

PEREZ ARBELAEZIA

Nº 13 FEBRERO 2002

ISSN 0120-7717



Jardín Botánico de Bogotá
José Celestino Mutis
Bogotá, D.C., Colombia





ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ

1896 – 1972

Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

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 tomada 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, designado con el nombre de Mutisia.

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



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

Alcalde Mayor
Antanas Mockus Sivickas

JARDÍN BOTÁNICO DE BOGOTÁ
"JOSÉ CELESTINO MUTIS"

Junta Directiva

Julia Miranda Londoño
María Consuelo Araújo
Alberto Gómez Mejía
Germán Andrade Pérez
Mónica Gómez de Espinosa
Marco Palacio Roza

Director

Enrique Uribe Botero

Secretaria General

Catalina Nagy Patiño

Jefe de Planeación

Jaime Rudas Ll.

Subdirección Educativa y Cultural

María Margarita Gaitán Uribe

Subdirección Técnica Operativa

Francisco Sánchez Hurtado

Subdirección Científica

Alfonso López Quintero

PEREZ ARBELAEZIA

Número 13 - Febrero de 2002

Publicación anual

PEREZ - ARBELAEZIA es la publicación científica y tecnológica del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.

PEREZ - ARBELAEZIA publica artículos, originales e inéditos, que cubran temas de investigación en ciencias puras o aplicadas sobre botánica, ecología, conservación, ciencias biológicas, recursos naturales renovables y medio ambiente, al igual que ensayos, revisiones, conferencias y reuniones que contribuyan a la profundización del conocimiento y constituyan aportes significativos al objeto de su temática.

Comité Editorial

Enrique Uribe Botero
Catalina Nagy Patiño
Jaime Rudas Ll.
María Margarita Gaitán Uribe

Editores

César Escallón Estupiñán
Gustavo Morales Liscano

Ilustración Carátula

Miconia squamulosa (Sm.) Tr.

Melastomataceae, típica de los cerros de Bogotá y endémica de la Cordillera Oriental de Colombia. Planta fácilmente reconocible por el tomento con aspecto ceniciento y en forma de escama que recubre el envés de las hojas. El carácter endémico de esta especie exige particular atención sobre su hábitat y sobre sus condiciones de conservación.

PEREZ - ARBELAEZIA

Publicación anual

© 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 Editorial

Luis Alfonso Cano Ramírez

Canje

Húver Nieto Gómez

Biblioteca Enrique Pérez Arbeláez

Diseño y diagramación

Sanmartín Obregón & Cia.

Impresión

Sanmartín Obregón & Cia.

Ilustración carátula

Miconia squamulosa (Sm.) Tr.

Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de
Granada 1976. Tomo XXX.

Cortés del Instituto Colombiano de Antropología e Historia
ICAN

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. (Cll.) 57 No. 61-13 • Tel.: 437 7060 • Fax. 630 5075

bogotanico@jbb.gov.co • www.jbb.gov.co

CONTENIDO

Presentación	7
Estrategias de regeneración postquema en áreas de vegetación altoandina tipo matorral William Rodríguez Beltrán y Orlando Vargas Ríos	9
Acercamiento a la ecología de la restauración José Ignacio Barrera Cataño y Héctor Felipe Ríos Alzate	33
Anatomía foliar de cinco especies de árboles ornamentales cultivados en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis Esmeralda Castebianco Echavarría, Angel David Barba Romero y Hernán Cardozo Gutiérrez	47
Planteamiento de la propuesta de restauración ecológica de áreas afectadas por el fuego y/o invadidas por el retamo espinoso (<i>Ulex europaeus L.</i>) en los cerros de Bogotá D.C. José Ignacio Barrera Cataño, Héctor Felipe Ríos Alzate y Claudia Alexandra Pinzón Osorio	55
Disturbios, patrones sucesionales y grupos funcionales de especies en la interpretación de matrices de paisaje en los páramos Orlando Vargas Ríos	73
Monitoría de áreas de isocontaminación en la región de influencia de la Central Termoeléctrica Martín del Corral utilizando líquenes como bioindicadores Luis Juan Rubiano Olaya	91
Diagnóstico del estado nutricional de cinco especies de árboles del ornato de Bogotá D.C. Hernán Cardozo Gutiérrez, Esmeralda Castelblanco Echeverri y Angel David Barba Romero	105
Guía para recolectar hongos macromicetos del orden Aphyllophorales s.l. Marcela Zalamea Bustillo	115
Germinación <i>in vitro</i> de embriones aislados de semillas de palma de cera <i>Ceroxylon alpinum subespecie alpinum</i> Steud Luz Amanda Viracacha Muñoz, Claribel Rodríguez Arévalo, Ricardo Pacheco Salamanca y Daniel Galindo Guerra.	133

PRESENTACIÓN

Para la actual administración del Jardín Botánico de Bogotá es motivo de satisfacción y orgullo el poder presentar a la comunidad científica este número de la revista *Perez - Arbelaezia*.

La visión institucional que hemos desarrollado respecto a este tipo de producción documental es la de contar con una herramienta de comunicación directa entre los investigadores, poniendo a su alcance los recientes avances en ciencias puras y aplicadas sobre botánica, ecología, conservación, ciencias biológicas, recursos naturales y medio ambiente, al igual que mantener con ella un espacio disponible para la divulgación de los documentos que resulten de nuestras investigaciones, las que realicen otras entidades y las que se den a conocer en los diferentes eventos científicos que se lleven a cabo alrededor de temas como los indicados.

