

LIQUENES COMO INDICADORES DE CONTAMINACION EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL DE BETANIA Y LA TERMOELECTRICA DE ZIPAQUIRA, CUNDINAMARCA (1)

Luis Juan Rubiano (2)

RESUMEN

Se evaluó el uso potencial de los líquenes como indicadores de la cantidad y efecto de los contaminantes atmosféricos en las zonas de influencia del complejo industrial de Betania y la planta termoeléctrica de Zipaquirá, en el Departamento de Cundinamarca, Colombia.

SUMMARY

This work evaluates the potential use of lichens as indicators of the quantity and effect of atmospheric pollutants in the zones of influence of the industrial complex of Betania and the thermoelectric plant of Zipaquirá in the Department of Cundinamarca, Colombia.

Palabras claves: Líquenes; Bioindicadores; Contaminación atmosférica; Termoeléctricas.

INTRODUCCION

La contaminación atmosférica es un problema antiguo, aunque su trascendencia en los países desarrollados data de la época de la revolución industrial.

(1) Estudio realizado en 1983 para la Sección Medio Ambiente de Interconexión Eléctrica S.A. ISA.

(2) Biólogo. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 23227. Bogotá.

En los países subdesarrollados, cobra importancia sólo a partir de las dos últimas décadas como consecuencia del crecimiento de las ciudades y centros industriales. No obstante, apreciar y cuantificar el efecto del aumento o descenso de la contaminación suele ser muy difícil debido a los altos costos de la monitoría físico-química, a la carencia de información preliminar y a la ausencia de "indicadores" fácilmente detectables. A este respecto, el estudio de organismos indicadores de contaminación o "bioindicadores" resulta de mucha utilidad, pues los cambios progresivos o repentinos de la calidad del aire afectan la presencia o abundancia, así como los procesos fisiológicos de dichos organismos, permitiendo evaluar el efecto de la modificación ambiental. Entre los bioindicadores de contaminación mejor documentados, se encuentran los líquenes epífitos en los cuales la configuración morfológica y anatómica (v. gr. ausencia de estomas y de cutícula) posibilita la libre circulación de los gases a través del talo. Además de esto, los líquenes poseen una elevada tendencia neta de absorción de agua que les permite una hidratación rápida y paradójicamente, la incorporación simultánea de sustancias tóxicas en solución.

Los efectos de la contaminación en estos casos, pueden evidenciarse en forma de reacciones fisiológicas directas y en forma de reacciones indirectas. Las primeras, producidas por emisiones específicas de fuentes puntuales difícilmente se pueden evaluar debido al gran número de variables ambientales que intervienen.

Debido a ello, en la práctica lo que en realidad se mide son las respuestas indirectas (respuestas a la inmisión) que se manifiestan desde el punto de vista del observador de manera cualitativa y cuantitativa, siendo la presencia/ausencia de las especies líquénicas el criterio mayormente empleado para la evaluación cualitativa de la contaminación y la frecuencia-cobertura de las mismas para la evaluación cuantitativa.

DISCUSION DE LA LITERATURA

Los primeros reportes que relacionan la ausencia o disminución de los líquenes con la industrialización se remontan a mediados del siglo pasado cuando Grindom (1859, citado por Gilbert, 1973) refiriéndose a los líquenes en su flora de Manchester declaraba: "Su cantidad ha disminuido en los últimos años a causa de la tala de los árboles viejos y a la influencia del humo de las fábricas que parece singularmente perjudicial a estos amantes de la atmósfera pura". En 1866, Nylander (citado por Le Blanc y De Sloover, 1970), sugirió la idea de evaluar la calidad del aire por medio de la abundancia o ausencia de epífitos y a comienzos del siglo, Sernander (1912, citado por Barkman, 1958) reportó por primera vez un "desierto de líquenes" (zona desprovista de líquenes foliosos y fruticosos) en la ciudad de Estocolmo reconociendo en ella una zona central carente de epífitos, una zona intermedia con una población regular de líquenes y una zona externa con una población abundante. A partir de 1930 se incrementaron los estudios en Europa, complementados con mapas, material suficiente para la excelente revisión de Barkman (1958) y más recientemente por Gilbert (1973). En Cana-

dá son relevantes los estudios de Le Blanc et al. (1970, 1972), mientras que en Latinoamérica sólo se conocen algunos pocos como los de Vareschi (1953) en Caracas; Méndez y Fournier (1980) en San José de Costa Rica e Ibagos (1977) en Bogotá.

Es común para estos dos últimos la utilización del género *Parmelia* (conocida actualmente como *Punctelia flaventor*), como bioindicador, así como la monitoría activa mediante transplantes según el método de Brodo (1961).

En todos los trabajos arriba citados la relación entre niveles altos de SO_2 y ausencia o disminución de líquenes confirman el mismo patrón: la diversidad y abundancia de los epífitos disminuye gradualmente con la aproximación a las ciudades y centros industriales.

Sin embargo, algunos autores como Sauberer (1951), Rydzac (1958-1968) y Rydzac y Krysiak (1970), sostienen que es la sequía y no los gases tóxicos la causa de desiertos de líquenes. Los primeros trabajos fueron revisados por Barkman (1958) quien hizo un análisis comparativo de los argumentos en pro y en contra de las dos teorías, sequía-toxicidad, encontrando mayor evidencia para esta última. Posteriormente, la hipótesis de la sensibilidad al SO_2 , tomó más fuerza con los estudios de Tallis (1964), Skye (1968) y Gilbert (1970), quienes midieron, mediante muestreadores, las concentraciones de este gas en algunos de los lugares mapeados.

Más adelante Puckett et al. (1973), demostraron por vía experimental la toxicidad de SO_2 sobre los talos liquénicos, principalmente para el alga o fibrobionte. Este fenómeno lo relacionan con la disminución del pH celular y la consiguiente oxidación de clorofila, ésta es sustituida por feofitina que es la causante de los cambios de coloración en los talos de las especies afectadas.

En 1952, Jones declaraba que las ciudades y grandes centros industriales tenían cuatro efectos principales sobre los líquenes:

- Disminución de la cobertura
- Disminución de la altura ocupada sobre el tronco
- Reducción del número total de especies
- Y finalmente, disminución de frecuencia.

A estos efectos se pueden añadir la alteración de los propágulos, la disminución de la vitalidad y las deformaciones en el talo. Algunos ejemplos al respecto los brindan Hanksworth y Rose (1970), quienes elaboraron una escala para estimar el grado de contaminación por SO_2 teniendo en cuenta la exuberancia de los líquenes; Le Blanc y De Sloover (1970), quienes además observaron declinaciones en la fructificación debidas a este gas y Barkman (1958), quien reportó alteraciones de los propágulos con una tendencia hacia la disminución de apotecios e isidias y al mismo tiempo un aumento de las fases sorediadas (aún en especies que normalmente carecen de este tipo de propagación). Margot (1973), reportó que las algas de los soredios de *Hypogymnia physodes* eran dañadas fácilmente por concentraciones muy bajas de

SO₂; Ulrik y Ramkaer (1982), utilizaron la fertilidad y vitalidad de dos especies de líquenes como indicativos de calidad ambiental en Alemania Federal y finalmente, Vareschi (1953), Barkman (1958) y Gilbert (1971), han reportado daños agudos en el talo el cual frecuentemente sufre deformaciones y cambios de coloración; dichos cambios han sido reportados también por Brodo (1961) y Gilbert (1970), en los experimentos de trasplante.

El presente artículo aporta interesantes posibilidades para la evaluación de áreas de isocontaminación en zonas industriales y termoeléctricas mediante monitoría pasiva de criptógamas epífitas y se basa en el informe realizado por el autor (Rubiano, 1986) dentro del programa "Estudio Ambiental de la Central Termoeléctrica Martín del Corral (Termozipa)", desarrollado por la sección de medio ambiente de Interconexión Eléctrica S.A. ISA, entre 1983 y 1984.

