

PEREZ - ARBELAEZIA

Volumen 1 Nos. 4-5 Enero-Julio 1987



JARDIN BOTANICO DE BOGOTA
"JOSE CELESTINO MUTIS"

JARDIN BOTANICO DE BOGOTA
"JOSE CELESTINO MUTIS"

PEREZ - ARBELAEZIA

JUNTA DIRECTIVA

Sven Zethelius Peñalosa
Germán Botero de los Ríos
Joaquín Caicedo Salazar

Patricio Samper Gnecco
Rafael García Espinosa

ALCALDE MAYOR

Julio César Sánchez

SECRETARIO DE OBRAS, D.E.

Juan Sánchez Rodríguez

DIRECCION

Teresa Arango Bueno

Registrado en el Ministerio de Gobierno
el 7-V-1986. Res. No. 001440

Tarifa Postal Reducida
Permiso No. 594 de 1986
Administración Postal Nacional

JARDIN BOTANICO

Carrera 66A No. 56-84
Teléfonos 2313965 — 2400483
A.A. 59887 — Bogotá, Colombia.

JARDIN BOTANICO DE BOGOTA
"JOSE CELESTINO MUTIS"

JUNTA DIRECTIVA

Patricio Sampedro Quintero
Eduardo García Espinosa

Sven Zetterlund Pettersson
German Barrantes de los Rios
Joaquín García Salazar

ALCALDE MAYOR

José César Sánchez

SECRETARIO DE OBRAS, D.E.

Juan Sánchez Rodríguez

DIRECCION

Teresa Arango Bueno

Registrado en el Ministerio de Gobierno

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.

Los editores se reservan el derecho de aceptar o de
rechazar los trabajos.

JARDIN BOTANICO

Carrera 66A No. 26-84

Teléfono 2313085 - 2400485

CARATULA

Emblema del Jardín Botánico de Bogotá. *Mutisia Clematis* L. A

JARDIN BOTANICO DE BOGOTA

"JOSE CELESTINO MUTIS"

PEREZ - ARBELAEZIA

Volumen 1 Nos. 4-5 - Enero - Julio 1987

Directora de la Revista

Teresa Arango Bueno

Comité Editorial

César Escallón E.

Gustavo Morales L.

Silvio Zuluaga R.

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

CONTENIDO

NOTAS DE LA DIRECCION	5
Delimitación en áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores	7
<i>Luis Juan Rubiano</i>	
Lista comentada de los macrófitos acuáticos y palustres de la región de Barrancabermeja (Santander)	43
<i>Udo Schmidt-Mumm</i>	
Efecto del fuego sobre la temperatura del suelo y la vegetación en un pastizal de los Llanos Orientales (Meta, Colombia)	55
<i>María Luisa Vidal L., J. Orlando Rangel Ch.</i>	
Observaciones fitoecológicas en el Darién colombiano	85
<i>Silvio Zuluaga Ramírez</i>	
Apuntes sobre el origen y difusión de las principales plantas precolombinas cultivadas en Colombia	147
<i>Camilo A. Domínguez</i>	
Algunas plantas utilizadas en el tratamiento de la hipertensión ...	159
<i>Santiago López-Palacios</i>	

Notas de la Dirección

Estas cortas notas han sido escritas luego de la última reunión de Jardines Botánicos colombianos, realizada en la acogedora ciudad de Marsella (Risaralda). En esta reunión tuve la gran satisfacción de ver que los esfuerzos de Pérez-Arbeláez no han sido en vano, puesto que la red de Jardines Botánicos que planeó para el país hace 20 años, ya casi se encuentra organizada; de tal manera que sentí la necesidad de volver sobre los valores de su vida y de su obra.

Analizar la obra científica y la nutrida producción bibliográfica del doctor E. Pérez-Arbeláez y hacer el elogio de su tersa y elegante prosa, es para mí un compromiso muy serio, ya que tuve el privilegio de ser su secretaria 26 años y asistí y tomé parte en la que fue su creación cultural: presencié sus frustraciones, sus innegables triunfos, sus largas horas de depresión, hasta el momento en que Dios arrancó la pluma a su ya vacilante mano. Pero me parece que no debo evadir este compromiso de hacer una pequeña reseña histórica de su trabajo, para este número de la Revista que lleva su nombre, ya que esta entidad es joya de su corona científica.

En una corta autobiografía que publicó en el Suplemento Literario de "El Tiempo" hacia 1964, narra cómo sus primeros años en las aulas del Colegio de La Salle con los Hermanos Cristianos y después los que vivió bajo la sabia dirección de los padres Jesuitas hasta coronar su carrera eclesiástica en Oña (Burgos) y más tarde, la que yo calificaría de meteórica carrera en la etilista Maximiliane Universität de Munich, bajo la dirección de su amado profesor que tanto influyó en él, Karl von Goevel, a quien debió en gran parte el honor de recibir en biología un doctorado suma cum laude y el ofrecimiento de viajar con una beca para estudiar la flora tropical en el Jardín Botánico de Buitenzorg en Java, distinción que no aceptó por su interés de regresar a Colombia.

Concluida su carrera viajó a diferentes ciudades europeas para conocer centros culturales y universidades especializadas en ciencias naturales; se detuvo en Berlín a estudiar el importante Herbario de la ciudad de Spree y en Madrid los manuscritos, exicados y preciosas láminas de la expedición Botánica de Mutis y copió el inventario que de ellas hizo el eminente José Jerónimo Triana, este Jardín en Madrid despertó en él un vivo interés por rescatar la tradición científica de Colombia, iniciada por el botánico gaditano y su escuela. Regresado a su patria padeció una intensa depresión nerviosa porque no encontró un ambiente para el plan cultural que en su mente había esbozado y así tuvo que partir de cero; eran finales de la tercera década del siglo. Lo favoreció el encuentro con ese hombre múltiple, apasionado por las ciencias naturales que fue César Uribe Piedrahíta y con él inició en Florencia (Cauquetá) su plan de exploración para recolectar especímenes florales como pri-

mer paso para el conocimiento potencial vegetal, que según él, era necesario para la fundación del Herbario Nacional, el cual logró crear en 1931 en honor de José Jerónimo Triana.

Vinieron enseguida sus gestiones para fundar la Escuela Botánica para formación de investigadores botánicos y para estructurar un equipo que se encargaría de salvaguardar los recursos naturales del país, aprovechando el entusiasmo del entonces presidente López Pumarejo con la ciudad universitaria y así la creó en 1936. Paralelamente trabajó con los doctores Jorge Álvarez Lleras, Belisario Wilches, Luis M. Murillo y el mismo César Uribe, para darle vida a la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; revivir la obra de nuestro sabio Caldas; de los geógrafos de la Corográfica; la de Clemente Garavito; la de tantos ingenieros, geógrafos, matemáticos y naturalistas que nos dieron brillo; pero ante todo, para publicar la obra magna de la flora de Mutis y para la creación de un Jardín Botánico y un Zoológico.

Simultáneamente viajaba y elaboraba sus miles de fichas; hacía sus preciosos dibujos y tomaba fotografías sobre los recursos naturales de Colombia y su vegetación, a la vez que sostenía su columna semanal en "El Tiempo", "machacando" como afirmaba él, sobre el proceso de desertización a que se encaminaba el país con la tala y el incendio inmisericorde de los bosques; cualquier día afirmó, que le había tocado en su país el papel de ser el campanero tocando a somaten para "anunciar la erosión".