Dar a conocer la información científica y técnica constituye un compromiso institucional para la tradición y el desarrollo de la cultura científica del país, al tiempo que ello implica cierto grado de responsabilidad con los investigadores, quienes requieren de espacios como éste para poder validar su labor frente a la sociedad que los apoya en su tarea de ampliar las fronteras del conocimiento. La transferencia de este tipo de información tiene la connotación de un deber social, puesto que el saber científico requiere no sólo de legitimar su aporte sino también estar al alcance de quienes lo requieran para el análisis de situaciones particulares, para buscar la solución de algún problema, construir nuevas realidades y aportar elementos de juicio que reduzcan los niveles de incertidumbre en los procesos de decisión.

De una u otra manera, la mayor parte de los artículos incluidos en el presente número se relacionan con temas ecológicos y de conservación del medio ambiente de la ciudad o de sus áreas circunvecinas. Consideramos que entrar a conocer el estado de los recursos naturales asociados a los ambientes capitalinos constituye el punto de partida para afrontar el reto de su conservación y manejo y para definir las pautas que nos lleven a compatibilizar su uso con las necesidades del desarrollo.

Expresamos nuestro sentimiento de gratitud a todas las personas que han contribuido a materializar este esfuerzo del Jardín Botánico y han hecho sus aportes para fortalecer nuestra capacidad divulgativa.

Enrique Uribe Botero
Director Jardín Botánico.

Monitoría de áreas de isocontaminación en la región de influencia de la Central Termoeléctrica Martín del Corral utilizando líquenes como bioindicadores

Por:

LUIS JUAN RUBIANO OLAYA *

Resumen

Se realizó una monitoría de las áreas de isocontaminación reportadas en 1983 para la región de influencia de la Central Termoeléctrica Martín del Corral y de las industrias de álcalis de Colombia, utilizando las comunidades de líquenes como bioindicadores. Se comprobó la mejora de la calidad del aire en proximidades de la térmica, debido a la instalación de precipitadores electrostáticos en todas las chimeneas de la planta. Por el contrario, las zonas de máxima contaminación o desiertos de líquenes de los alrededores de las industrias de álcalis y cloruro férrico, que por esa época operaban sin ningún tipo de control de sus emisiones, se incrementaron hasta en un 700%.

Palabras clave

Bioindicadores; líquenes; contaminación atmosférica; termoeléctricas

* Profesor. Departamento de biología. Universidad Nacional de Colombia. rubianojuan@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En 1983 por solicitud de la Interconexión Eléctrica S.A. -ISA-, se realizó el Estudio titulado “Las comunidades de líquenes como indicadoras de calidad del aire en Termozipa y el Complejo Industrial de Betania, Cundinamarca”.

El objetivo primordial era establecer la viabilidad de estas comunidades como posibles indicadoras de niveles de contaminación atmosférica en Centrales Térmicas operadas por carbón, elaborar un mapa de áreas de isocontaminación a partir del registro de líquenes como bioindicadores y entrar a discutir la estabilidad o cambio de dichas áreas con relación al mapa elaborado en 1984.

El principal problema ambiental de la región, en esa época, era la emisión de partículas por la Termoeléctrica en concentraciones por encima de la norma del Ministerio de Salud (Rubiano, Op. cit.) y la emisión de gases (óxido de azufre, cloro) y material particulado por las industrias productoras de álcalis.

En 1986 se instalaron precipitadores electrostáticos para todas las unidades de la Termoeléctrica a efecto de controlar el 99% de las descargas de material particulado. Las industrias de álcalis, por el contrario, continuaron sus operaciones sin ningún tipo de control.

En los años posteriores a la instalación de los precipitadores la desaparición de las “plumas” o “columnas” de humo negro de las chimeneas de la Térmica ocasionó un cambio en el paisaje, con lo cual surgía de nuevo la atmósfera transparente, típica de una región agrícola y ganadera.

Sin embargo, la simple visión macroscópica de una región, no siempre mide, en su justo valor, la permanencia o mejoramiento de las condiciones ambientales. En este caso resulta más práctico observar los cambios (presencia, cobertura, diversidad) acaecidos en bioindicadores sensibles que responden al aumento o disminución de los contaminantes atmosféricos.

El presente estudio, realizado para Interconexión Eléctrica S.A. -ISA- en 1992, constituye la segunda de tres monitorías de las comunidades de líquenes en los alrededores de la Termoeléctrica Martín del Corral, concebidas para comparar cualitativamente el tipo y distribución de las áreas de isocontaminación reportadas en 1983, cuando no había controles de emisión de partículas en ninguna de las industrias de la zona, con situaciones posteriores en donde se aplican sistemas de control, como es el caso de la instalación de precipitadores o filtros electrostáticos en las unidades de la termoeléctrica. La tercera monitoría está proyectada para el año 2002, situación interesante debido no sólo a la operación controlada de la termoeléctrica sino al cierre o clausuramiento de las industrias de álcalis.

METODOLOGÍA

Selección del forofito: Se seleccionó la especie *Salix humboldtiana* (Moll) Willd (Sauce llorón), en consideración a su amplia distribución en la región, su corteza perenne y su cubierta abundante en líquenes.

Selección de puntos de muestreo: Esta se realizó de acuerdo con la ubicación de las estaciones registradas en 1984. Los criterios de selección empleados en esa época y actualmente fueron:

- Cercanía al Complejo Industrial y a la Termoelectrica Martín del Corral. Los muestreos en este caso se hicieron a barlovento y sotavento, teniendo como centro dichas fuentes.
- Lejanía de las fuentes contaminantes. Se escogieron lugares situados preferiblemente a barlovento.