MATERIAL Y METODOS

Descripción del Area de Estudio: La planta térmica Martín del Corral, conocida también como Termozipa, elegida para el presente estudio, está situada en el extremo oriental de la Sabana de Bogotá a 4 Kilómetros al occidente de Tocancipá, entre los 73°57' de longitud W y los 4°58' de latitud N y a una altura de 2550 m. s. n. m. en el Departamento de Cundinamarca (Fig. 1).

Consta de cinco unidades que consumen 150 toneladas/hora aproximadamente para una generación total de 264,7 MW.

Los principales contaminantes emitidos al aire por las cinco chimeneas instaladas (tres de 70 y dos de 50 metros de altura), son partículas sólidas y óxidos de Azufre y Nitrógeno, para los cuales no hay registro de cuantificación ni evaluación de sus áreas de influencia. En la misma región y equidistante entre los Municipios de Cajicá y Zipaquirá, se encuentra el complejo industrial de Betania constituido, entre otros, por Alcalis de Colombia, Industria de Cloruro Férrico Penwalt y Colcarburos. Los principales contaminantes emitidos al aire, son: Cloro, óxido de azufre y material particulado, con el agravante en estos casos, de que la escasa altura de las chimeneas o su franca ausencia en la mayoría de las instalaciones origina aspersiones "in situ" dentro del mismo terreno de la planta. Al igual que en Termozipa, no se conoce la magnitud de la inmisión ni tampoco el área de influencia.

Clima: En las inmediaciones de la zona no existen estaciones meteorológicas, lo cual impide ofrecer datos exactos. Los datos climáticos generales de la Sabana de Bogotá, reportados por Cabrera et al. (1980) son:

Promedio anual de Temperatura	14° (a 2550 m. s. n. m.)
Variación mensual promedio	±1°C
Oscilaciones diarias:	
En invierno	10-12° aprox.
En verano	12.15° aprox. (hasta 25°C)

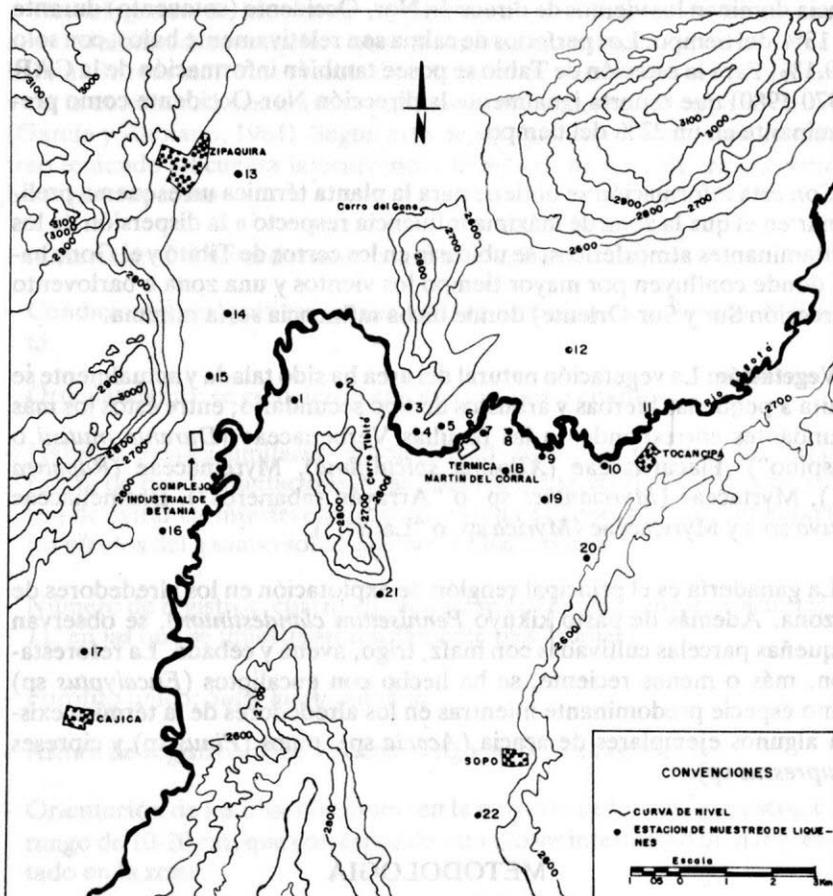


FIGURA 1. Localización de la zona de estudio

Promedio anual de precipitación	
En la Sabana	700-1000 mm
En las montañas vecinas	700-1500 mm
Estaciones lluviosas	Marzo a Junio y Octubre a Diciembre.
Humedad relativa máxima diaria	70-100%
Humedad relativa mínima diaria	40-80%

Para la determinación de la velocidad y dirección de los vientos (ISA, 1980) se tomó como referencia a la estación de Guatavita por ser la más cercana (13 kilómetros al Sur-Oriente de la planta) y estar situada sobre la misma cota. La rosa de los vientos, elaborada con la información de la CAR para el período 1969-1978 indica para dicha estación una dirección predominante del Oriente hacia el Occidente en un 60% del tiempo. En segunda ins-

tancia dominan los vientos de dirección Nor- Occidente (sotavento) durante un 13% del tiempo. Los períodos de calma son relativamente bajos, con solo el 0.1%. Para la estación de Tabio se posee también información de la CAR (1970-1980) que reporta igualmente la dirección Nor-Occidente como predominante en un 22% del tiempo.

Con esta información se obtiene para la planta térmica un esquema preliminar en el que la zona de máxima influencia respecto a la dispersión de los contaminantes atmosféricos, se ubicaría en los cerros de Tibitó y el Gone hacia donde confluyen por mayor tiempo los vientos y una zona a barlovento (dirección Sur y Sur-Oriente) donde dicha influencia sería mínima.

Vegetación: La vegetación natural del área ha sido talada y actualmente se limita a pequeñas hierbas y arbustos de tipo secundario; entre éstos los más abundantes corresponden a las familias Verbenaceae (*Duranta mutisii* o "Espino"), Flacurtiaceae (*Xilosma spiculifima*), Myrcinaceae (*Rapanea* sp.), Myrtaceae (*Myrcianthes* sp. o "Arrayán sabaneros"), Bromeliaceae (*Puya* sp.) y Myricaceae (*Myrica* sp. o "Laurel").

La ganadería es el principal renglón de explotación en los alrededores de la zona. Además de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), se observan pequeñas parcelas cultivadas con maíz, trigo, avena y cebada. La reforestación, más o menos reciente, se ha hecho con eucaliptos (*Eucalyptus* sp) como especie predominante mientras en los alrededores de la térmica existen algunos ejemplares de acacia (*Acacia* sp), pinos (*Pinus* sp) y cipreses (*Cupressus* sp).

METODOLOGIA

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

Selección de puntos de muestreo: Los principales criterios para la selección de los puntos de muestreo fueron:

- Presencia del forofito adecuado (*Salix humboldtiana*).
- Dirección del viento: sitios ubicados a lo largo de un eje que correspondiera a la dirección predominante del viento.
- Cercanía al complejo industrial y a la termoeléctrica 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 uniforme posible con el objeto de que la varianza poblacional y de la comunidad sea mínima para factores diferentes de 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, 2550 m.s.n.m.
- Condiciones topográficas iguales: extremo oriental de la Sabana de Bogotá.
- Ordenamiento: se escogieron árboles aislados o en línea.
- Hábitats 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 (excepto en las estaciones 4 y 11, en las que se muestrearon solamente tres árboles).
- Forofito único: *Salix humboldtiana*.
- Altura de registro en los troncos: rango de cero a dos metros.
- Orientación de las observaciones: en la mayoría de los casos se escogió un rango de 10-20 cm, que corresponde a un grosor intermedio bien representado en la zona.
- Inclinación similar: se seleccionaron árboles de fuste vertical, pues los troncos inclinados condicionan notablemente la exposición.