Redactó entonces su libro "Plantas Útiles de Colombia" y planeó su obra cumbre "Recursos Naturales de Colombia", que constituye una visión totalizadora del país: límites, aguas, suelos, bosques madereros, bosques protectores, maravillas naturales, el hombre colombiano. Estudió también apasionadamente los territorios nacionales: El Chocó, La Guajira, El Orinoco, El Amazonas, que consideró como el gran desafío para los científicos del mañana. Pero le quedaba por engastar una piedra a esta corona de méritos: El Jardín Botánico de Bogotá, planeado durante muchos años para que fuera la lección viva de la flora del país especializada en los Andes; rescate y conservación de las especies en peligro de extinción; centro de investigación botánica y difusión del conocimiento; reducto maravilloso para refugio y recuperación de la fauna ornitológica de la sabana y también goce y disfrute de sus conciudadanos; con el Jardín redondeaba su obra.

¿Cuál es la importancia del doctor E. Pérez-Arbeláez en las ciencias naturales en este siglo? Que con su pensamiento claro logró articular obras perdurables para el conocimiento de la naturaleza, con el fin de que como una unidad sirviera de base para el desarrollo económico del país y para la realización de sus compatriotas como entes sociales; porque como él mismo escribió: "el amor a Colombia ha sido para mí un demon en el sentido sano usado por Goethe, de un impulso interior irresistible para servir mi país".

TERESA ARANGO BUENO
Directora Jardín Botánico de Bogotá
"José Celestino Mutis"

Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores ¹

Luis Juan Rubiano²

INTRODUCCION

El problema de la contaminación atmosférica en los países desarrollados aparece en la época de la revolución industrial, mientras que, en los países subdesarrollados, data apenas de los últimos veinte años como consecuencia del crecimiento de las ciudades y de la instalación de centros industriales.

Con el fin de dar aplicación a las normas sobre contaminación, es preciso cuantificar el gradiente de impactos ambientales tomando como base los niveles críticos de las emisiones, cuyo seguimiento normalmente se lleva a cabo en los efluentes y en el medio ambiente mismo. Para el caso de la contaminación atmosférica, las mediciones se hacen primordialmente en los centros urbanos, donde se concentra el mayor número de industrias, parque automotor e índices de población. Dichas mediciones son escasas o no existen para la mayor parte del territorio colombiano. Es así como en las conclusiones de Mejía et al (1982) sobre contaminantes atmosféricos, se pone de relieve "la gran incertidumbre de la información básica" que necesariamente restringe las discusiones al respecto. Las razones de este desconocimiento, se debe principalmente a los altos costos de los muestreos físico-químicos, a la falta de recursos técnicos y de personal calificado. Aún así, la realización de un programa de monitoría es esencial para la protección del Medio Ambiente.

A partir de 1866, cuando Nylander observó que la ausencia de líquenes en los alrededores de los Jardines de Luxemburgo se debía a la contamina-

1. Trabajo realizado en 1986 con la financiación del Fondo para la Protección del Medio Ambiente José Celestino Mutis, FEN — Colombia.
2. Biólogo, Universidad Nacional. A.A. 23227 AZOBIONAL, Bogotá.

ción del aire originada por las fábricas vecinas, se han realizado cientos de trabajos que han demostrado el carácter "bioindicador" de estos organismos, principalmente cuando se desea detectar cambios progresivos o repentinos del medio ambiente. En estos casos, la medición directa o apreciación del factor o factores indicados resulta más costosa y complicada que la observación o cuantificación del indicador. Los registros físico-Químicos son, no obstante, la base legal para la reglamentación, aunque las mediciones con receptores biológicos proveen el eslabón necesario entre deposición y efecto, elemento crítico para la decisión de políticas de control.

Para el caso de los líquenes, la gran mayoría de referencias (Barkman, 1958; Gilbert, 1973; Steubing y Jauger, 1982; García y Rubiano, 1984) evidencian la concordancia entre las áreas de dispersión de contaminantes y la composición y distribución de las comunidades. Los llamados "desiertos de líquenes" que se localizan en la proximidad de los centros industriales son lo más característico de dichos reportes. En Colombia se consideran básicos los trabajos de Ibáñez (1977) quien demarcó áreas de isocontaminación en Bogotá mediante monitoría activa de *Punctelia flaventior* (liquen) y los de García y Rubiano (1984) y Rubiano (1986) quienes estimaron niveles de contaminación atmosférica en áreas de influencia de termoelectricas y complejos industriales, utilizando comunidades de líquenes como indicadores.

La presente investigación pretende:

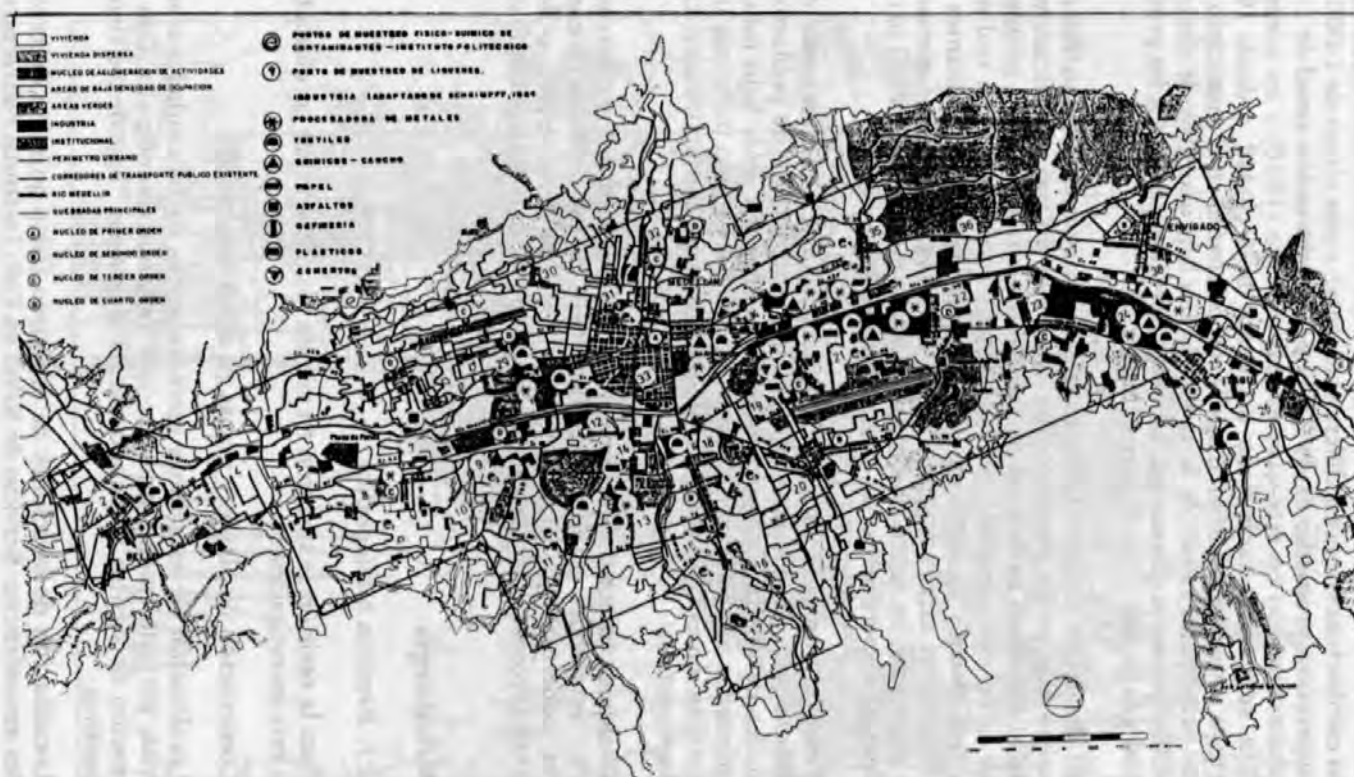
1. Evaluar la composición y distribución de las comunidades de líquenes en las ciudades de Cali y Medellín.
2. Deducir los niveles de calidad del aire y los patrones de dispersión de los contaminantes, utilizando dichos elementos florísticos como criterio de bioindicación.