Homologación de los puntos de muestreo: La viabilidad de los líquenes como bioindicadores requiere que los sitios de muestreo sean, en cuanto a su hábitat, lo más uniformes posible con el objeto de que la varianza poblacional y de la comunidad sea mínima para factores diferentes a la calidad del aire (García y Rubiano, 1984). Según esto se escogieron las estaciones de muestreo teniendo en cuenta la ocurrencia del mayor número de características homogéneas como:

- Altura sobre el nivel del mar: constante 2.550 m.s.n.m.
- Condiciones topográficas iguales: extremo oriental de la Sabana de Bogotá.
- Ordenamiento: Se escogieron árboles aislados o en línea.
- Hábitat locales similares: árboles relativamente expuestos, sin interferencia de casas, plantaciones o accidentes del terreno. También se trataron de evitar las interferencias antropogénicas directas (v.gr. quemas) y los efectos del ganado sobre algunos de los troncos.
- Número de registros: cuatro en cada estación.
- Forofito único: *Salix humboldtiana*.
- Altura de registro en los troncos: rango de cero a dos metros.
- Orientación de las observaciones: las cuatro direcciones.
- Inclinação similar: en la mayoría de los casos se seleccionaron árboles de fuste vertical.

Parámetros de los registros: Los registros tuvieron en cuenta dos tipos de información:

- a. Características del forofito: diámetro, altura del fuste, inclinación.
- b. Características de los líquenes: especie (o género), exposición, altura sobre el tronco, cobertura, fructificación y apariencia general del talo (vitalidad).

La investigación reportó seis zonas en los alrededores de la Térmica, (Fig. 1) diferenciadas entre sí por el tipo, frecuencia, diversidad y cobertura de los líquenes. Su distribución se ajustaba a un gradiente cualitativo de calidad del aire, partiendo de zonas muy contaminadas a zonas sin contaminación (Rubiano, 1989).

Para los registros se emplearon formatos que indicarán la información antes expuesta y para medir la cobertura de los líquenes se utilizó una plantilla de acrílico transparente marcada con cuadrículas de 1cm^2 .

Mediante la metodología descrita se realizaron 17 muestreos, cuya ubicación se observa en la Figura 2.

Tratamiento de los datos: La información consignada en los formatos se analizó por medio de la técnica conocida como índice de Pureza Atmosférica (IPA) de Le Blanc y De Sloover (1970). Esta técnica relaciona los parámetros frecuencia y cobertura de los líquenes con un factor llamado "resistencia". La frecuencia-cobertura se expresa en una escala de 1 a 5 según el sistema fitosociológico de Braun Blanquet (1979), mientras que el factor de resistencia Q (definido como el número promedio de especies acompañantes de una especie determinada), se deduce mediante el cociente:

$$Q_i = \frac{A_i - 1}{\sum E_j} \quad \text{donde:}$$

Q_i = Factor de resistencia de la especie i .

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

E_j = Número de estaciones donde se halle i .

El empleo de este "factor" se debe al hecho bien demostrado de que la contaminación reduce la diversidad de las especies.

El patrón "zona contaminada" con pocas especies, o inversamente, "zonas puras" con muchas especies lleva en consecuencia al siguiente razonamiento: para una serie de registros hechos bajo condiciones homólogas de muestreo una especie sería resistente cuando se desarrolla y propaga en condiciones de aire contaminado, situación que coincide generalmente con una reducción en el promedio de sus especies acompañantes.