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).

Para los registros se emplearon formatos que indicaran la información antes expuesta y para medir la cobertura de los líquenes se utilizó una plantilla de acrílico transparente marcada con cuadrículas de 1 cm².

Mediante la metodología descrita se realizaron 22 muestreos, cuya ubicación se observa en la figura 1. El factor tiempo (época seca o de lluvias) se considera constante cuando se trata de muestreos cuya duración sea menor

de un año. Para este período el crecimiento de los líquenes es tan lento (1-2 mm) que su incremento (o detrimento natural) es a simple vista casi imperceptible.

Tratamiento de los Datos: La información consignada en los formatos se analizó por medio del índice de diversidad de Shanon-Weaver con sus componentes riqueza y uniformidad y mediante la técnica conocida como índice de Pureza Atmosférica (IPA) de Le Blanc y De Sloover (1970). Esta última 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

$$Q_i = \sum_j \frac{A_{j-1}}{E_j} \quad \text{donde:}$$

- 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.

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 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:

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

- 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 Y ANALISIS

Abundancia y Diversidad: Los censos realizados muestran un incremento del número y de la cobertura de las especies en las estaciones muestreadas a medida que aumenta la distancia a las fuentes contaminantes. Dicho aumento es gradual para las estaciones registradas a lo largo de un mismo transecto, es decir, para las estaciones que tienen la misma dirección respecto a cualquiera de las dos fuentes y discontinuo para aquellas situadas en los puntos de confluencia de las mismas o en las que se tienen en cuenta únicamente la distancia a la fuente, sin importar la orientación de ésta. Las coberturas de las especies, analizadas individualmente, no guardan tendencias definidas a partir de los tres kilómetros de las fuentes, excepto para *Heterodermia c.f. albicans* y *Teloschistes exilis* que aumentan con el alejamiento de la planta termoeléctrica y *Chroococcus* sp. que disminuye. Sin embargo, al sumar los valores de cobertura de todas las especies para cada estación es evidente el aumento de cobertura total en las estaciones más alejadas (Tabla 1).

La relación entre el número de especies y la distribución de sus coberturas, expresada mediante el índice de Shanon-Weaver (Tabla 1), indica un incremento de la diversidad acorde con el aumento de los índices de pureza atmosférica (IPA) y más específicamente con las zonas de contaminación. El componente de diversidad que más incide en los valores de la tabla es la riqueza o variedad, definida como la relación entre el número de especies y la cobertura total para cada estación. A su vez, la uniformidad se muestra independiente de los IPA y de la distancia a las fuentes, siendo únicamente decisiva en la estación 11, donde su descenso probablemente origina disminución súbita de la diversidad.

TABLA 1

Diversidad de epífitas - Zonas de Termozipa y Betania.
(Índices calculados con base en la cobertura total)

Estación	No. especies	Cobertura total (cm ²)	Shanon-Weaver	Uniformidad	Riqueza
1	8	4838	1,59	0,53	0,57
2	17	9979	2,85	0,70	1,20
3	9	1338	2,16	0,68	0,77
4	6	4053	1,67	0,65	0,42
5	7	2298	0,72	0,26	0,54
6	2	30006	0,00	0,00	0,07
7	2	3002	0,00	0,00	0,07
8	3	30024	0,01	0,01	0,13
9	9	2354	2,33	0,74	0,71
10	16	8275	2,48	0,62	1,15
11	16	9862	1,68	0,42	1,13
12	5	5616	0,33	0,14	0,32
13	10	5022	1,41	0,42	0,73
14	1	2000	0,00	0,00	0,00
15	2	2517	0,96	0,96	0,09
16	7	8891	0,95	0,34	0,46
17	8	15698	0,81	0,27	0,50
18	9	5736	1,68	0,53	0,64
19	17	5356	3,06	0,75	1,29
20	22	10681	3,27	0,73	1,57
21	12	7300	1,78	0,50	0,86
22	21	11217	2,59	0,59	1,49

Número de estaciones: 22

Número total de especies: 27

Base logarítmica: 2

Exposición: En gran parte de las estaciones se observa una mayor diversidad de epífitas en la cara de los troncos opuesta a las fuentes (Tabla 2). La diferencia de cobertura y número de especies entre las caras expuestas y ocultas se traduce en una zonificación que llega a su punto máximo en la estación 19. Dicha zonificación, en términos de cobertura y número de especies, no es igual para todos los troncos y menos aún para todas las estaciones. Decir, por tanto, que existe o no zonificación es un juicio subjetivo excepto para situaciones claramente evidentes como la estación 19. Sin embargo, con el propósito de estandarizar este parámetro para todas las estaciones, se tuvo en cuenta la siguiente consideración: existiría zonificación de las especies epífitas si al dividir arbitrariamente la superficie del tronco (o la sumatoria de la superficie de los troncos en una estación) en cuatro partes correspondientes a los puntos cardinales:

TABLA 2

Diversidad de epífitas - Zona de Termozipa y Betania
(Índices calculados para dos exposiciones)

Estación	Exposición	No. especies	Cobertura (cm2)	Shanon-Weaver	Uniformidad	Riqueza
1	O ^v	4	954	1,08	0,54	0,30
1	E	7	1032	1,73	0,62	0,60
2	E ^v	16	5465	2,70	0,68	1,21
2	O	16	4532	2,92	0,73	1,23
3	SO ^v	9	607	2,13	0,67	0,87
3	NO	9	733	2,15	0,68	0,84
4	E ^v	4	1416	0,95	0,47	0,29
4	O	5	2381	1,56	0,67	0,36
5	E ^v	7	874	1,27	0,45	0,61
5	O	5	991	0,28	0,12	0,40
6	S ^v	2	15002	0,00	0,00	0,07
6	N	2	15004	0,00	0,00	0,07
7	D ^v	2	15002	0,00	0,00	0,07
7	N	1	15000	0,00	0,00	0,00
8	O ^v	3	15006	0,01	0,00	0,14
8	E	3	15018	0,01	0,01	0,14
9	O ^v	4	37	1,53	0,77	0,58
9	E	9	2317	2,32	0,73	0,72
10	O ^v	12	2705	1,17	0,33	0,96
10	E	16	5570	2,71	0,68	1,21
11	O ^v	15	2961	1,79	0,46	1,21
11	E	14	6861	1,55	0,41	1,02
12	S ^v	4	2906	0,12	0,06	0,26
12	N	5	2710	0,51	0,22	0,35
13	S ^v	6	462	0,56	0,22	0,56
13	N	9	1188	1,75	0,55	0,78
14	S ^v	1	1188	0,00	0,00	0,00
14	N	1	776	0,00	0,00	0,00
15	S ^v	0	0	0,00	0,00	0,00
15	N	1	1557	0,00	0,00	0,00
16	N ^v	6	4837	0,96	0,37	0,41
16	S	4	4054	0,94	0,47	0,25
17	N ^v	4	9086	0,31	0,16	0,23
17	S	8	6612	1,08	0,36	0,55
18	O ^v	7	696	1,62	0,58	0,64
18	E	10	5056	1,60	0,48	0,73
19	O ^v	0	0	0,00	0,00	0,00
19	E	17	5388	3,05	0,75	1,29
20	O ^v	18	5122	3,00	0,72	1,38
20	E	20	4503	3,12	0,72	1,57
21	E ^v	11	7119	1,77	0,51	0,78
21	O	3	165	0,90	0,57	0,27
22	N ^v	19	5640	2,51	0,59	1,44
22	S	21	5577	2,55	0,58	1,61

Número de estaciones: 22

Número total de especies: 27

Base Logarítmica: 2

1/ Lado del tronco expuesto a la fuente más cercana.

- a. Una cara presenta una cobertura menor del 5% de la suma de la cobertura de las tres restantes.
- b. Si la cobertura de dos caras es menor del 15% de la suma de la cobertura de las otras dos.

