
3	S. C. San José de Bavaria.	182.032210	Tipo V Contaminación Mínima

Tabla 3. Valores IPA y zonas de isocontaminación atmosférica para las estaciones de muestreo parques urbanos de escala metropolitana.



Mapa 1. Macrozonas de isocontaminación atmosférica de Bogotá D.C.



Zonas de isocontaminación atmosférica. Existe correlación entre las zonas de isocontaminación de Bogotá con algunos elementos y fenómenos meteorológicos como la precipitación, la humedad relativa y los vientos en superficie (Eslava 1993) y relación indirecta con el brillo solar.

Se demuestra entonces la estrecha relación entre las zonas de mayor registro de precipitación anual con las zonas de isocontaminación. Resulta importante destacar la relación precisa que se presenta entre los registros de humedad relativa en el sector del complejo metropolitano Simón Bolívar y el efecto de «borde» (bloqueo de distribución, filtro y regulación de corrientes y retenedor de contaminantes) que el Jardín Botánico José Celestino Mutis ejerce en la ciudad.

De igual forma se presenta un esquema general del sistema de distribución de contaminantes, dependiente de la dirección y trazado de ruta de las corrientes de vientos que influyen en la ciudad. Para el análisis de las corrientes de viento se determinaron: punto de origen, zona de carga, zona de descarga y límite de descarga de las corrientes. Las componentes principales de los vientos en Bogotá son del sur, occidente y oriente (puntos de origen). El sur y occidente de la ciudad presentan un alto nivel de fuentes fijas de emisiones, canteras, altos índices poblacionales, gran cantidad de vías deterioradas y sin pavimento y vehículos sin regulación de gases y en circulación (zona de carga).

Como los puntos límite de descarga se pueden asumir: sector occidental de la localidad de Barrios Unidos, localidad Teusaquillo, sectores sur oriental de Engativá y Fontibón, sector centro oriental de Kennedy y sectores occidental de Suba y Engativá. Son entonces las localidades puntos de descarga, salvo aquellas ubicadas en el borde oriental de la ciudad, quienes reciben los servicios ambientales de regulación de los cerros orientales a través de los vientos de oriente. Sin embargo algunos sectores de la franja, debido al nivel de ocupación y uso del suelo, cumplen el papel de emisores. Sumados los puntos anteriormente referenciados se puede establecer que el mayor porcentaje del territorio de la ciudad se encuentra influenciado por este fenómeno de dispersión y que las zonas de isocontaminación tipo I y II son consecuencia de actividades no planificadas y controladas de los sectores occidental y sur de la ciudad.

La relación directa entre las zonas de distribución de brillo solar y las zonas de isocontaminación parece no tener equivalencia. Sin embargo, el brillo solar es

inversamente proporcional a los picos anuales de precipitación y directamente proporcional a los valores para la distribución y concentración de algunos contaminantes. La relación se da en términos de tensor secundario, por tanto la relación no reviste interés directo.

Zona Tipo I Contaminación Máxima. Se presenta como un único parche que atraviesa la ciudad de extremo sur a norte. Presenta estrecha relación con la zonificación específica para contaminantes medidos de manera cuantitativa (ozono y PM¹⁰) (Mapas 1a-7c) por la red de calidad del aire de Bogotá y son sectores que sobrepasan o son potenciales de exceder la norma horaria, diaria y anual. Compromete en gran escala a las localidades de Usme, Tunjuelito, Ciudad Bolívar, Kennedy, Bosa, Fontibón, Engativá, Puente Aranda y en menor cobertura a las localidades Suba, Teusaquillo, Barrios Unidos y San Cristóbal. En total registra influencia en el 60 por ciento de las localidades, es decir, en 12 de las 20 que conforman la ciudad.