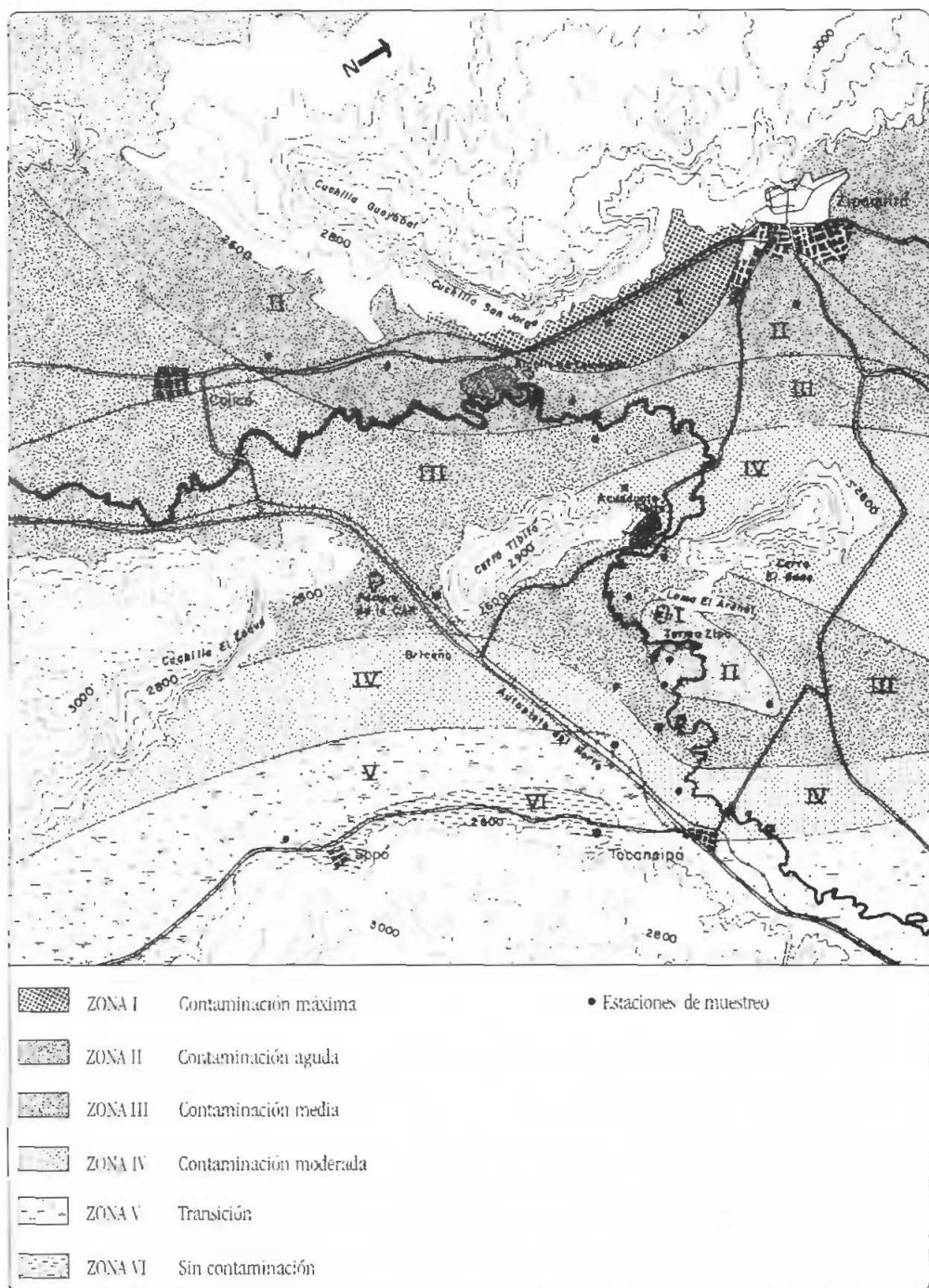


Figura 1. Curvas de isocontaminación en el área de influencia de Termozipa según los IPA. 1983

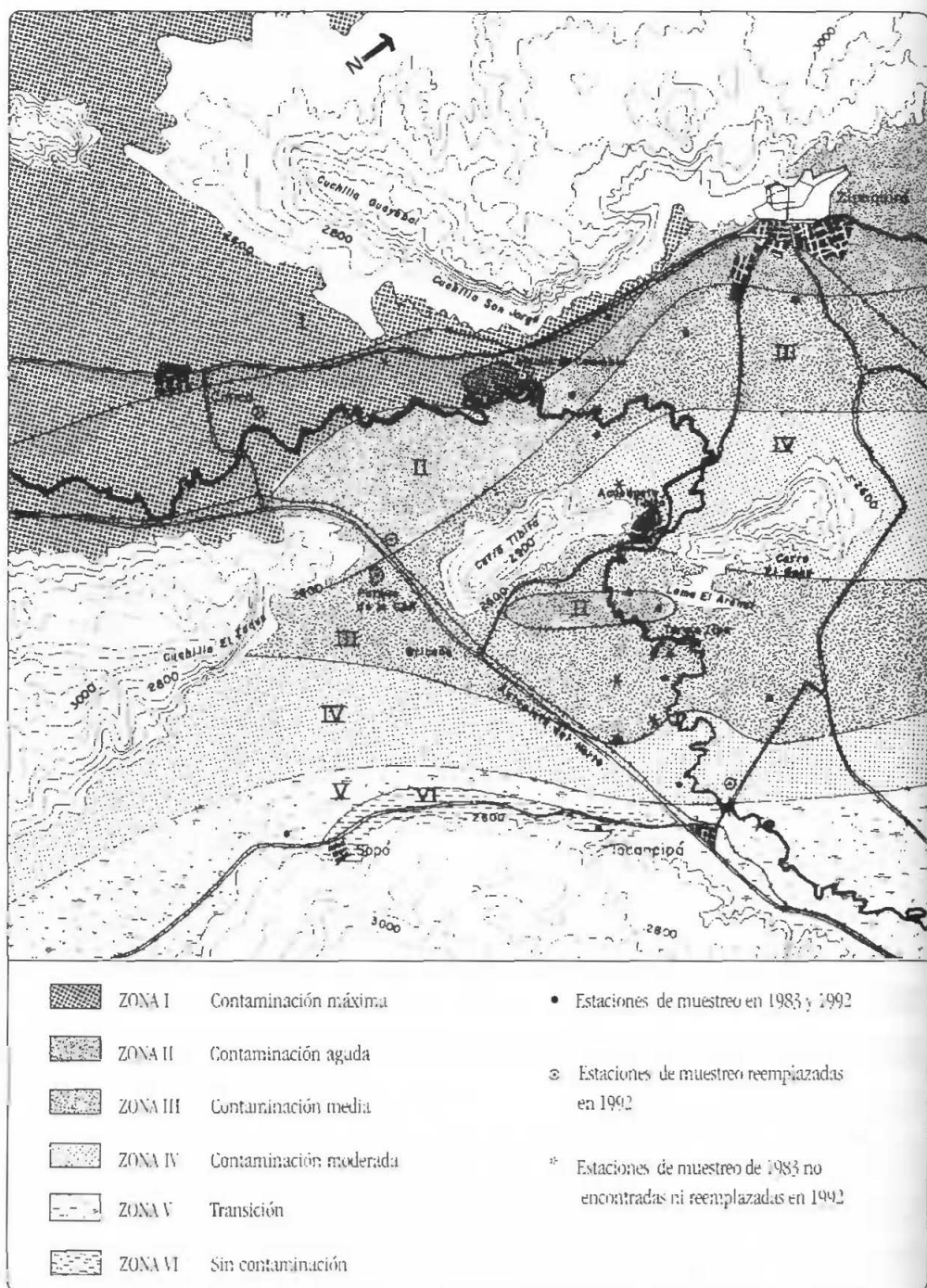


Figura 2. Curvas de isocontaminación en el área de influencia de Temozapa según los IPA 1992

El índice de Pureza Atmosférica de Le Blanc y De Sloover viene dado por la fórmula:

$$IPA_j = \sum_n \frac{Q_i \times f}{10} \quad \text{donde:}$$

IPA_j = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j.