I. Descripción de las Areas de Estudio

Medellín y Cali, después de Bogotá, son consideradas las dos ciudades más grandes de Colombia.

Medellín, con aproximadamente 2.000.000 de habitantes está situada en el valle del río Medellín, a una altura de 1.500 m.s.n.m. Su temperatura promedio es de 22°C y la precipitación anual de 1.475 mm. Desde el comienzo del siglo (1910) se ha destacado como el gran centro industrial dentro del contexto nacional, ocupando primeros lugares en la producción textil, procesamiento de metales y elaboración de productos químicos. Aunque la mayor parte de la industria se distribuye a lo largo del río Medellín, la falta de planeación en años anteriores no permite hacer una distinción clara entre las zonas residenciales y las industriales (Figura 1).

FIGURA 1
Estructura Urbana en Medellín



Cali, con cerca de 1.500.000 habitantes, está localizada entre el río Cauca y las estribaciones de la cordillera occidental, a una altura de 1.000 m.s.n.m. Su temperatura promedio es de 25°C y la precipitación anual de 1.005 mm. La industrialización en éste caso es más reciente (1940) y en contraste con Medellín se polariza hacia el nor-occidente de la ciudad y desde 1960 hacia el norte, a unos cinco kilómetros del casco urbano, en el municipio de Yumbo. Las principales ramas de la industria son la producción de alimentos, los productos químicos (fármacos, biocidas, fertilizantes, etc.), las procesadoras de metal y la producción de papel (Figura 2).

El desarrollo industrial, el uso cada vez mayor de combustibles fósiles y el proceso masivo de construcción, todo ello sin una planificación seria ha llevado al deterioro ambiental de estos dos centros urbanos, problema, que si bien es de conocimiento general, no se ha valorado en su real magnitud. Hasta el momento las mediciones físico-químicas de contaminantes datan de unos cinco años atrás con graves inconvenientes técnicos que apenas comienzan a corregirse, en tanto que la información meteorológica útil para las evaluaciones de dispersión puede considerarse nula.

Desde el punto de vista de los bioindicadores, podemos partir del hecho bien demostrado de que la composición y distribución de poblaciones o comunidades de epífitas, principalmente líquenes, en áreas bajo influencia de contaminantes atmosféricos, están determinadas en gran parte por los niveles y la distribución espacio-temporal de las emisiones contaminantes. La hipótesis subsecuente es:

Cualquier índice o algoritmo que de información sobre diferencias espaciales y temporales en elementos florísticos de los líquenes (presencia, frecuencia, cobertura) bajo condiciones homólogas de muestreo, reflejará con suficiente aproximación los patrones de dispersión de los contaminantes.

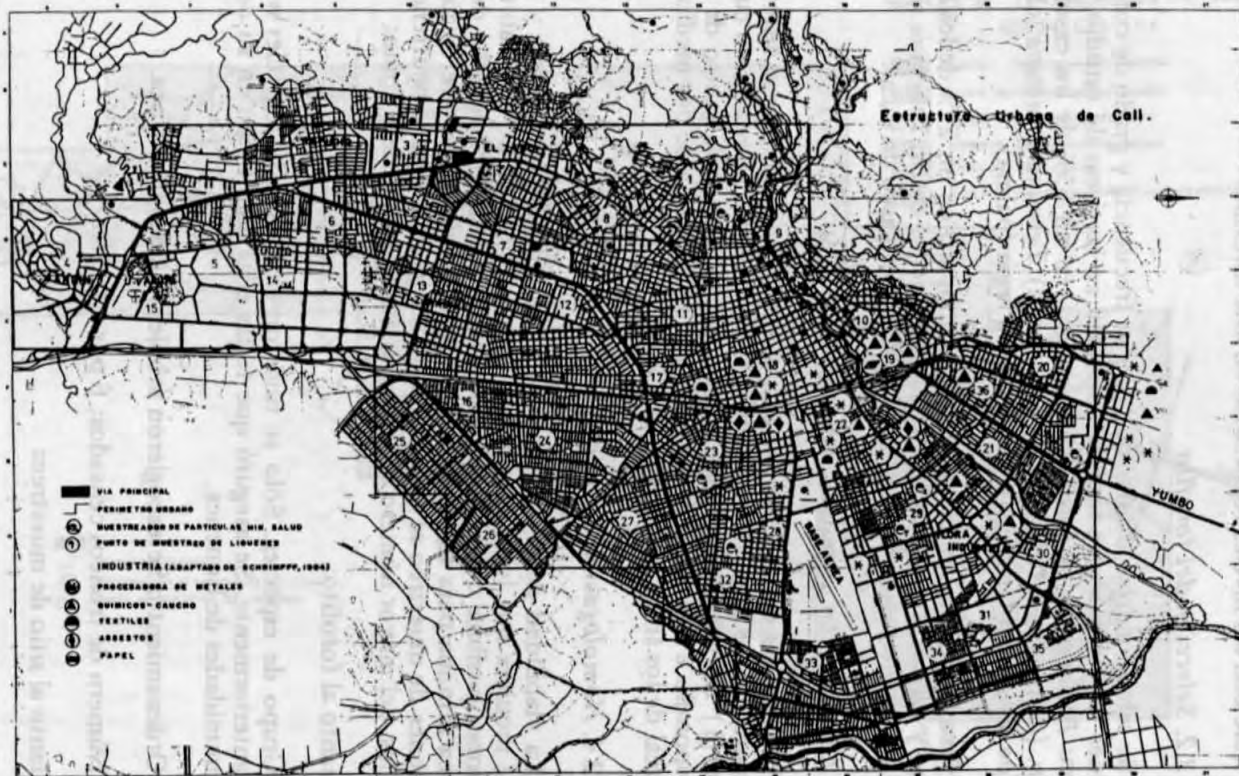
II. Metodología

2.1. Revisión bibliográfica

Para la revisión se tuvieron en cuenta los datos sobre las ciudades incluidas en ésta investigación:

- Consecución de planos y mapas en diferentes escalas.
- Localización de estaciones meteorológicas en las ciudades o sus cercanías, preferiblemente aquellas que tuvieran anemógrafo. Con la información de vientos se elaboraron los diagramas "rosa de los vientos" respectivos.
- Localización de estaciones de muestreo físico-químico de contaminantes atmosféricos: Servicio de Salud en Cali; Instituto Politécnico Colom-

FIGURA 2
Estructura Urbana de Cali



biano y Servicio de Salud en Medellín. La información obtenida (niveles de dióxido de azufre, partículas, etc.) se confrontó, hasta donde fue posible con los niveles reportados en éste informe.

2.2. Selección del forofito

Se seleccionaron árboles que por su frecuencia y grado de cobertura de líquenes tuvieran buena representatividad en las áreas de estudio. Para Cali fueron: *Pithecelobium dulce* (chiminango), en un 65% de los casos; *Calliandra sp.* (carbonero); *Tabebuia sp.* (guayacán); *Terminalia cattapa* (almendro); *Catalpa longissima* (crispeto), y *Roystonea regia* (palma).