De esta manera las estaciones 15 y 5 (zona I), 17 (zona II), 9, 18 y 21 (zona III) y 19 (zona IV), presentan zonificación de su flora líquénica respecto a las fuentes contaminantes. Llama la atención el hecho de que el mayor número de árboles con zonificación se localicen a barlovento, lo cual posiblemente se explica por la mayor cobertura de epífitos que trae como consecuencia una diferenciación mucho más visible. Según esto, puede presumirse que uno de los primeros efectos de la contaminación es la zonificación horizontal y vertical, esta última difícil de evaluar debido a las dificultades técnicas que implica un muestreo por arriba de los dos metros, y posteriormente la eliminación parcial o total en todas las caras como se observa en las estaciones a sotavento.

Índices de Pureza Atmosférica: En Colombia, como en todo el trópico, las comunidades de líquenes epífitos tienen un comportamiento diferente respecto a la zona templada, principalmente en lo que hace referencia a los factores exposición y tipo de forofito (Rubiano, 1982). Este hecho, junto con la subjetividad en la técnica del IPA condujeron a la modificación descrita en la metodología, la cual si bien obliga a registros más detallados ofrece en cambio una mejor definición de áreas de isocontaminación, con resultados cuantitativos comparables con los de otros investigadores. El IPA toma valores que varían entre 0 (ausencia total de líquenes) y un valor positivo cualquiera que será máximo para la estación que se asume como zona libre de contaminación atmosférica. Dicho máximo tiene solamente validez local pues los valores del IPA guardan relación con la riqueza de especies: $IPA \text{ máximo teórico} = S^2 - S$ donde S es el número total de especies encontrado en la zona de estudio. Esto quiere decir que los parámetros de la bioindicación son independientes para cada ciudad o región de estudio y dependen de la relación local entre el (los) líquen, la (s) fuente contaminante, y el medio abiótico aunque la comparación entre estas diferentes regiones podría darse en términos del cociente $\frac{IPA \text{ máximo observado}}{IPA \text{ máximo teórico}}$.

IPA máximo teórico

Para la región de Termozipa se obtuvieron los índices señalados en la Tabla 3 en la cual también aparecen las distancias y exposiciones de las estaciones respecto a las fuentes contaminantes.

TABLA 3
Indices de pureza atmosférica
de las estaciones muestreadas
(Región de Termozipa y Betania)

Estación	Orientación respecto a térmica	Distancia a la térmica (metros)	Orientación respecto C. Industrial	Distanc. al comp. indust.	IPA
5	NW	1.000	E	5.100	1,84
4	NW	1.500	E	4.800	24,20
3	NW	1.800	NE	4.600	33,80
2	NW	3.000	NE	3.800	62,80
1	NW	4.000	NE	2.300	20,90
14	NW	6.000	NE	3.000	2,12
15	NW	6.500	NE	1.500	2,64
13	NW	7.500	NE	6.000	11,40
6	N	50	E	4.500	5,92
22	S	8.000	SE	10.000	113,70
7	NE	200	E	6.000	5,88
8	NE	1.000	E	7.000	5,92
12	NE	4.000	NE	8.500	8,36
9	E	1.500	E	7.500	22,60
10	E	3.000	E	9.000	44,30
11	E	4.000	E	10.000	77,40
21	SW	4.000	SE	5.000	31,10
16	SW	7.500	SW	2.000	5,84
17	SW	9.500	SW	5.000	39,50
18	SE	1.300	SE	7.200	29,60
19	SE	2.300	SE	8.000	86,50
20	SE	3.800	SE	9.200	135,50

Se asume que la clasificación de áreas homogéneas en cuanto al comportamiento de las comunidades liquénicas corresponde a áreas similares por niveles de contaminación. Con el objeto de definir estas áreas se agruparon los IPA observados en el área de estudio en seis clases. Los límites inferior de la clase I y superior de la clase IV corresponden a los valores mínimo y máximo de IPA observados. Para la definición de los demás límites se empleó el siguiente procedimiento: se dividió el rango total en tres clases tentativas simétricas (los límites variaban aritméticamente, así: 0 - 40, 40 - 80, 80 - 120), luego, al tratar de caracterizar florísticamente estas clases se encontró que eran muy ambiguas y por tanto debían estrecharse los rangos y definir nuevas clases que sí fueran distinguibles florísticamente. Esto dió como resultados los siguientes límites.

IPA 0 - 3	Contaminación máxima (zona I)
IPA 3 - 12	Contaminación aguda (zona II)
IPA 12 - 40	Contaminación media (zona III)
IPA 40 - 78	Contaminación moderada (zona IV)
IPA 78-114	Zona de transición (Zona V)
IPA 114 -	Sin contaminación (zona VI)

Las Tablas 4 a 9 muestran los valores de cobertura total según la exposición para cada una de las estaciones incluidas dentro de sus respectivas clases. La Tabla 10 incluye solamente los valores de cobertura total y resume dicha información.

Los valores que marcan los límites entre las diferentes zonas corresponden a los IPA máximos para cada caso (3, 12, 40, 78, 114, respectivamente); al unir dichos puntos se obtuvo la Figura 2, en la que claramente se diferencian dos fuentes independientes de contaminación y sus respectivas áreas de influencia. La primera fuente, la central térmica Martín del Corral, presenta una zona de contaminación aguda de aproximadamente cuatro kilómetros cuadrados, de forma elipsoide cerrada y en consecuencia de influencia local que no alcanza los centros de población. Dicha configuración, reportada para otras zonas como Quebec y Montreal en los trabajos de Le Blanc *et al.* (1970; 1972), Long Harbour, Canadá (Robert y Thomson, 1980), etc., posiblemente guarda relación con la dirección del viento. Dentro de ella la zona de máxima contaminación se localiza al Nor-Occidente de la planta, con un área que no sobrepasa los 0,5 kilómetros cuadrados.

La zona de contaminación media, de forma también ligeramente elíptica, rodea a la zona II, alcanzando la Loma de las Juntas al Norte y el cerro de Tibitó al Sur-Occidente, confundiendo a este nivel con la zona de influencia de la segunda fuente, el complejo industrial de Betania. A continuación, en dirección Este, se presenta la zona de contaminación moderada dentro de la cual se ubica la población de Tocancipá, al Occidente de la térmica. Esta zona forma una cuña entre los cerros de Tibitó y el Gone, marcando el límite de confluencia de las dos fuentes contaminantes. Finalmente, las zonas de transición no contaminada se extienden por el filo de las estribaciones de la cordillera, al SE de la planta hasta la población de Sopó.

Para la segunda fuente, el complejo industrial de Betania, la situación de las zonas varía notablemente respecto a la termoeléctrica Martín del Corral: la zona de contaminación máxima, con una extensión de aproximadamente 10 kilómetros cuadrados cubre los alrededores de la fuente tomando una forma semi-elíptica alargada hacia el Norte y limitada por las montañas vecinas hacia el Occidente. Adyacente a ella, la zona de contaminación aguda forma una franja de carácter regional, de aproximadamente 50 kilómetros cuadrados que sigue el curso de los cerros y alcanza la población de Zipaquirá. Finalmente la zona de contaminación media se abre hacia el centro paralelamente a la anterior, avanzando hasta el cerro de Tibitó al Este y continuándose hacia el Sur en la dirección del río Bogotá.

TABLA 4
VALORES DE COBERTURA TOTAL (cm²)/EXPOSICION
ZONA I
REGION DE TERMOZIPIA

Estación Exposición Cara expuesta 1/	14		15		5				
	SO	SE	NE	NO	SO	SE	NE	NO	
Especie									
Heterodermia cf. albicans	688	500	120	656	984	773			
Parmotrema peritátum							2		
Lobaria sp. (1)					17	4	17		
Ramalina celiastri					1		21	1	
Lecidea sp.					69	85	16		
Lecanora sp. (1)					19	12	1		
Lecanora sp. (2)							6		
Chroococcus sp.				224	64	256	416	688	700
Número de especies	1	1	1	1	1	2	2	4	5
Cobertura (excepto Chroococcus)	688	500	120	656	984	773	1	105	134
Número total de especies	1				2			7	
Cobertura total	1964				1757			275	
Cobertura total de Chroococcus					960			2027	

1/ Cara o lado del árbol expuesto a la fuente más cercana.