Q_i = Factor de resistencia de la especie i

f = Frecuencia-cobertura de la especie i, expresada en una escala de 1 a 5 (según Braun-Blanquet).

La fórmula en estos términos da resultados numéricamente elevados, por lo cual Le Blanc y De Sloover introducen el cociente 10 para lograr cifras más manejables. En el presente trabajo se hace una reforma que consiste en sustituir la escala de Braun-Blanquet por valores reales cuantitativos: frecuencia expresada en porcentaje de presencia y cobertura expresada en cm^2 .

Sin embargo, por su magnitud para algunas estaciones de muestreo, este último término resulta también difícil de manejar. En consecuencia, es mucho mejor indicarlo como cobertura relativa que se expresa mediante el cociente entre el valor de la cobertura total de la especie i (sumatoria de sus coberturas en los cuatro árboles) en la estación j y el máximo valor de cobertura total alcanzado en cualquier estación.

La fórmula modificada quedaría:

$$IPA_j = \frac{Q_i \times f_i \cdot C_i}{n} \quad \text{donde:}$$

C_i = Cobertura relativa de la especie i en la estación j.

f_i = Frecuencia de la especie i (número de forofitos de la estación j en que aparece la especie i).

n = Número de forofitos censados en la estación j.

RESULTADOS

Con pocas excepciones, el paisaje en 1992 era el mismo de nueve años atrás, esto es en 1983.

El cambio principal se dio al SE de la Térmica, entre el río Bogotá y la autopista del Norte donde las áreas agrícolas fueron reemplazadas por viveros para cultivos comerciales de flores. Nuestro propósito fue tomar las mismas estaciones de muestreo y los mismos árboles utilizados en 1983. Sin embargo, los árboles de cinco estaciones (simbolizados con un asterisco en la Figura 2) fueron derribados y en sus alrededores no se encontraron ejemplares para reemplazarlos. En otros cuatro casos (simbolizados con 0 en la Figura. 2),

Tabla 1. Valores de cobertura (cm²), valores Q y valores IPA en las áreas de influencia de Termozipa y Álcas de Colombia

Especie	Estación	3	2	10	16	4	15	5	14	8	1	6	11	7	13	17	9	12	Q
<i>Lobaria</i> sp.		180	320	0	189	6592	7032	0	2	270	2809	5480	8636	3699	5392	3180	7956	12052	10.2
<i>Teloscistes exilis</i>		0	0	0	0	0	13	0	8	0	134	54	291	447	5280	1113	4196	343	12.9
<i>Heterodermia albicans</i>		608	0	7	59	24	42	21	7928	1526	1647	2	7360	8009	6104	3084	17312	122	10
<i>Ramalina celastri</i>		0	0	0	262	34	588	270	1008	633	905	2990	116	735	412	178	1128	190	11.2
<i>Lecidea</i> sp.		0	0	1756	648	220	0	916	0	0	96	4384	0	0	1	84	41	925	11.4
<i>Lecanora</i> sp.(1)		0	0	0	0	8	0	32	0	33	47	415	12	0	0	133	24	4024	12.88
<i>Teloscistes hypoglaucus</i>		0	0	0	7	0	0	0	30	43	28	0	2	10	0	0	25	2	12.55
<i>Ramalina caracasana</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	8	48	0	0	0	4	0	27	105	14.4
<i>Usnea</i> sp.		0	0	0	1	18	25	1	0	8	80	254	75	16	822	12	77	433	11.61
<i>Punctelia flaventor</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	11
<i>Chroococcus</i> sp.		0	1280	9920	12044	32	1184	14664	11136	12640	1856	7860	96	0	0	224	0	64	9.15
<i>Parmotrema perlatum</i>		0	0	0	0	2194	1494	0	0	0	48	126	860	10	1612	0	36	5827	12.7
<i>Ramalina coblestris</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	46	16	38	0	14.7
<i>Peltigera</i> sp.		16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108	13
<i>Lecanora</i> sp. (2)		0	0	0	0	0	2	240	1	0	0	2	0	0	0	0	5	55	12.5
<i>Everniastrum vexans</i>		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	11.5
<i>Tortula</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	618	32	0	978	4656	306	200	11.5
<i>Ortotrichum pygmaephyllum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5641	0	0	0	0	11
<i>Fabronia ciliaris</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	496	0	0	0	0	11
<i>Frullania sphaerocarpa</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1268	32	16	596	8	16.8
<i>Heterodermia leucomelaena</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132	0	0	0	4	1	2.2
<i>Heterodermia hypoleucia</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	32	544	15.6
<i>Heterodermia flabellata</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	592	2.2
<i>Leptogium</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256	0	20
<i>Lobaria</i> sp. (2)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	20
<i>Graphidaceae</i>		0	0	0	0	256	32	0	0	0	0	0	1568	48	0	272	1029	512	14.2
<i>Pleopeltis macrocarpa</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	640	0	0	16
<i>Parmotrema</i> cf. <i>cetratum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344	0	32	20
<i>Parmotrema cristiferum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	24
<i>Bacidia</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	512	0	16
<i>Lepraria</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	544	0	0	16
<i>Caloplaca</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1127	2.2
<i>Trentopoblia</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	704	24
<i>Frullania</i> sp. (2)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24
<i>Phylloporia</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	24
No de especies		3	2	3	7	9	9	8	7	8	12	11	14	12	11	17	21	25	
IPA - 1992		0.64	0.72	8.46	10	10.7	12.4	15.7	23	24.5	26.7	37.1	38.0	44.6	52	73.4	107.9	163.1	
IPA - 1983		2.64	9.89	31.1	20.9	1.84	24.2	5.88	8.36	2.12	11.4	20.9	5.92	44.3	77.4	33.8	113.7	135.5	