Zona Tipo II Contaminación Alta. Se manifiesta a través de 4 zonas distribuidas en sectores periféricos de la ciudad: la primera (sur) compromete las localidades San Cristóbal, Puente Aranda, Teusaquillo, Santa Fe, La Candelaria, Los Mártires, Antonio Nariño y en muy baja proporción las localidades Tunjuelito y Usme. Sus límites coinciden con la ruta y distribución de los vientos de la ciudad. Todos los bordes de unión con zonas de mayor rango se encuentran adelgazados—lineales, lo que sugiere desaparición gradual de microzona o ampliación de la cobertura.

El segundo parche (nororiente) se presenta como un punto de menor cuantía. Sin embargo, es un punto de gran importancia ecológica dada su proximidad con los cerros orientales. El tercer parche se focaliza en las localidades Suba y parte de Engativá para la que el lado sur se encuentra embebido en la zona tipo I de contaminación máxima. Cabe resaltar que el costado nororiental de la zona limita con los Cerros de Suba y La Conejera, en sentido sotavento. Aunque al costado oriental de los cerros, a favor de barlovento, se presenta una extensa zona tipo **Va** contaminación mínima, la dinámica del flujo del viento sumado a la diferencia abismal cognitiva de territorio, no se genera el efecto depurador que este tipo de ecosistema oferta. La cuarta zona se presenta como un caso aislado, se encuentra ubicada al límite noroccidental de la localidad Bosa, inmersa en la zona tipo I contaminación máxima, de donde se deduce



que el efecto de la vegetación de la ronda del río a esta altura provee al sector de un filtro primario a la corriente que por este lugar atraviesa de componente occidental-norte; es una zona de descarga de la corriente de viento proveniente del sur.

Zona III Contaminación Media. Se localiza en tres parches que comprenden parte de las localidades de Santa Fe, La Candelaria, Los Mártires, Teusaquillo, Barrios Unidos, Chapinero, Usaquén, Suba, Engativá y Fontibón. Se presentan como zonas de amortiguación y transición en donde el primer parche «Sur» se focaliza al límite oriental de los cerros a la altura de La Candelaria. El segundo parche tipo III se extiende desde la localidad Los Mártires hasta Usaquén. Es un parche totalmente aislado de las corrientes cargadas de contaminantes del sur y occidente. El origen de los niveles de contaminación se sustenta en el alto flujo vehicular que en el parche converge; en conclusión, su fuente de contaminación es móvil.

Esta zona se encuentra favorecida por las corrientes de viento de componente orienteoccidente, que brindan mayor humedad, adicionalmente, el sector se presenta como zona de influencia de precipitación. Se confirma entonces que ciertos contaminantes se ven disipados y precipitados de manera brusca por las lluvias, permitiendo una dinámica más veloz en la depuración del aire. Por otra parte se debe tener en cuenta que el límite norte del parche esta consolidado como residencial predominante dando paso a la abundante vegetación. El tercer parche se determina también como de borde urbano. La mayoría de su cobertura se presenta en inmediaciones del aeropuerto El Dorado, en donde sobresale una gran barrera verde de contención en inmediaciones del mismo.

Zona IV Contaminación Moderada. Se resalta en el mapa (Mapa 1) como la única zona verde en el perímetro urbano de la ciudad. Compromete las localidades Barrios Unidos, Teusaquillo, Engativá, Chapinero, Suba y Usaquén. El límite occidental se ve representado por el Jardín Botánico José Celestino Mutis y el complejo metropolitano Simón Bolívar.

Basado en el esquema de distribución de vientos en la ciudad se concluye que la zona funciona como receptora y emisora de servicios ambientales, sobre todo en lo concerniente a fenómenos de depuración del aire. Sin embargo, no solo los vientos presentan relación estrecha con el parche, sino que también



existe covalencia entre los valores altos de precipitación y humedad relativa de la zona. El análisis de este parche brinda herramientas de gran importancia para la priorización de proyectos de arborización en donde se potencialice este servicio como uno de los más relevantes para la mejora en la calidad de vida de los ciudadanos. Se pueden deducir modelos de plantación y focalización a partir del análisis de la configuración de la vegetación existente en el parche, partiendo de los postulados de Noss (1991), en donde se destaca la composición, la estructura y la función para la interpretación integral de la zona.