TABLA 5
VALORES DE COBERTURA TOTAL (cm²)/EXPOSICION
ZONA II
REGION DE TERMOZIPIA

Estación Exposición Cara expuesta	6			7			8		
	SO	SE	NO	SO	SE	NO	SO	SE	NO
Especie									
<i>Parmotrema perlátum</i>	2	4		2			2	2	
<i>Heterodermia cf. albicans</i>							4		16
<i>Chroococcus</i> sp.	x*	x	x	x	x	x	x	x	x
Número de especies	1	2	2	1	2	1	3	2	1
Cobertura (excepto <i>Chroococcus</i>)	2	4		2	2		6	2	16
Número total de especies	2	2	2	2	2	2	3	3	
Cobertura total	6	6	2	2	2	2	24		
Cobertura total de <i>Chroococcus</i>	x		x	x				x	

* Tronco cubierto totalmente con *Chroococcus* sp.

TABLA 7

VALORES DE COBERTURA TOTAL (cm²)/EXPOSICION
ZONA IV
REGION DE TERMOZIPIA

Estación Exposición Cara expuesta	10				11				2			
	SO	SE	NE	NO	SO	SE	NE	NO	SO	SE	NE	NO
<i>Especie</i>												
<i>Parmotrema perlatum</i>		32		64		20	96	36	16		16	32
<i>Heterodermia cf. albicans</i>	192	480	1088		880	2144	2944	992	676	1136	1092	1108
<i>Ramalina celsatris</i>		32	16		8	3	32	12	228	472	116	144
<i>Ramalina cohlearis</i>	4	4	8		2		4	2	6	2		4
<i>Physcia sp.</i>		448	384	64	4	32	8	6	102		32	256
<i>Telochistes exilis</i>	34	128	102	34	6	46	122	46	54	64	26	44
<i>Telochistes hypoglaucus</i>	4	16	36		8	8	4	4	25	72	5	3
<i>Lecanora sp. (1)</i>	234	284			288	192	392	288	250	122	72	56
<i>Lecidea sp.</i>	1	2	4	4	4			2	2	40	4	128
<i>Heterodermia leucomela</i>			16			18					4	
<i>Lobaria sp. (1)</i>	418	352	1120	1792	16	90	100		356	204	296	4
<i>Parmelia flaventor</i>	16	2	18			24	2	4	34	29	107	8
<i>Usnea sp. (1)</i>			72	32	1	54	368	88	50	48	18	16
<i>Lecanora sp. (2)</i>	8		4	32	4	64	2	4				
<i>Ramalina cf. caracasana</i>	4	16	14	2	12	84	8	64		12	36	32
<i>Everniastrum vexans</i>									2			
<i>Baeomyces cf.</i>									576	640	288	
<i>Musgo hepáticas</i>		160	448		60			128				
<i>Chroococcus sp.</i>												
Número de especies	9	13	15	8	12	13	13	14	14	13	15	14
Cobertura (excepto <i>Chroococcus</i>)	680	1910	3660	2030	1270	3300	4180	1730	2377	2841	2113	1835
Número total de especies		16				16				17		
Cobertura total		8280				10.480				9166		
Cobertura total de <i>Chroococcus</i>										832		

TABLA 9
VALORES DE COBERTURA TOTAL (cm²)/EXPOSICION
ZONA IV
REGION DE TERMOZIPIA

Estación Exposición Cara expuesta	SO	20 SE	NE	NO
Especie				
Lobaria sp.	468'	1110	454	422
Ramalina celsastrí	8	18	50	18
Lecanora sp. (1)	364	448	220	321
Physcia sp.	16	88	49	25
Teloschistes exilis	148	38	154	123
Lecanora sp. (2)		2	12	
Teloschistes hipoglaucus		2	1	
Usnea sp. (1)	41	203	162	24
Ramalina cochlearis	4	8	8	8
Parmotrema perlátum	84	132	68	160
Lecidea sp.		6	24	
Ramalina cf. caracasana	96	7	36	88
Heterodermia leucomela	4			
Heterodermia cf. albicans	1224	119	368	504
Heterodermia flabellata		6		
Parmelia flaventor	38	72	32	37
Everniastrum vexans		10	4	4
Usnea sp. (2)	81			60
Lobaria sp. (2)	16	32		
Alga cyanophyceae (talo negro)	96	6		416
Trentepohlia sp.		448	992	
Musgo hepáticas	112		272	
Número de especies	16	19	17	14
Cobertura	2823	3884	2906	2210
Número total de especies		22		
Cobertura total		11.800		
Cobertura total de Chroococcus				

TABLA 10

RESUMEN DE RESULTADOS PARA AREA DE TERMOZIPIA ESPECIES, COBERTURA (cm²), FACTORES DE RESISTENCIA Y FRECUENCIA DE LA ESPECIE EN EL AREA ESTUDIADA

Especie	Zona I					Zona II					Zona III					Zona IV			Zona V		Zona VI		Q _i	F _i						
	14	15	5	6	7	8	12	16	17	13	4	1	3	9	18	21	10	11	2	19	22	20			10	22				
1. <i>Chrocococcus</i> sp.	-	960	2027	*	*	*	-	6336	12284	3408	256	2842	-	-	-	1237	-	832	-	-	-	-	-	-	-	5.9	54.5			
2. <i>Parmotrema perlatum</i>	-	-	2	6	2	4	-	-	-	976	-	-	72	8	-	76	96	152	64	270	18	444	-	-	-	10.3	63.6			
3. <i>Heterodermia</i> cf. <i>albicans</i>	1964	1557	-	-	-	20	5376	2448	3304	385	-	-	904	-	4266	1760	6960	4012	1032	3872	2215	11.5	68.1	10.2	68.1	10.2	68.1			
4. <i>Ramalina celastri</i>	-	-	23	-	-	-	-	77	13	33	20	382	460	168	478	208	48	55	960	676	597	94	11.5	68.1	10.2	68.1	10.2	68.1		
5. <i>Ramalina cohleareis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	44	12	32	26	16	8	36	36	31	28	13.1	54.5	11.8	54.5	11.8	54.5		
6. <i>Physcia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	128	-	35	-	528	-	54	544	3518	-	896	50	390	2	16	178	11.8	54.5	11.8	54.5	11.8	54.5		
7. <i>Telochizites exilis</i>	-	-	-	-	-	-	19	3	8	14	17	1	48	150	138	38	298	220	188	486	675	463	11.0	72.7	11.0	72.7	11.0	72.7		
8. <i>Telochizites hypoglaucus</i>	-	-	-	-	-	-	-	10	44	9	-	-	182	28	77	-	56	16	705	29	7	3	12.1	50.0	12.1	50.0	12.1	50.0		
9. <i>Lecanora</i> sp. (1)	-	-	32	-	-	-	36	-	2	44	-	68	54	384	1280	-	518	1160	500	117	3602	1333	11.8	63.6	11.8	63.6	11.8	63.6		
10. <i>Lecidea</i> sp.	-	-	170	-	-	-	57	1	-	1026	-	1321	-	2	-	-	11	6	174	392	216	30	12.0	54.5	12.0	54.5	12.0	54.5		
11. <i>Heterodermia leucomela</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	16	16	18	4	12	1	4	16.7	31.8	16.7	31.8	16.7	31.8		
12. <i>Lobaria</i> sp. (1)	-	-	38	-	-	-	16	-	8	93	2256	80	28	-	184	1290	3682	206	860	604	366	2454	11.7	63.6	11.7	63.6	11.7	63.6		
13. <i>Parmelia flaventor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	30	178	120	12	179	16.0	31.8	16.0	31.8	16.0	31.8		
14. <i>Usnea</i> sp. (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143	568	64	34	-	104	511	132	141	152	430	13.9	45.4	13.9	45.4	13.9	45.4		
15. <i>Lecanora</i> sp. (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	44	74	2	218	14	13.4	40.9	13.4	40.9	13.4	40.9	13.4	40.9	
16. <i>Ramalina</i> cf. <i>caracasana</i>	-	-	6	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	86	168	80	37	64	227	16.5	31.8	16.5	31.8	16.5	31.8		
17. <i>Everniastrum vezans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	20	-	-	2	20	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1		
18. <i>Baeomyces</i> cf.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19. <i>Heterodermia fiabelia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20. <i>Heterodermia hypollucida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	6	14.0	13.6	14.0	13.6	14.0	13.6		
21. <i>Lecanora</i> spp. (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	6	6	21.0	4.5	21.0	4.5	21.0	4.5		
22. <i>Parmelia</i> sp. (gris)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23. <i>Usnea</i> sp. (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24. <i>Lobaria</i> sp. (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25. Musgo-hepática	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26. Alga (negra)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27. <i>Trentepohlia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	608	188	-	1427	108	384	20.0	4.5	20.0	4.5	20.0	4.5		
Valor IB A _i	2.12	2.64	1.84	5.92	5.88	5.92	8.36	5.48	9.89	11.4	24.28	20.96	33.88	22.68	29.64	31.16	44.32	77.4	62.8	86.56	113.72	135.52	1440	20.0	4.5	20.0	4.5	20.0	4.5	