los registros se efectuaron sobre troncos diferentes presentes en cercanías de las estaciones correspondientes. En total, se muestrearon 17 estaciones, trece de ellas idénticas a las de 1983.

La Tabla 1 resume la información de composición florística, cobertura relativa y frecuencia de epífitas para las 17 estaciones; en total se censaron 68 árboles todos en las cuatro direcciones hasta una altura de dos metros.

Las tres últimas filas muestran: el número de especies reportadas para cada estación, los valores IPA para 1983 y los valores IPA para 1992.

Las Figuras 1 y 2 muestran los mapas de áreas de isocontaminación para 1983 y 1992, elaborados según la metodología de Rubiano (1988, 1989). Para el año 1992 se tomaron los mismos valores límite tomados en 1983 (IPAs 3 - 12 - 40 - 78 - 114) con el fin de que los resultados fueran homólogos y comparables.

La Figura 3 muestra la línea hipotética (según la tendencia de las líneas de isocontaminación) que separa las áreas de influencia de Termozipa y de las industrias de álcalis.

Finalmente, la Tabla 2 muestra la extensión en Km² de las seis áreas de contaminación para los años 1983 y 1992.

Tabla 2. Extensión (Km²) de las zonas de contaminación en Termozipa y Álcalis de Colombia

	1983		1992	
	Termozipa	Álcalis	Termozipa	Álcalis
Contaminación máxima				
ZONA I	0.2	6.0	0.0	45.5
Contaminación aguda				
ZONA II	9.9	25.2	2.0	21.2
Contaminación media				
ZONA III	24.9	45.3	37.4	14.4
Contaminación moderada				
ZONA IV	36.5	8.4	28.7	10.3
Transición				
ZONA V	28.4	4.9	28.5	2.5
Sin contaminación				
ZONA VI	3.9	0.0	3.1	0.0
Total extensión	193.6		193.6	

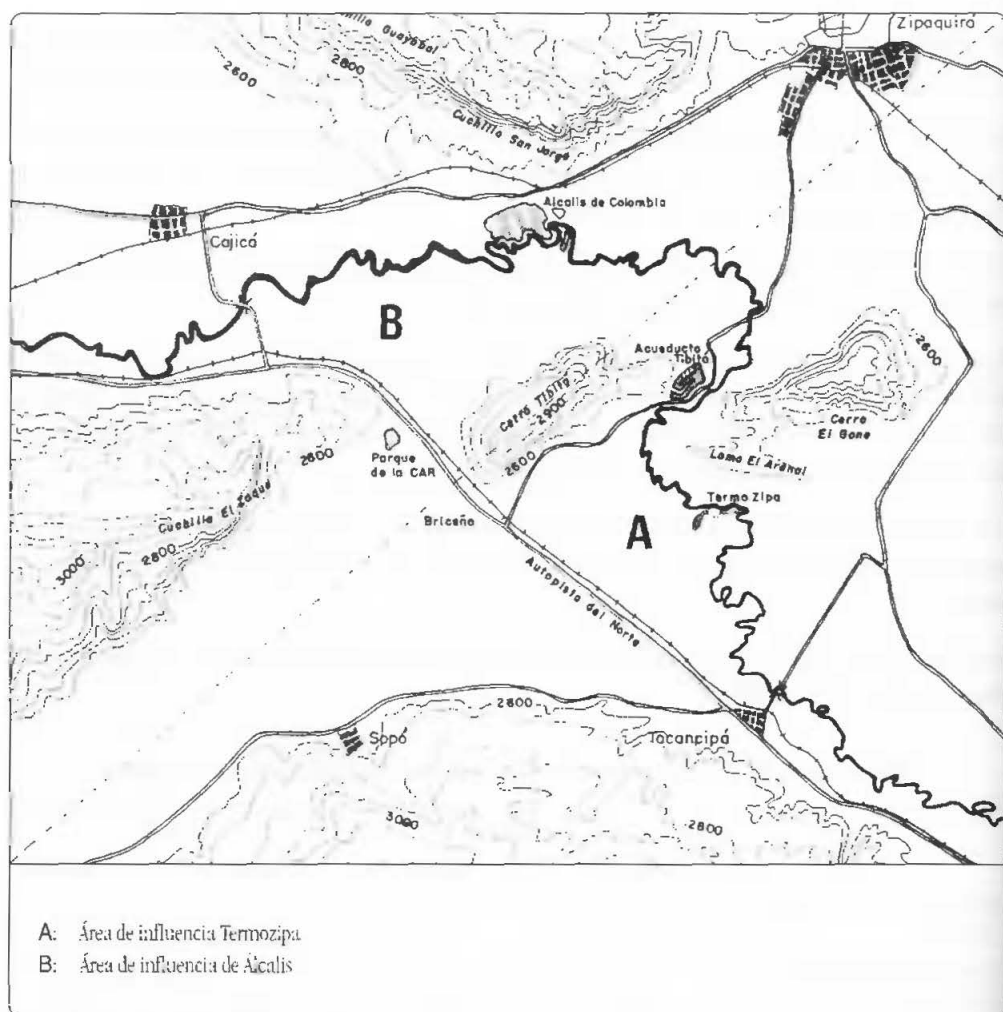


Figura 3. Línea de influencia de Termozipa y Alcalis de Colombia según los bioindicadores.