Zona V Contaminación Mínima. Corresponde a las zonas con los mayores valores IPA obtenidos para la ciudad. De acuerdo con la clasificación de Kovacs (1992) se diferenciaron dos subzonas: a. Interior y b. Exterior. La Zona Va. Infiuye en las localidades Engativá y Fontibón y la estación regente es el Parque Metropolitano La Florida, que aunque se encuentra fuera del Distrito, brinda condiciones excepcionales al resto de las estaciones. La Zona Vb coresponde a la zona de influencia de los cerros de Suba, La Conejera y Orientales; se extiende por el norte hasta el límite de la ciudad y se une en los cerros de Torca. Se encuentra como un punto aislado y aún con condiciones de ruralidad. De acuerdo con Remolina (2005) esta zona representa un corredor biológico para la ciudad. Se encuentra como una zona en sotavento de los cerros orientales y barlovento de los cerros de Suba y La Conejera. Dada la composición de las comunidades reportadas para la estación S. C. San José de Bavaria, la zona representa un punto de diversificación de gran importancia para la ciudad.

CONCLUSIONES

De la delimitación de las zonas de isocontaminación de Bogotá D.C. y su proceso de consolidación se puede concluir que:

La efectividad en los monitoreos de fenómenos relacionados con la contaminación atmosférica utilizando hongos liquenizados como indicadores de disturbio radica en que la escala de evaluación es a nivel de comunidades y no de especies (óptimas para monitoreos por acumulación), razón por la cual es necesaria la mayor cobertura posible en los monitoreos tratando de descartar la mayor cantidad de tensionantes diferentes al objeto de estudio.

Bogotá cuenta con cinco macrozonas de isocontaminación atmosférica. La ciudad afronta un gran problema de contaminación atmosférica, con



tendencia a la agudización; más del 50 por ciento del territorio se encuentra bajo la influencia de las zonas Tipo I y Tipo II, llevando al límite los niveles de tolerancia y asimilación de las poblaciones. Gran parte de las zonas afectadas con altos niveles de concentración de contaminantes atmosféricos, aun cuando no signifiquen áreas de emisiones importantes, cumplen el papel de zonas de descarga. Por lo tanto se deben abordar soluciones integrales para la ciudad y no solo centralizarlas a los focos de emisión.

Se consolidó una escala única de resistencia de las especies, en donde fueron homologados cuatro niveles de resistencia: Alta, de Transición, Baja y Crítica. Según los porcentajes de cobertura de las isozonas tipo I y II y de seguir avanzando el disturbio, la ciudad esta tendiente a perder el 47.91 por ciento de las especies de hongos liquenizados correspondientes a de la categoría crítica de resistencia dado que son las primeras en desaparecer frente al disturbio.

El análisis de cada una de las zonas de isocontaminación brinda elementos conceptuales que contribuyen a la comprensión de las relaciones vegetación – contaminación – efectos y se convierten en herramientas para la toma de decisiones en la implementación y valoración de acciones cuyo saldo redunde en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos así como del ambiente urbano y su área de influencia. Se destaca el efecto de «borde»: bloqueo de distribución, filtro y regulación de corrientes y retenedor de contaminantes que el Jardín Botánico José Celestino Mutis ejerce en la ciudad.

El papel de los parques urbanos y los cerros de Suba, La Conejera y Orientales (elementos de la Estructura Ecológica Principal) representa para la ciudad puntos estratégicos para la conservación, preservación y prestación de servicios ambientales, especialmente en el fenómeno de la depuración del aire.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento al Jardín Botánico José Celestino Mutis por la financiación de la investigación y especial agradecimiento a la doctora Martha Liliana Perdomo por su constante apoyo; a Claudia Córdoba García, por sus aportes y pertinentes sugerencias; a los doctores Jaime Aguirre, Thomas van der Hammen, Edgar Linares, Carlos Parrado y Germán Niño Galeano por sus valiosas recomendaciones al Instituto Distrital de Recreación y Deporte



en representación la doctora Zoraida Acosta; a Paola Rodríguez por su incondicional apoyo; a los investigadores Natalia Molina, Fernando Remolina, Liliana Chisacá, Jorge Sarmiento, Henry Rey, Juan F. García y Carolina Becerra por sus valiosas apreciaciones y a Tania Rodríguez por su apoyo, fundamental en la construcción del proceso.