Valores > 30.000 cm²

Los valores subrayados corresponden a las coberturas máximas en la zona de estudio.

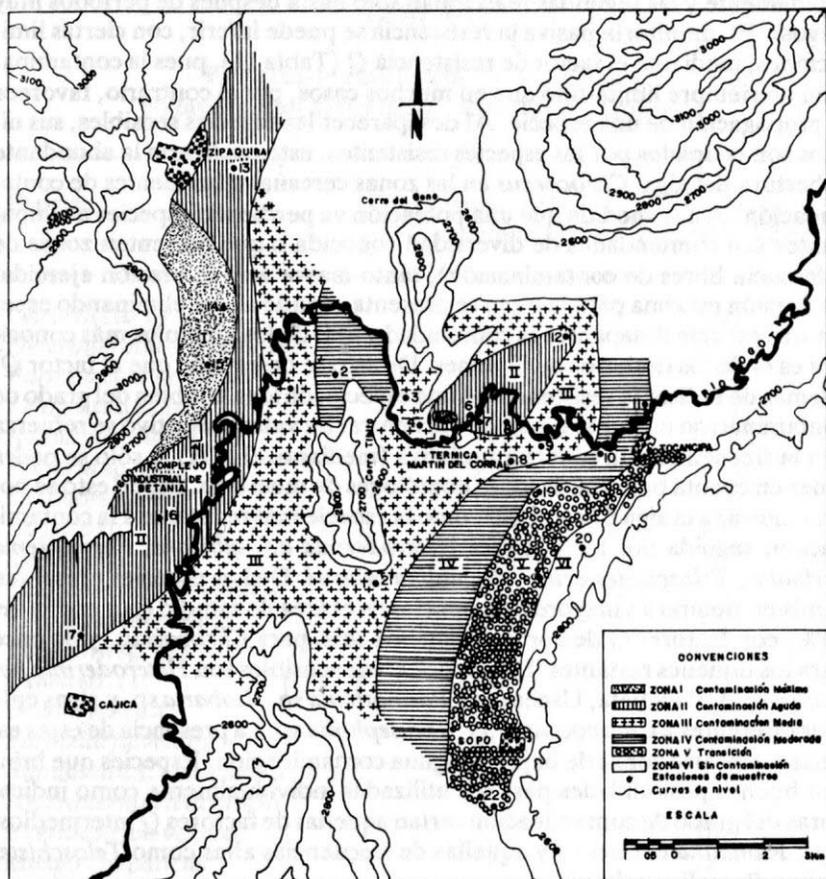


FIGURA 2. Niveles de contaminación en las áreas de influencia de Termozipa y complejo industrial de Betania según los I.P.A.

Especies Indicadoras de Contaminación: La selección de líquenes indicadores de contaminación implica el conocimiento de gran parte de la información básica sobre la especie escogida (taxonomía, autoecología), de su asociación con otras especies (fitosociología) y particularmente de sus reacciones al medio abiótico (ecofisiología). A este respecto es muy poco lo que se sabe sobre las especies citadas en el presente trabajo y su inclusión en uno u otro grupo –resistentes o sensibles– es hipotética y por tanto susceptible a modificaciones a medida que se incremente el número de investigaciones.

Por lo común, las especies más recomendadas para ser utilizadas como bioindicadores son aquellas que cuentan con una distribución geográfica amplia; de igual utilidad resultan las especies que no sean ni muy sensibles ni tampoco muy resistentes a la contaminación (las primeras son eliminadas

rápidamente y las segundas reaccionan sólo hasta después de períodos muy largos). En monitoría pasiva la resistencia se puede inferir, con ciertas limitaciones, mediante el factor de resistencia Q (Tabla 11), pues la contaminación no siempre limita sino que en muchos casos, por el contrario, favorece la propagación de una especie. Al desaparecer las especies sensibles, sus nichos son ocupados por las especies resistentes; esto explicaría la abundante cobertura del alga *Chroococcus* en las zonas cercanas a las fuentes de contaminación. Así, a medida que una población va perdiendo especies acompañantes (en comunidades de diversidad conocida o que presenten zonas de referencia libres de contaminación), tanto mayor será la presión ejercida. La presión máxima para la biota se presenta cuando al irse eliminando especie tras especie desaparece la comunidad y uno de los ejemplos más conocidos es el de los desiertos de líquenes. De esto se desprende que el factor Q , además de indicar la resistencia de una especie, dá idea también del grado de contaminación del lugar donde se encuentra. Su valor indicativo se refuerza con la frecuencia y la cobertura relativa (mediante el IPA), y sólo se podrá tener en cuenta bajo condiciones homólogas de muestreo. Según esto se podría indicar a la alga *Chroococcus* como la especie más resistente a la contaminación, seguida por los líquenes *Heterodermia* c.f. *albicans*, *Parmotrema perlatum*, *Teloschistes exilis* y *Ramalina celastri*. Dichas especies presentan al mismo tiempo las mayores frecuencias en el área de estudio (por arriba del 50%) con factores Q de aproximadamente seis, para *Chroococcus*, y de once para los líquenes restantes. Las especies más sensibles son *Heterodermia hypoluccia*, *H. flabellata*, *Usnea* s.p., *Parmotrema* sp., *Lobaria* sp. y algas epífitas diferentes a *Chroococcus*, v.gr. *Trentepohlia* sp. La presencia de estas especies indicaría zonas de baja o ninguna contaminación. Especies que brinden buenas posibilidades para ser utilizadas individualmente como indicadores del grado de contaminación serían aquellas de factores Q intermedios, v.gr. *Ramalina cochlearis* y aquellas de frecuencias altas como *Teloschistes exilis* y *Ramalina celastri*.