DISCUSIÓN

La desaparición, por tala de árboles, de las cinco estaciones señaladas en la Figura 2 puede influir levemente en la definición exacta de los límites entre las áreas consecutivas I y II y III y IV pero no en la conformación general del total de áreas de isocontaminación. En otras palabras: la tala moderada de sauces (muchos de los cuales han sido reemplazados por juveniles retoñados sobre esquejes) de una estación no influye en la distribución y abundancia de los líquenes presentes en los árboles del resto de estaciones. Una tala mayor, sin embargo, influiría notablemente en el grado de resolución de las áreas de isocontaminación, pues al

desaparecer algunas de ellas sería imposible localizarlas dentro de los límites IPA preestablecidos. Un caso extremo sería, por ejemplo, localizar las áreas más puras de la región, cuando en éstas apenas existen los cuatro árboles indispensables para el muestreo.

De otra parte, el reemplazo de una estación por otra, ubicada suficientemente cerca, no afecta los resultados finales de la forma y tamaño de las áreas de isocontaminación, siempre que se haga dentro de los criterios de homologación descritos en la metodología. Dicha homologación elimina cualquier influencia ajena a la contaminación, incluyendo el reemplazo de estaciones.

La comparación de los mapas de 1983 y 1992 muestra algunos cambios en la extensión y distribución de las áreas de contaminación en los alrededores de la Termoeléctrica y del sector industrial de Álcalis.

Si tenemos en cuenta la distribución de los líquenes y la dirección del viento (predominante en sentido E→O y SE→NO (CAR, 1969-1970), es claro que el cerro de Tibitó marca una barrera natural a la dispersión de los contaminantes, “construyendo” las curvas de isocontaminación a lado y lado de éste. Según la tendencia de estas curvas en 1992 y la presencia de una zona IV entre los cerros de Tibitó y El Gone en 1983 y 1992 puede establecerse la separación de dos áreas de influencia, Termozipa - Álcalis, al trazar una línea hipotética que atraviesa el cerro de Tibitó en sentido SE→NO (Figura 3), siendo el área de influencia de las industrias de álcalis la correspondiente al occidente de dicha línea y la de la Térmica, al oriente de la misma.

A partir de este planteamiento, lo más notorio en el área de influencia de la Termoeléctrica es la desaparición del desierto de líquenes (zona I), es decir, de la zona de máxima contaminación. La zona II se reduce de 3.5 Km² a 2 Km². Su forma se mantiene elíptica, pero su posición cambia de un sentido E→O a un sentido NO→SO. La Termoeléctrica en este caso, queda por fuera de su área de influencia. La ubicación de esta área en 1983, por el contrario, incluye a la Termoeléctrica en su centro. En esa época podría haberse presentado una dispersión y depositación “*in situ*”, de las partículas más gruesas debido a la gravedad, períodos de calma o probables inversiones atmosféricas. La eliminación de este tipo de material por los precipitadores en los años posteriores destacaría de nuevo la acción del viento que transportaría los gases y partículas más finas en la dirección en que se encuentra actualmente la zona II (dirección predominante).

Las zonas III y IV son de particular interés y su comportamiento debe analizarse teniendo en cuenta los cambios registrados en el área de influencia del sector industrial de Álcalis.

En general, para el área de influencia de la Termoeléctrica se observa una reducción y redistribución de las zonas de mayor contaminación (zonas I y II) y un aumento de las

áreas con mejor calidad del aire (zona III). En términos de bioindicación, ello significa una recolonización y un mayor desarrollo de los líquenes en las áreas sometidas anteriormente a descargas de partículas. Al desaparecer dichas descargas el bandeamiento observado desde la Térmica hasta Zipaquirá (Figura 2), puede verse como un avance en sentido SE → NE de un frente de aire que no presenta interferencia de fuentes contaminantes.

En total contraste, se presenta el sector de la Industria de Álcalis. Allí, la zona III, de contaminación media, e incluso la zona II, de contaminación aguda, son constreñidas hacia el cerro de Tibitó por el avance de la zona I (desierto de líquenes), la cual envuelve por completo al municipio de Cajicá. Esta situación puede relacionarse con la carencia de sistemas de control de contaminantes atmosféricos en estas industrias y el mayor tiempo de exposición de las comunidades de líquenes a la polución.

La Tabla 2 muestra la extensión de las zonas de contaminación en 1983 y 1992, a lado y lado de la línea de influencia. Son patentes los siguientes hechos:

Desaparición de la zona de máxima contaminación en el área de influencia de Termozipa y aumento desmesurado de esta zona en el área de influencia de las Industrias de Álcalis.

Disminución en extensión de la zona II en el área de influencia de Termozipa y poca variación en el sector de Álcalis. En este último se presenta un fuerte desplazamiento del NO al NE.

La zona III puede considerarse una zona de confluencia de las emisiones de las dos fuentes. En Termozipa la extensión de esta zona ha sufrido un ligero incremento, reemplazando a las zonas I y II. En el sector industrial de Álcalis esta zona se ha reducido notablemente para dar campo al frente de máxima contaminación, que avanza en sentido O → E.