Para Medellín: *Fraxinus chinensis* (urapán) en un 22% de los casos; *Fabaceae* y *Mimosaceae* (acacias), en un 36% de los casos; *Tabebuia sp.* (guayacán); *Mangifera indica* (mango); y *Bauhinia sp.* (casco de vaca).

2.3. Selección de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se escogieron de acuerdo con el sistema de coordenadas de los respectivos planos (Himat, 1979), marcados en cuadrículas de un (1) Kilometro cuadrado. La localización de cada punto de muestreo correspondió a una de tales cuadrículas, dejando una de por medio. La posición real de los sitios se observa en las figuras 3 y 4.

2.4. Homologación de los puntos de muestreo

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

En cuanto al forofito:

- Grupo de especies. Sólo se tuvieron en cuenta las especies nombradas anteriormente. Se aseguró que todas ellas admitieran en su corteza comunidades de líquenes.
- Ordenamiento. Se escogieron árboles aislados o en línea.
- Número de troncos censados: 6 por estación.

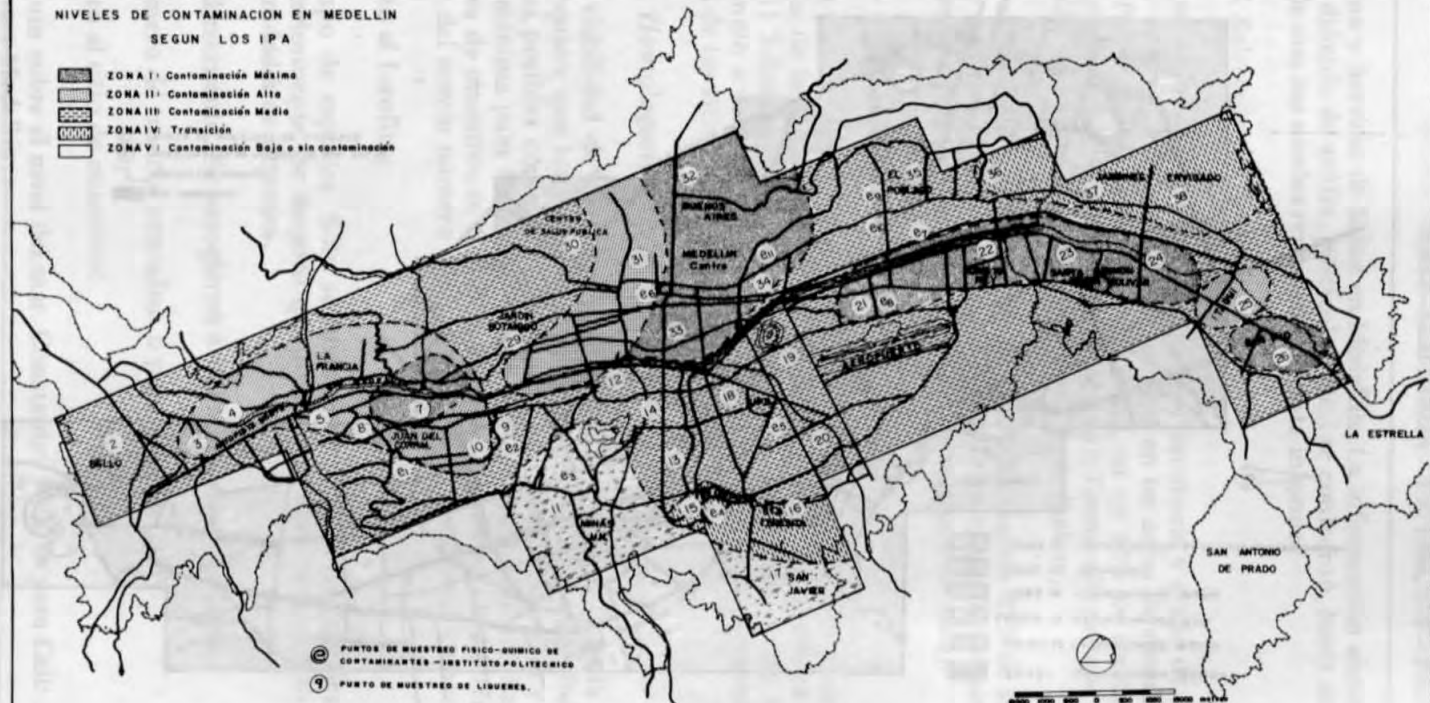
En cuanto al sitio de muestreo:

- Altura sobre el nivel del mar. Constante: 1000 m para Cali: 1500-1550 m para Medellín.

FIGURA 4

NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN MEDELLÍN
SEGUN LOS IPA

-  ZONA I: Contaminación Máxima
 ZONA II: Contaminación Alta
 ZONA III: Contaminación Media
 ZONA IV: Transición
 ZONA V: Contaminación Baja o sin contaminación



-  PUNTO DE MUESTREO FÍSICO-QUÍMICO DE CONTAMINANTES - INSTITUTO POLITECNICO
 PUNTO DE MUESTREO DE LIQUORES.



- Topografía. Preferiblemente plana.
- Localización urbana. Cualquiera excepto carreteras.

En cuanto al muestreo:

- Altura de las observaciones: 0–2 metros.
- Orientación de las observaciones: los cuatro puntos cardinales.

2.5. *Parámetros de los registros.*

Los registros tuvieron en cuenta dos tipos de información:

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

Para los registros se emplearon formatos que indican la información antes expuesta. Para medir la cobertura de los líquenes se utilizó una plantilla de acrílico transparente marcada con cuadrículas de (1) centímetro cuadrado.

Además, se tomaron registros fotográficos de las muestras utilizando una cámara tipo reflex con película de 35 mm y ASA 400.

2.6. *Tratamiento de los datos*

La información consignada en los formatos se analizó mediante la técnica conocida como “Índice de pureza Atmosférica de Le Blanc y De Sloover” (1970), que permite la definición de zonas geográficas correspondientes a áreas de isocontaminación. Los parámetros analizados con este método son la frecuencia y la cobertura de especies expresadas en una escala de 1 a 5 según el sistema de Braun Blanquet (1964) y un factor llamado “Resistencia”. Para el presente estudio se empleó el Índice de Le Blanc y De Sloover modificado por García y Rubiano (1984) en el cual la escala de frecuencia-cobertura es sustituida por valores reales: La frecuencia de especies va expresada en porcentaje de presencia y la cobertura como cobertura estandarizada. La fórmula en cuestión es:

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

Donde:

IPA_j = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j.

Q_i = Factor de Resistencia de la especie i.

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 .

C_i = Cobertura estandarizada de la especie i en la estación j . Se deduce dividiendo el valor de cobertura total de la especie i (sumatoria de sus coberturas en los seis árboles) entre el máximo valor de cobertura total alcanzado en cualquier estación.

El Factor de Resistencia se deduce mediante la fórmula:

$$Q_i = \sum A_j - 1/E_j$$

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 .

El IPA toma valores que varían entre cero (ausencia total de líquenes) y un valor positivo cualquiera, que será máximo para la estación que se asume como zona de baja o ninguna contaminación. Dicho máximo tiene validez local solamente, pues los valores del IPA guardan relación con la riqueza de especies:

IPA máximo teórico = $S^2 - S$; donde S es el número total de especies encontradas en una zona o ciudad en particular.

El cociente IPA Observado/IPA Máximo Teórico, resulta útil cuando se desean comparar estaciones de dos regiones diferentes. En este caso, la frecuencia y cobertura deben expresarse en las mismas unidades.