Caracterización de las Zonas según la flora epífita: Los índices de pureza atmosférica se basan en el procesamiento de la información obtenida que es resumida en una cifra de fácil manejo. En el campo, sin embargo, cada zona se identifica por las características cualitativas y cuantitativas de su flora epífita que en la mayoría de los casos corresponde a la presencia-ausencia y grado de cobertura de determinadas especies. Como los cambios de estos parámetros no son súbitos sino progresivos, la distinción visual de las zonas adyacentes intermedias suele ser generalmente difícil. A groso modo la caracterización de las áreas de isocontaminación es la siguiente:

ZONA I:

- Ausencia total o casi total de epífitos. Entre estos los más abundantes son *Chroococcus* sp., alga que cubre parcialmente los troncos, y los líquenes: *Heterodermia* c.f. *albicans*; *Lecidea* sp. y *Lecanora* sp., de hábito crustáceo.
- Cuando se presentan líquenes foliosos y fructicosos (v. gr., *Lobaria* sp. y *Usnea* sp.), lo hacen con coberturas imperceptibles a simple vista.

TABLA 11

Factores de resistencia Vs. Frecuencia
en las especies reportadas - Región de Termozipa

Especie	Factor de resistencia	Frecuencia (% presencia/22 Est.)
<i>Chroococcus</i> sp.	5,9	54,5
<i>Heterodermia</i> c.f. <i>albicans</i>	10,2	68,1
<i>Parmotrema perlatum</i>	10,3	63,6
<i>Telochistes exilis</i>	11,0	72,7
<i>Ramalina celastri</i>	11,5	68,1
<i>Lobaria</i> sp. (1)	11,7	63,6
<i>Lecanora</i> sp. (1)	11,8	63,6
<i>Physcia</i> sp.	11,8	54,5
<i>Lecidea</i> sp.	12,0	54,5
<i>Teloschistes hypoglaucus</i>	12,1	50,0
<i>Ramalina cohclearis</i>	13,1	54,5
<i>Lecanora</i> sp. (2)	13,4	40,9
<i>Usnea</i> sp. (1)	13,9	45,4
<i>Bacomycus</i> c.f.	16,0	4,5
<i>Parmelia flaventor</i>	16,0	31,8
<i>Ramalina</i> c.f. <i>caracasana</i>	16,5	31,8
<i>Heterodermia leucomela</i>	16,7	31,8
<i>Everniastrum vexans</i>	17,0	18,1
Musgo - hepáticas	17,8	22,7
<i>Heterodermia flabellata</i>	19,0	13,6
<i>Usnea</i> sp. (2)	20,0	4,5
<i>Lobaria</i> sp. (2)	20,0	4,5
<i>Trentepohlia</i> sp.	20,0	4,5
Alga cyanophyceae (talo negro)	20,5	9,0
<i>Heterodermia hypoluccia</i>	21,0	4,5
<i>Parmelia</i> sp. (2) gris	21,0	4,5

- Defoliación total o parcial de los árboles.
- Número máximo de especies epífitas: ocho (8).

ZONA II:

- Concentración máxima de *Chroococcus* sp. Los troncos toman un color verde pálido, debido a la presencia abundante del alga.

- Aumenta la cobertura de *Lecidea* sp.
- *Heterodermia* c.f. *albicans* se presenta con cobertura muy alta (cercana a la máxima), en algunos troncos.
- Se observan pequeños penachos de *Teloschistes hypoglaucus*.

Los troncos y ramas adquieren una coloración parda o negra, debido al polvo y hollín de las chimeneas. Los líquenes, generalmente de crecimiento achaparrado, presentan signos de necrosis en la totalidad o en alguna parte del talo.

- El número de especies varía entre 8 y 13.

ZONA III:

- Concentración máxima de *Lecidea* sp.
- Otros líquenes de coberturas máximas son:
 - *Physcia* sp.
 - *Parmotrema perlatum*
 - *Teloschistes hypoglaucus*, liquen vistoso debido a su color amarillo ocre (puede confundirse a simple vista con *T. exilis*, abundante en las zonas no contaminadas).
- Es notoria, además, la presencia de *Ramalina celastri* y de *Lobaria* sp.
- La cobertura de *H. c.f. albicans* permanece más o menos constante.
- A partir de esta zona se presenta *Heterodermia leucomela*, liquen foliáceo de cobertura relativamente baja. Su simple presencia podría indicar áreas exentas de "contaminación aguda".
- Comienzan a ser notorios los penachos de *Teloschistes exilis* entremezclados con *T. hypoglaucus*.
- La cobertura de *Chroococcus* sp. desciende notablemente.
- Zonificación horizontal (por exposición), marcada.
- Achaparramiento y necrosis parcial en talos de *R. Celastri*, *Usnea* sp. y *P. perlatum*, situados a sotavento.
- Número de especies: 13-16.

ZONA IV:

- Cobertura máxima de *Heterodermia* c.f. *albicans* que le da a los árboles una apariencia "lechosa".

- Igualmente en esta zona se presentan las coberturas mayores de *Ramalina celastri*, *Parmelia flaventor* y *Lobaria* sp. Las dos últimas, no diferenciables a simple vista, se presentan formando extensas masas laminares de color verde.
- Son notorias las coberturas de *Ramalina* c.f. *caracasana*, *E. exilis*, *T. hypoglaucus* y *Usnea* sp.
- Presencia de musgos y hepáticas.
- Desciende la cobertura de *Physcia* sp.
- Coberturas muy bajas de *Lecidea* sp., *P. perlatum* y *Chrococcus* sp.
- Zonificación leve.
- Número de especies: 16-18.

ZONA V:

- Máxima cobertura de *Teloschistes exilis*, que asciende hasta las ramas superiores.
- Aparecen *Heterodermia flabellata* y *H. hypoluccia*, aunque con bajas coberturas (su simple presencia podría significar zonas relativamente "puras").
- Los musgos y las hepáticas, al igual que otras especies de *Lecanora*, alcanzan también su mayor cobertura.
- Se conservan constantes las coberturas de *H. albicans*, *H. leucomela*, *Ramalina celastri* y *Parmelia flaventor*.
- No existe zonificación por exposición de las especies.
- Número de especies: 18-20.

ZONA VI:

- Máximas coberturas de *Ramalina* c.f. *caracasana* y de *Parmelia flaventor*.
 - Es notoria la presencia de algas (Chlorophyceae de tipo filamentoso y Chlorococcaceae del género *Trentepohlia*), que le imprimen a los árboles aspecto moteado de color negro y rojo bastante vistoso.
 - Aparecen nuevas especies de *Usnea* y *Lobaria*.
- Coberturas altas de la mayoría de las especies.

- Las coberturas de *Physcia* sp., *Lecanora* sp. (2), *Lecidea* sp. y *T. hypoglaucus* son extremadamente bajas.
- Número de especies: > 20.

CONCLUSIONES

Las relaciones entre el indicador y las fuentes contaminantes se pueden sintetizar en dos casos:

- a. Función monovariante, en la cual existe relación entre un indicador y un objeto indicado. Relaciones de este tipo pueden observarse (separadamente), en *Ramalina celastri* y *Teloschistes exilis*, especies en las cuales el grado de exhuberancia podría indicar el grado de contaminación respectiva.
- b. Función multivariante que, en el presente trabajo implica la relación entre varios indicadores y un objeto indicado. En este caso se busca aumentar la cualificación o cuantificación del contaminante mediante el empleo de grupos ecológicos, comunidades o asociaciones. De acuerdo con esto, el índice de pureza atmosférica (IPA), empleado y modificado en este trabajo demuestra ser un método cualitativo y cuantitativo efectivo aunque sus valores deben ser confrontados con mediciones físico-químicas hechas sobre el mismo terreno, o bien con modelos matemáticos que simulen la emisión y dispersión de contaminantes para una fuente dada. A este respecto se pueden mencionar los resultados de dos estudios que concuerdan bastante bien con los resultados aquí reportados y dicen mucho en favor del método de bioindicación. García y Jurado (1983), utilizando un modelo basado en las ecuaciones de Pasquill-Gifford, reportan concentraciones altas de partículas y óxido de Azufre en la parte occidental de la térmica Martín del Corral (Termozipa), con cifras de 20 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{año}$ de SO_2 en la parte plana (2550 m.s.n.m.), y mayores de 100 μg en el cerro de Tibitó (2700 m.s.n.m.). De otra parte, García (1984), realizó mediciones directas de partículas en dos sitios de la zona de influencia de la térmica Martín del Corral, empleando medidores de alto volumen. Para el primer sitio el muestreador se colocó en la dirección Nor-Occidente de la térmica, a 2,5 Km de distancia y a 50 m por encima de la cota de ésta. Los registros se efectuaron durante períodos de 6 y 12 horas continuas. El segundo sitio correspondió al cerro de Tibitó (2800 m.s.n.m.); es decir, en la dirección hacia la cual predomina el viento, en donde el muestreador operó de la misma manera. Los resultados obtenidos muestran igualmente concentraciones altas para las direcciones indicadas: teniendo en cuenta que el promedio máximo, según la norma del ministerio de Salud, debe ser de 77 μ/m^3 y el máximo permitido por un día en el año es de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dicho máximo fue superado el primer día de muestreo en el cerro de Tibitó, con 312,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas recogidas en tan solo 12 horas. Los promedios para 10 mediciones de 12 horas continuas fueron 81,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la dirección Nor-Occidente y 202,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el cerro de Tibitó.