La zona IV es interesante, pues al igual que en 1983, marca el límite norte de influencia de la Térmica. A partir de este límite la contaminación vuelve a aumentar, lo cual indica influencia de una segunda fuente (Industrias de Álcalis).

Finalmente, las zonas V y VI, ubicadas a sotavento de las mencionadas fuentes, no parecen haber cambiado de extensión ni de distribución. En las dos fechas permanecen dentro del área de influencia de la Termoeléctrica. Zonas análogas dentro del área de influencia de las Industrias de Álcalis no son visibles a esta escala.

Características de los bioindicadores en 1983 y 1992. Se reportan algunas diferencias en la presencia y abundancia de los bioindicadores en 1983 y 1992.

En 1983 se registraron 27 especies de epífitas, de las cuales 23 corresponden al grupo de los líquenes, 3 a las algas y 1 a los briófitos.

En 1992 se reportaron 35 especies, de las cuales 27 fueron líquenes, 5 briófitos, 2 algas y un helecho.

La aparición de nuevas especies se manifestó en el área de influencia de Termozipa, principalmente en sectores próximos a la Planta. Particularmente interesante es la aparición de la familia Graphidaceae (liquen) en las estaciones 4, 5, 7, 11, 15 y 17, es decir, en las antiguas zonas I y II cercanas a la termoeléctrica; y la aparición de musgos, con cobertura media a exuberante en estos mismos sitios. Relevante también es la aparición de *Pleopeltis macrocarpa* (helecho epifito bastante sensible a la contaminación) en la estación 17, frente a la Central termoeléctrica.

La recolonización por nuevas especies representa sin duda una manifestación del mejoramiento de la calidad del aire en este sector. En cuanto a la posible desaparición de especies los inventarios en 1992 no reportaron dos líquenes registrados en 1983: *Baeomyces sp.* y *Physcia sp.* El primero se registró solamente en una estación (zona IV) y el segundo en 12 estaciones (zonas II, III, IV, V y VI). Dicha distribución excluiría como causa de desaparición la influencia de contaminantes atmosféricos, teniendo que explicar su extinción por causas endógenas (vejez, competencia) o de otro tipo.

CONCLUSIONES

- La instalación de precipitadores electrostáticos en la Termoeléctrica de Zipaquirá modificó significativamente el tamaño y distribución de las zonas de contaminación señaladas por los bioindicadores. Como hecho importante se destaca la desaparición de la zona de máxima contaminación (desierto de líquenes) y la reducción de zona la de contaminación aguda.
- Para el caso de las industrias de álcalis, sin sistemas de control de contaminantes, la zona de máxima contaminación (zona I), tuvo un incremento superior al 700%, respecto a 1983.
- Las zonas mejor conservadas (zonas V y VI) no sufrieron modificaciones apreciables.
- El patrón de distribución y orientación de las líneas de isocontaminación dentro del área de influencia de Termozipa se conservó más o menos intacto en el período comprendido entre 1983 y 1992.
- En el sector de las industrias de álcalis la orientación de las zonas I y II se desplazó en sentido O → E. Ello posiblemente tenga que ver con la dirección del viento, las aspersiones *in situ* de los gases y material particulado (por la carencia de chimeneas) y posibles inversiones atmosféricas.

- La aparición de nuevas especies, principalmente briófitos, líquenes crustáceos y helechos epífitos en sectores cercanos a la Termoeléctrica, confirman una mejora en la calidad del aire.
- Dada la tendencia de aumento de las zonas de contaminación máxima y aguda dentro del área de influencia de las industrias de álcalis se esperaría un cubrimiento total del desierto de líquenes en el sector occidental del cerro de Tibitó hacia el año 2000. Sin embargo, las nuevas condiciones de calidad del aire ocasionadas por el cese total de actividades de las plantas de álcalis y cloruro férrico, posteriores a 1992, ocasionarán, con toda seguridad, una contracción y reducción sustancial de las zonas críticas cambiando totalmente el panorama de áreas de isocontaminación de la región.

RECOMENDACIONES

1. Realizar monitorias de calidad del aire mediante aparatos de medición físico-química, simultáneas con las monitorias con bioindicadores. Ello debido a que la respuesta de los bioindicadores, si bien es bastante rápida a la mala calidad del aire (mortalidad de líquenes) es, de otro lado, muy demorada (crecimiento del talo o aumento de cobertura supremamente lenta) a la mejora de las condiciones ambientales.
2. Proteger y estimular la plantación de Sauces (*Salix humboldtiana*), bien sea en rodales o setos en el área comprendida entre los municipios de Cajicá, Zipaquirá, Tocancipá y Sopó.
3. Convenir con los propietarios de las fincas en donde se localizan las estaciones de muestreo la protección de los árboles correspondientes.

Bibliografía

- CAR, 1970-1980. Direcciones dominantes diarias del viento; estación 4-825 ANG. Guatavita.
- CAR, 1970-1980. Direcciones dominantes diarias del viento; estación 4-846 ANG. Tabio.
- Le Blanc, F. & J. De Sloover, 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. Jour. of Botany. 48: 1485 - 1495.
- Rubiano, L. J. 1989. Líquenes como indicadores de contaminación en la Termoeléctrica de Zipaquirá y el Complejo Industrial de Betania Cundinamarca. Acta Biológica Colombiana, Vol. 1, No.4. Bogotá, D.C.
- Rubiano, L. J. 1988. Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como indicadores. Pérez-Arbelaesia. Vol. 1 N° 4-5. Bogotá, D.C.