Finalmente, la delimitación de áreas de isocontaminación se estableció interpolando, por medio de líneas, los valores del IPA para cada estación en los planos respectivos.

III. Resultados

Las Tablas 1 y 2 resumen los resultados del total de muestreos realizados en las dos ciudades: especies, estaciones de muestreo, coberturas máximas, frecuencia, valores IPA y relación IPA observado/IPA máximo teórico.

La Tabla 3 muestra las concentraciones de partículas para siete estaciones localizadas hacia el centro y occidente de Cali (Figura 1).

Las Tablas 4, 5, 6, 7, y 8 presentan, en forma comparada, las concentraciones de partículas, óxido de azufre, óxido de nitrógeno y formaldehído para once estaciones instaladas en forma temporal (3 semanas) por el Instituto Politécnico y el Servicio de Salud en la ciudad de Medellín (Figura 4).

Los índices de Pureza Atmosférica variaron de 0 a 67,15 en Medellín y de 0 a 115,8 en Cali, dando como resultado cinco zonas diferenciables florísticamente y que corresponden a áreas similares por niveles de contaminación, a saber:

Para Medellín a:

IPA 0 — 2,9 Máxima contaminación (Zona I).

IPA 3 — 10,9 Contaminación alta (Zona II).

IPA 11 — 26,3 Contaminación media (Zona III).

IPA 26, 4—58,0 Contaminación moderada (Zona IV).

IPA 58,1 — Contaminación baja (zona V).

Para Cali:

IPA 0 — 0,24 Máxima contaminación (Zona I).

IPA 0,24 — 5,38 Contaminación aguda (Zona IA).

IPA 5,39 — 8,0 Contaminación alta (Zona II).

IPA 8,1 — 53,5 Contaminación media (Zona III).

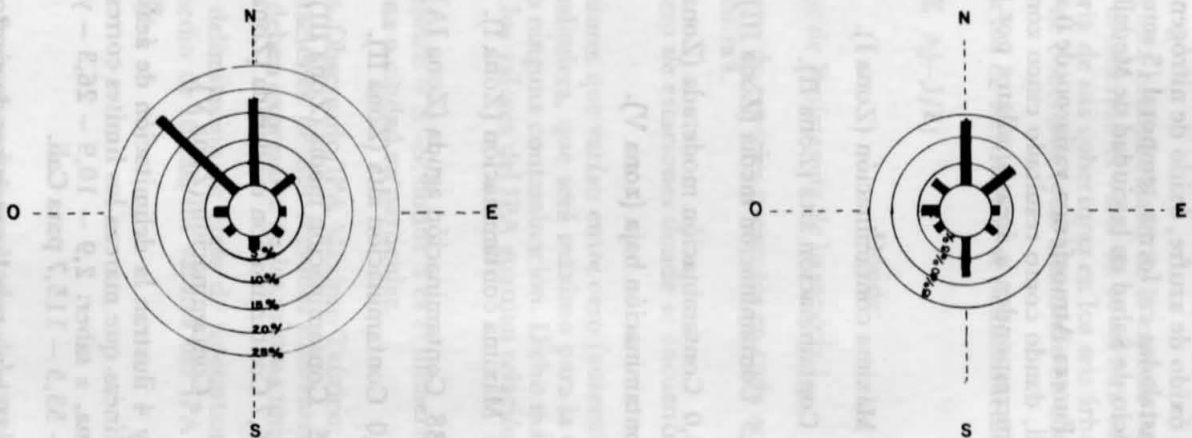
IPA 53,6 — 115,7 Contaminación moderada (Zona IV).

IPA 115,8 — Contaminación (Zona V).

Las Figuras 3 y 4 ilustran la delimitación de áreas de isocontaminación según los IPA. Las líneas que marcan los límites corresponden a los IPA máximos para cada zona, a saber: 2,9 — 10,9 — 26,3 — y 58,0 para Medellín y 0,24 — 5,38 — 8,0 — 53,5 — 115,7 para Cali.

Las Tablas 9 y 10 muestran los registros de vientos para los aeropuertos Olaya Herrera de Medellín y Palmaseca de Cali, incluyendo el porcentaje de calmas. La Figura 5 ilustra las respectivas Rosas de los vientos.

FIGURA 5
ROSAS DE LOS VIENTOS CON DISTRIBUCION DE CALMAS



Cali - Aeropuerto Palmaseca Feb-Oct. 1983

Medellín- Aeropuerto Olaya Herrera. 1983-1985

Escala 1mm = 1 %

RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA LA CIUDAD DE CALI

Especies, Cobertura (cm²), Factores de resistencia, Frecuencia de las especies, Valores IPA y relación IPA observado/IPA máximo teórico en las estaciones de muestreo.

[illegible]

Los valores subrayados corresponden a las coberturas máximas en el área de estudio.

- ZONA II.

- ZONA III -

- ZIV ZV

TABLA 2

RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA LA CIUDAD DE MEDELLIN

Especies, Cobertura(cm²), Factores de resistencia, Frecuencia de las especies, Valores IPA y relacion IPA observado/IPA maximo teorico en las estaciones de muestreo.

ESPECIES	ESTACION	7	21	22	23	24	26	32	33	34	25	4	8	31	5	10	12	30	18	13	2	19	14	29	9	3	20	35	38	15	37	36	16	17	11	Q1	Nº EXT.	F(%)	
Candelaria concolor											1512	72	320	602	2696	244	2080	256	1408	1664	1408	1088	1696	2512	384	1184	4960	5312	4992	512	92	32	1200	2114	228	8,4	25	73,5	
Parmotrema cf. simulans											2868	8128	3316	1600	560	772	9600	280	1000	1968	48	3120	1332	7756	11264	1098	2752	3888	1600	1024	2320	1536	16	546	4672	8,4	25	73,5	
Febronia sp. (musgo)											766		704	2912	896	64	1088	1344	9216	928	2112	1536	2304	992	2102	352	5088	1728	3008	4848	3264	2896	11904	14394	8640	8,66	24	70,5	
Protococcus sp.											1048	256	1024	64	640	640	896		320	1024		512	1664		384	2048	3328	832	256	1152	64	512	48			8,05	20	56,2	
Hyperphyscia														1024				3136	2048	4096	5248	896	2304	1248	768		1216		2048	3520		4112	3128			9,35	14	41,1	
Lecanora sp. (verde)																	32			128		336	128	1424		320	524	16	32	3664	1472	82	5982	1072	10,7	14	41,1		
Frythodontium sp.													128				1216					1152	1152		1344	1280		768		1536	1984	512	508	96	10,9	12	35,2		
Pixine petricola													64		20			240	640				640	1952	4608			192	544			256	4516	64	10,3	12	35,2		
physcia sp.													544					1440			112	3024			64		16	4	1744	384		32	411	16	10,5	12	35,2		
Lynbya sp. + Nostoc spp.															16					768						64	256		32	352			384	268	160	11,1	9	26,4	
Pixine coccos																		32	64		64		256			736		1600				384	306	192	11,3	9	26,4		
Parmotrema reticulatum																				64						320			1056	192	256	2528	3824	1408	12,5	8	23,5		
Heterodermia cf. Pseudospeciosa															180											3672	384			2688	912		448	2988		11,0	7	20,5	
Lecanora sp (ap. rojas)													24		32	140					16			32							288			1492	9,0	7	20,5		
Bryum sp.																	96					128	768	64	64	96		96							9,0	7	20,5		
Dirinaria sp.																									416				640				1152	624		12,7	4	11,7	
Lejeunea sp.																														2496	448	256	184			13,7	4	11,7	
Parmotrema coraliforme																							248							312				1408	13,3	3	8,8		
Graphidaceae																							8							16				32	140	3	8,8		
Heterodermia squamulosa																									512											10,0	1	2,9	
Candelaria sp(2)																									1088											100	1	2,9	
Chiadecton sp.																														638	1194					12,5	2	5,8	
Usnea sp.																														4	16					12,5	2	5,8	
Parmeliopsis sp																																384	406				15,0	2	5,8
Leptogium cf. puiggari																																256					11,0	1	2,9
Chiadecton sanguineum																																8256					16,0	1	2,9
Frullania gibbosa																																			160	18,0	1	2,9	
Leptogium foveolatum																																			140	12,0	1	2,9	
Protoblastenia russula																																							

ZONA I

ZONA II

ZONA III

ZONA IV

ZV

Los valores subrayados corresponden a las coberturas maximas en el area de estudio.