Como se observa, existe una buena concordancia entre la situación de los puntos de contaminación elevada reportados por los modelos matemáticos, por muestreos físicos directos, y las correspondientes delimitadas mediante los IPA. La comprobación físico-química de las demás zonas de contaminación resulta, desafortunadamente, bastante costosa y además técnicamente limitada debido a la situación rural de la zona de estudio. Según esto y de acuerdo con los resultados y consideraciones expuestas a lo largo de este estudio, podemos concluir:

- La delimitación de áreas de isocontaminación por medio de bioindicadores ofrece un mecanismo rápido, económico e independiente para evaluar la calidad del aire.
- El método de la bioindicación ofrece además una vía práctica tanto para seleccionar los sitios donde se deben colocar los medidores físico-químicos como para calibrar las áreas reportadas por los modelos matemáticos de dispersión de contaminantes.

BIBLIOGRAFIA

- BARKMAN, J. 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Asen van Forcum, Netherlands. 618 pp.
- BRAUN BLANQUET, J. 1979. Fitisociología. Ed. H. Blume, Madrid.
- BRODO, I.M. 1961. Transplants experiments with corticolous lichens, using a new technique. *Ecology*, 42: 838-881.
- CABRERA, E., PICHETT, J. y E.B. ALEXANDER. 1980. Estudio general de clasificación de los suelos de la cuenca alta del Río Bogotá para fines agrícolas. IGAC, Subdirección Agrológica. Bogotá, D.E.
- CAR, 1969-1978. Direcciones dominantes diarias del viento; estación 4-825 ANG. Guatavita.
- CAR, 1970-1980. Direcciones dominantes diarias del viento; estación 4-846 ANG. Tabio.
- GARCIA, H.M., 1984. Evaluación ambiental de la zona de influencia de la térmica Martín del Corral. ISA - Sección Medio Ambiente. Manuscrito en preparación.
- _____ H.M. y L. JURADO. 1983. Programa para cálculo de emisiones atmosféricas en plantas térmicas. Método de Pasquill-Gifford. ISA-Sección Medio Ambiente.
- GARCIA L.C. y L.J. RUBIANO. Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Contaminación Ambiental* 8(13) p. 73-90. 1984.
- GILBERT, O.L. 1970. Further studies on the effect of sulfur dioxide on lichens and briophytes. *New Phytol.*, 69: 605- 627.
- _____ 1971. Studies along the edges of a lichen desert. *Lichenologist*, 5: 5-17.
- _____ 1973. Lichens and air pollution, En: the Lichens. Admajian Vernon y Mason E. Hale (Eds.) Academic Press, New York and London.

- GRINDOM, L.H. 1859. The Manchester flora. En Gilbert O.L., 1973. The Lichens. Ahmadjian Vernon y Mason. Hale (Eds.) Academic Press, New York and London.
- HANKSWORTH, D.L. y F. ROSE. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 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.
- JONES, E.W. 1952. Some observations on the lichen flora of tree boles, with special reference to the effect of smoke. *Rev. Bryol. Lichenol.*, 21: 96-115.
- LE BLANC, F. and J. DE SLOOVER, 1970. Relation between industrializations and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. Jour. of Botany.* 48: 1485-1495.
- RAE, D.N. and G. GOMEAU. 1972. Indices of atmospheric purity and fluoride pollution pattern in Arvida, Quebec. *Can. Jour Bot.*, 50: 991-997.
- MARGOT, J. 1973. Experimental study of the effects of sulphur dioxide on the soredia of *Hypogymnia physodes*; en Ferry, et al. (Eds.) 1973. Air pollution and lichens. The Athlone Press of the University of London.
- MENDEZ, O.I. y L.A. FOURNIER. 1980. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 28: 31-39.
- NYLANDER, W. 1886. Les lichens du jardin du Luxemburg. En Le Blanc F. and J. de Sloover, 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. of Bot.*, 48.
- PUCKETT, K.J., NIEBOER, E., FLORA, W.P. and D.H.S. RICHARDSON. 1973. Sulphurdioxide: its effect on photosynthetic ^{14}C fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity. *New Phytol.*, 72: 141-154.
- ROBERTS, B.A. y L.K. THOMSON, 1980. Lichens as indicators of fluoride emission from a phosphorus plant. Long Harbour, Newfoundland, Canadá. *Can. Jour. Bot.* 58: 2218-2228.
- RUBIANO, L.J. 1983: Contribución al estudio de las comunidades de líquenes en un bosque Andino de Cundinamarca. Tesis de Grado Universidad Nacional de Colombia. Dpto. de Biología. Bogotá. D.E.
- _____ 1986. Las comunidades de líquenes como indicadores de calidad del aire en Terkozipa y el Complejo Industrial de Betania, Cundinamarca. Informe técnico. Documento Abrnma-102 Interconexión Eléctrica S.A. ISA, Sección Medio Ambiente. Medellín-Colombia.
- RYDZAC, J. 1958. Influence of small towns on lichens vegetation. *Ann. Univ. Maria Curie, Skłodowska, Sect. C-13:* 275-323.
- _____ 1968. Lichens as indicators of ecological conditions of the habitat. *Ann. Univ. Marie Curie Skłodowska, Sect. 23:* 131-164.
- _____ and K. KRYSIAK, 1970. Lichen flora of Tomaszow Mazowiecki. *Vegetatio*, 21: 375-397.

- SAUBERER, A. 1951. Die verteilung rindenbewehondender fletchen in Wien, ein bioklimatisches gresstadt problem. *Wetter un Leben* 3 (5-7).
- SERNANDER, R. 1912. Studier ofver lafvarnes biology I. Nitrofila lafvar. En Barkman, 1958. *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes*. Assen: van Gorcum, Netherlands.
- SKY, E. 1968. Lichens and air pollution. *Acta phytogeogr. Suec.* 52: 1-123.
- TALLIS, J.H. 1964. Lichens and atmospheric pollution. *Advan. Sci.* 21: 250-252.
- ULRIK, S. and K. RAMKAER. 1982. The epiphytic lichen zones in rural Denmark and Schleswig-Holstein. *Nordic Journal of Botany* 2 (2).
- VARESCHI, V. 1953. La influencia de los bosques y parques sobre el aire de la ciudad de Caracas. *Acta Científica Venezolana*, 4 (3): 89-95.

The study made on hepatoparasitosis in the city of Bogotá, Colombia, during the period 1960-1962, showed that the prevalence of the disease is higher in the urban area than in the rural area. The prevalence of the disease is also higher in the urban area than in the rural area. The prevalence of the disease is also higher in the urban area than in the rural area.

Key words. *Parasitosis hepática*, *Parasitosis hepática*, *Parasitosis hepática*.