Bibliografía

- Alves, R.** 2004. *Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade*. Tesis a maestrado. Universidad de São Paulo. Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto. São Paulo. Brasil.
- Cantor, S. & S. Urbano.** 2002. *Estudio de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en la ciudad de Popayán*, Tesis de Grado. Fundación Universitaria de Popayán. Cauca. Colombia.
- Carballeira, A.** 2000. *Biomonitorización de la calidad ambiental de Galicia*. Universidad de Santiago de Compostela. Galicia.
- Chaparro M. & J. Aguirre.** 2002. *Hongos liquenizados*. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá D.C.
- DAMA.** 2004. *Documento sin registro*. Referencia: Programa fuentes fijas y móviles. Bogotá D.C.
- _____. 2002. *Documento Guía*. Red de calidad del aire de Bogotá. Bogotá D.C.
- DAPD.** 2005. *Decreto 190 de 2004, Artículo 242*. En línea: www.dapd.gov.co.
- _____. 2003. *Resolución 1208 del 5 de septiembre de 2003*. Registro Distrital. 37: Septiembre 2951. 11. Bogotá D.C.
- García, L. & L. J. Rubiano.** 1984. *Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia*. Cont. Amb. 8 (13); 73-90. Medellín Colombia.
- González, W. & R. A. Salamanca.** 2004. *Líquenes como bioindicadores de polución en Bogotá D.C.* Trabajo de Grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias y Educación. Bogotá D.C.
- Hawksworth, D et. al.** 2005. *Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos*. Revista Iberoamericana de Micología; 22: 71-82.



- Ibagos, A.** 1977. *Contribución al estudio de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Bogotá.
- Jardín Botánico José Celestino Mutis. Subdirección Científica.** 2005. *Proyecto de Inversión 20.06: Conservación de la flora y los ecosistemas alondinos y de páramo*. Bogotá D.C.
- Kovacs, M. et al.** 1992. *Biological Indicators in Environmental Protection*. University Budapest. Ed. Ellis Horwood. 201 p. Hungary.
- Parrado, C. C.** 2001. *Metodología para la ordenación del territorio bajo el prisma de sostenibilidad (estudio de su aplicación en la ciudad de Bogotá D.C.)*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Departament d' Enginyeria Minera i Recursos Naturals. Barcelona.
- Le Blanc, F & J. De Sloover.** 1976. *Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal*. Can J Bot 48: 1485-1496.
- Pignata et. al.** 1999. *Relationship between foliar chemical parameters measured in *Mellia azedarach* L. and environmental conditions in urban areas*. The Science of the Total Environment; 243: 244: 85-96.
- Ramírez, A.** 1999. *Ecología aplicada (diseño y análisis estadístico)*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D.C.
- Remolina, F.** 2005. *Conectividad de la estructura ecológica principal*. Jardín Botánico José Celestino Mutis. Contrato 243-2005. Subdirección Científica. 2005
- Rosbrach, M. et. al.** 1999. *Large scale air monitoring: lichen vs. air particulate matter analysis*. The Science of the Total Environment; 232: 59-66.
- Rubiano, L.** 2002. *Monitoría de áreas de isocontaminación en la región de influencia de la central termoeléctrica Martín del Corral utilizando líquenes como bioindicadores*. Pérez-Arbelaezia 13: 91-104.
- Secretaría Distrital de Salud.** 1997. *Diagnósticos locales con participación*. Documento sin registro.