TABLA 3

Partículas en suspensión $\mu\text{g}/\text{m}^3$. CALI

Estación	Evaluación respecto a las normas					
	Para el promedio			Para la concentración máxima		
	Prom.	Norma local	% Superada	Valor máx.	Norma local	No. veces sup.
1. Centro Salud D. Lalinde	200,5	89,3	124,7	655,0	357,1	5
2. Centro Salud Popular	214,6	89,3	140,4	672,0	357,1	5
3. C. Diagn. Automotor	210,1	89,3	135,3	729,0	357,1	7
4. Unid. Reg. de Salud	81,9	89,3	0,0	158,0	357,1	0
5. Centro Hosp. Cañaveral	88,8	89,3	0,0	150,0	357,1	0
6. Hosp. P. Iglesias	92,0	89,3	3,5	223,0	357,1	0
7. Centro Salud Sena	102,0	89,3	14,2	224,0	357,1	0

FUENTE: Ministerio de Salud Pública — Saneamiento Ambiental.

TABLA 4

Concentraciones en orden descendente de material particulado en suspensión — MEDELLIN

Zona	Sitio de Muestreo	Concentración promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Orden
8	Plaza mayorista	373	1
9	Poblado	326	2
6	Centro Ciudad	306	3
11	San Diego	300	4
7	EAFIT	275	5
4	Floresta	222	6
2	Anfiteatro	194	7
10	Aduana	193	8
3	Facultad de Minas	165	9
1	Sena Pedregal	121	10
5	U. P. B.	91	11

* Tomado de Gómez y Arenas (1985)

TABLA 5
Concentración en orden descendente de anhídrido sulfuroso
MEDELLIN*

Zona	Sitio de Muestreo	Concentra. promedio $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	Orden
10	Aduana	49	1
6	Centro Ciudad	45	2
8	Plaza mayorista	42	3
2	Anfiteatro	41	4
5	U.P.B.	39	5
4	Floresta	37	6
7	EAFIT	37	7
9	Poblado	32	8
11	San Diego	31	9
1	Sena Pedregal	25	10
3	Facultad de Minas	25	11

* Tomado de Gómez y Arenas (1985)

TABLA 6
Concentraciones en orden descendente de dióxido de nitrógeno
MEDELLIN

Zona	Sitio de Muestreo	Concentr. promedio $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	Orden
6	Centro	75	1
10	Aduana	66	2
8	Plaza mayorista	62	3
2	Anfiteatro	60	4
4	Floresta	59	5
11	San Diego	58	6
7	EAFIT	47	7
9	Poblado	45	8
3	Facultad de Minas	40	9
1	Sena Pedregal	31	10
5	U.P.B.	29	11

* Tomado de Gómez y Arenas (1985)

TABLA 7

Concentraciones en orden descendente de formaldehído
MEDELLIN

Zona	Sitio de muestreo	Concentr. promedio $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	Orden
9	Poblado	0,022	1
10	Aduana	0,02	2
6	Centro	0,014	3
11	San Diego	0,014	4
5	U.P.B.	0,009	5
3	Facultad de Minas	0,008	6
4	Floresta	0,006	7

* Tomado de Gómez y Arenas (1985).

TABLA 8

Orden de colocación según cuatro contaminantes
MEDELLIN

Sitio de Muestreo	Orden de colocación
Centro	1
Plaza mayorista	2
Aduana	3
Anfiteatro	4
Floresta	5
Poblado	6
EAFIT	7
San Diego	7
U.P.B.	8
Facultad de Minas	9
Sena Pedregal	10

* Tomado de Gómez y Arenas (1985)

TABLA 9

Régimen de vientos Aeropuerto Olaya Herrera
1983 - 1985

Dirección	Porcentaje
N	14,3
NE	6,7
E	4,8
SE	3,9
S	8,6
SO	2,2
O	1,7
NO	4,5
CALMAS	53,0

TABLA 10

Régimen de vientos Aeropuerto Palmaseca
Febrero - Octubre 1983

Dirección	Porcentaje
N	12,9
NE	5,9
E	1,23
SE	2,56
S	2,90
SO	2,43
O	1,78
NO	22,86
CALMAS	49,64

IV. Discusión

Caracterización de las zonas de contaminación según la flora epífita

El cociente IPA observado/IPA teórico, provee un elemento de comparación entre áreas de isocontaminación de diferentes regiones. Para el caso de Medellín y Cali, dichos cocientes (Tablas 1—2), son equivalentes en las zonas I, II y III respectivas y por consiguiente son homologables. Las zonas IV y V poseen cocientes diferentes que permiten apreciar el impacto sobre las áreas mejor conservadas.

La zona I o de máxima contaminación, corresponde a los desiertos de líquenes que ocupan regularmente las localidades próximas a los centros industriales y vías principales; en este último caso, la abundancia de epífitas superiores como *Tillandsia usneoides* o *T. recurvata*, indica una mayor resistencia de estos organismos a las emisiones contaminantes, dado su carácter de bioacumuladores.

La zona IA, característica de Cali presenta IPA's cercanos a cero y aunque en sentido estricto no constituye un desierto presenta una flora epífita muy reducida, con coberturas bajas, necrosis parcial o total e invasión intensa de hongos tipo moho.

La zona II también presenta pocas especies pero las coberturas son mayores. Es interesante la elevada cobertura (máxima en Cali) de *Protococcus* sp., alga cosmopolita, reportada como la especie más resistente en las áreas contaminadas de Europa (Barkman, 1958; Gilbert, 1973; Hanksworth y Rose, 1970). Son también elevadas las coberturas de macrolíquenes foliosos como *Pixine petricola* y *P. cocoes* en el caso de Cali y *Parmotrema* cf. *simulans* en Medellín, con la salvedad de que en estos casos los efectos de la contaminación sobre los talos son los más claros en toda el área de estudio. Los síntomas comienzan con la aparición de una mancha pardo rojiza hacia el centro del talo la cual se va extendiendo hacia los bordes; posteriormente se blanquea por la suspensión de la fotosíntesis del ficobionte, formándose un anillo por desprendimiento de la parte central (Láminas 1a-b). La última etapa comprende la separación y caída rápida de los restos del talo que se observa como una media luna y finalmente, su desaparición para dar origen al desierto.

La zona III se caracteriza por un número mayor de especies con rasgos muy comunes en las dos ciudades: elevada cobertura del género *Candelaria*, líquen visible por su color amarillo (Lámina 2a.); abundancia de macrolíquenes foliosos evidentes por su gran tamaño, entre estos *Pixine petricola* y *P. cocoes* (Lámina 2b), *Parmotrema* cf. *simulans* y *P. richardsii*. A diferencia de la zona II, estos líquenes presentan buena vitalidad incluyendo *Physcia* sp. y epífitas inferiores diferentes a los líquenes como *Protococcus* sp., *Lynbya* sp. y *Nostoc* spp. (algas). Para el caso de Medellín se observa, hacia la base de los troncos buena cobertura de *Bryum* sp. (musgo) que en Cali es reemplazado por *Stereophyllum* sp. (musgo).



Láminas 1a.-b. Fisonomía de los líquenes en la zona de contaminación alta. El efecto de los contaminantes sobre los líquenes es patente en la zona II donde se observa blanqueamiento de los talos por suspensión de la fotosíntesis (Lámina superior) y formación de un anillo por la muerte y desprendimiento de la parte central del líquen (Lámina inferior).



Láminas 2a.-b. Fisonomía de los líquenes en la zona de contaminación media. La zona III se caracteriza por la abundancia de macrolíquenes foliosos como *Pixine* spp. (Lámina izquierda) y *Parmotrema* spp. También es relevante la presencia del género *Candelaria*, muy visible por su color amarillo (Lámina derecha).

La zona IV de Cali se caracteriza por un número superior de especies (15 en total), la mayoría de ellas con factores Q elevados. Dada su composición puede considerarse como una zona de transición entre las zonas contaminadas y las zonas puras. Su principal rango distintivo es la presencia de especies del género *Ramalina* (*R. roeslerii*; *R. cf. pollinaria*; *R. celastri* y *R. cochlearis*) cuya ausencia en las zonas anteriores podría indicar una mayor sensibilidad a los contaminantes. Para Medellín lo más relevante es la cobertura de *Fabronia* sp. (musgo) (Lámina 3a.), *Erythrodontium* sp. (musgo) y *Lejeunea* sp. (hepática). Entre los líquenes se destacan *Dirinaria* sp., *Leptogium* cf. *puiggarii* y especialmente *Chiodecton sanguineum* (Lámina 3b). La presencia de éste último, como el caso de *Ramalina* en Cali, podría indicar zonas de poca contaminación.

La zona V posee el mayor número de especies: 19 para Medellín y 25 para Cali. Por el contrario, el poco número de estaciones que la representan da idea de su pequeña extensión dentro de las dos ciudades. Además de su riqueza en especies, dicha zona se diferencia de las demás por la abundante cobertura de líquenes crustáceos: *Lecanora* spp., *Protoblastenia russula*, *Gyrostomum scyphuliferum*, *Pertusaria* sp., *Glyphis cicatricosa*, *Caloplaca* sp. y ejemplares de la familia *Graphidaceae*. Junto a ellos abundan los líquenes foliosos, representados en las otras zonas, dispuestos en manchas laminares viscosas que, por su diversidad indudablemente ponen en evidencia el carácter "limpio" de estas zonas.

Distribución de las zonas de contaminación en las áreas de estudio

La delimitación de cinco zonas de isocontaminación obedece a las diferencias de composición que se refleja en la discontinuidad de los valores de los IPA. La característica o cualidad de inmisión de contaminantes totales asignada a cada una de ellas es algo más complicada. Para Cali apenas existen siete estaciones de muestreo de partículas (Tabla 3, Figura 2) las cuales reportan concentraciones por encima de la norma del Ministerio de Salud en todos los casos. Las concentraciones menores (cercasas al nivel de la norma) se registraron en las estaciones 4 y 5, localizadas dentro de la zona III y las mayores (por encima del doble del nivel de la norma) en las estaciones 1, 2, 3, 6 y 7, correspondientes a la zona IA.

Para Medellín Gómez y Arenas (1985), evaluaron la calidad del aire respecto a partículas en suspensión, óxidos de azufre y nitrógeno y formaldehído en once sitios (Figura 1) que cubrieron principalmente el sector industrial. Los análisis se hicieron con la información de registros de tres semanas en cada estación con frecuencias de muestreo de cuatro veces por semana, cada uno de 24 horas. Posterior a los registros para una estación el equipo se trasladaba a otra y así sucesivamente. La metodología, como es obvio, está ajustada a los recursos financieros y no cumple con los requisitos de representatividad y comparabilidad adecuados. En cambio, a nivel de estimación los datos son importantes y muestra a *grosso modo* buena concordancia con los niveles



Láminas 3a.b. Fisonomía de las epífitas en la zona de transición. La zona de contaminación moderada o de transición en Medellín, se caracteriza por la exuberante cubierta de hepáticas (*Lejeunea sp.*) y musgos (*Fabronia sp.*, Lámina izquierda). Entre los líquenes llama la atención *Chiodecton sanguineum* (Lámina derecha) que como el caso de *Ramalina* en Cali, indicaría zonas de poca contaminación.

reportados por los bioindicadores. Al igual que en Cali las concentraciones de partículas exceden en todos los casos el nivel de la norma del Ministerio de Salud. El óxido de azufre presenta concentraciones cercanas a la mitad de la norma siendo las más bajas ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) los de la estación 3 - Facultad de Minas - (zona V según IPA), y los más altas ($47 \mu\text{g}/\text{m}^3$) las de la estación 10 - Aduana - y la estación 6 - centro -, que corresponden a las zonas I, II, y III según los IPA. Las concentraciones de dióxido de nitrógeno, también por debajo de la norma, muestran el valor más alto en la estación 6 (zonas I y II según IPA) con $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los más bajos en la estación 5 - Universidad Pontificia Bolivariana - (zona III según IPA) con $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y, el Sena del Pedregal (zona III según IPA) y Facultad de Minas (zona V según IPA) con 31 y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Las concentraciones de formaldehído tampoco exceden la norma del Ministerio y son máximas en las estaciones 9 y 10 (zona III según IPA) y mínimas en la estación 3 - Facultad de Minas - y 4 - Floresta - (zona V según IPA). Según los cuatro contaminantes, las estaciones con mayores concentraciones son la 6, 8 y 10 correspondientes a las zonas I, II y III según los IPA y las de menores concentraciones la 1, 3 y 9 correspondientes a las zonas III y V según los IPA.

De acuerdo con los bioindicadores las zonas de máxima contaminación en Medellín se ubican hacia el centro del valle siguiendo el eje norte-sur; su forma es estrecha con límites claros e influencia fuertemente local. Los dos principales focos de dispersión son el centro de la ciudad y la zona industrial del sur localizada entre las carreras 50 y 52. Junto a ellos y separados por la zona II se encuentran otras dos áreas de menor influencia localizadas hacia los municipios de Bello e Itagüí, respectivamente. En términos de exposición es alarmante que estas zonas, principalmente el norte de la ciudad, coincidan con núcleos residenciales de alta densidad de población (Figura 4). Resulta interesante también que al determinar las causas de morbilidad atendidas en los Centros de Salud Municipal de Medellín y en Unidades intermedias hospitalarias, las infecciones respiratorias agudas ocupen el primer lugar con el 15% del total de consultas (Planeación Metropolitana, 1985).

La zona III, con el mayor número de muestreos, no posee límites estrechos y se extiende en todas las direcciones a partir de los centros de dispersión.

Las zonas IV y V, con una extensión mínima, se localizan hacia los bordes del valle sobre pendientes del 12 - 25%. Su cualidad de zonas "puras" o de poca contaminación, presenta fuerte tendencia al deterioro. Según las conclusiones de Gómez y Arenas (1985); "sitios como el Anfiteatro, la Floresta, y aún la Facultad de Minas dieron información suficiente como para poder afirmar que son zonas que están sufriendo un acentuado aumento de las concentraciones de los principales contaminantes". En lo que respecta al sector comprendido entre el Poblado y Envigado, cabe esperar la misma situación dado el elevado incremento de la construcción y del tráfico automotor.

La especial distribución de las zonas: Máxima contaminación hacia el centro del valle y baja hacia los bordes fue también reportada por Schrimppff (1984), quien midió para estas dos ciudades la contaminación por metales pesados, pesticidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos utilizando la epífita *Tillandsia recurvata* como bioacumulador. Las zonas con mayores concentraciones de zinc, plomo, cadmio, cobre, níquel y cromo, reportadas por Schrimppff, corresponden muy bien con las zonas I y II del presente estudio. De otra parte, la rosa de los vientos del aeropuerto Olaya Herrera (Figura 5) muestra las direcciones norte y sur como predominantes en un 14, 3 y 8, 6% del tiempo respectivamente; esto podría explicar en parte la ubicación de las zonas de contaminación. El elevado porcentaje de calmas (53%) podría explicar también la influencia fuertemente local, según los bioindicadores, de los centros industriales.

En Cali la distribución de las zonas es bastante diferente: los desiertos son más reducidos y delimitan estrechamente los núcleos industriales. Por el contrario, la zona IA tiene un carácter regional y cubre en forma continua cerca de tres cuartas partes de la ciudad. La zona II se presenta como una estrecha faja que rodea la anterior y encierra el centro de la ciudad. La zona III demarca el curso de los cerros limítrofes viéndose interrumpida por dicho centro. Las zonas IV y V se localizan hacia el extremo sur del casco urbano y corresponden a un área de muy baja densidad de población y de aglomeración de actividades.

La zonificación de Schrimppff para los máximos de contaminación por metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos de esta ciudad, corresponde en general al modelo indicado por los líquenes. Mientras que en Medellín los límites de las curvas de isocontaminación reportados por los líquenes y por *Tillandsia recurvata* son estrechos, en Cali ocupan, en forma continua todo el nororiente de la ciudad.

El estudio de Schrimppff reporta las mayores concentraciones de metales pesados para Medellín, excepto cobre y plomo, que son predominantes en Cali. El modelo de distribución de este último metal es bastante similar al de las zonas I y II reportadas en este estudio lo cual llevaría a pensar en una posible relación causa-efecto para los desiertos de líquenes. La forma palmeada de la zona IA posiblemente guarda relación con la dirección predominante del viento. Efectivamente, la rosa de los vientos del aeropuerto de Palma Seca (Figura 5) indica como predominantes las direcciones (Barlovento) NO con un 22,8% del tiempo, N con un 12,9% y NE con un 5,6%. Esto quiere decir que durante el mayor tiempo los vientos soplan hacia el sur, sur-occidente y sur-oriental de la ciudad de Cali, formando un frente de aire contaminado compuesto en su gran mayoría por material particulado (casi todo el oriente de Cali posee vías sin pavimentar) y emisiones de las industrias y del aeropuerto Militar.

V. Conclusiones

La distribución de áreas de isocontaminación homólogas en Cali y Medellín permiten establecer las siguientes conclusiones:

En Medellín, la influencia de las fuentes contaminantes es mucho más localizada que en Cali. Ello se debería a la circulación predominante de los vientos a lo largo del valle, en contraposición con la menor circulación a lo ancho. Otra razón sería el elevado porcentaje de calmas (53%) que ocasionaría una aspersión *in situ* de los contaminantes.

En Cali, por el contrario, el efecto de los contaminantes es regional con una influencia mayor hacia el nor-orienté de la ciudad. Aquí los vientos también jugarían un importante papel.

En Medellín, las zonas menos contaminadas se sitúan hacia los bordes del valle en pendientes del 12-25%. Para Cali dichas zonas corresponden al extremo sur del casco urbano, en áreas de baja densidad de población y de aglomeración de actividades.

Los sectores con mayores índices de densidad de población son, en términos generales, los más expuestos a la inmisión de contaminantes. En los estudios de planeación para el desarrollo metropolitano no se contempla en absoluto la calidad del medio ambiente.

Al comparar las dos áreas de estudio mediante el cociente IPA observado/IPA máximo esperado, se puede afirmar que las zonas "puras" de Medellín están más afectadas por la contaminación debido a la estrechura del valle y a la mayor proximidad de las fuentes, en tanto que las zonas puras de Cali se ven menos afectadas por su situación diametralmente opuesta a los centros industriales, su gran extensión de áreas verdes y baja densidad de población y actividad.

Aunque las mediciones físico-químicas de contaminantes son muy escasas, existe buena correspondencia entre las áreas con niveles altos y bajos de contaminación indicados por los aparatos y los reportados por los líquenes.

Las zonas de isocontaminación reportadas por bioacumuladores (*Tillandsia recurvata*), para metales pesados e hidrocarburos policíclicos, corresponden bastante bien con las zonas inferidas por los bioindicadores.

Los bioindicadores definen con mayor precisión los diferentes niveles de calidad del aire estableciendo límites difíciles de detectar por los sistemas convencionales, dado los altos costos que representa un muestreo físico-químico intensivo. Al permanecer expuestos por mucho más tiempo (lustros o décadas) a las condiciones promedio de inmisión, estos organismos reproducen mejor el gradiente de contaminación.

BIBLIOGRAFIA

- BARKMAN J. 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Assen van Gorkum, Netherlands. 618 p.
- BRAUN BLANQUET J. 1979. Fitosociología. Ed. H. Blume. Madrid.
- GARCIA L. C. y L. J. RUBIANO. 1984. Comunidades de líquenes como indicadores de calidad de aire en Colombia. Contaminación ambiental 8 (13): 73-90.
- GILBERT O. L. 1973. Lichens and air pollution. En: The lichens. Ahmadjian Vernon y M. E. Hale (Eds.). Academic Press. New York.
- GOMEZ M. M. y G. ARENAS, 1985. Una metodología para la evaluación de la calidad del aire en las zonas urbanas e industriales de Medellín y diseño de la red de vigilancia. Informe técnico. Instituto Politécnico Colombiano -CIDET- Secretaría de Salud, Medellín.
- HANKSWORTH D. L. y F. ROSE. 1970. Qualitative scale for stimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphitic lichens. Nature vol. 227: 145-147.
- IBAGOS A. L. 1977. Contribución al estudio de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Bogotá. D.E.
- LE BLANC F. and J. DE SLOOVER. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. Jour. of Bot. Vol. 48: 1.485-1.495.
- NYLANDER W. 1866. Les lichens du jardin du Luxembourg. En Barkman J. 1958. Phytosociology and Ecology of cryptogamic epiphytes. Assen Van Gorkum, The Netherlands.
- RUBIANO L. J. 1986. Las comunidades de líquenes como indicadores de calidad del aire en Termozipa y el complejo industrial de Betania, Cundinamarca. Informe técnico. ABRNMA - 102. Interconexión Eléctrica S.A. ISA - Sección Medio Ambiente - Medellín.
- SCHRIMPFF ERNST. 1984. Air pollution patterns in two cities of Colombia S.A. according to trace substances content of an epiphyte (*Tillandsia recurvata* L.). Water, Air and Soil pollution 21, 279-315.
- STEUBING L. y H. J. JAGER (Eds.). 1981. Monitoring of air pollutants by plants; Methods and Problems. University of Snabrück (F.R.G.) The Hague.