



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). EISSN: 2215-3896.

Julio-Diciembre, 1982. Vol 3-4(1): 75-88.

DOI: http://dx.doi.org/10.15359/rca.3_4-1.8

URL: www.revistas.una.ac.cr/ambientales

EMAIL: revista.ambientales@una.cr

Luisa Castillo

Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Indicadores biológicos de la contaminación atmosférica

Biological indicators of air pollution

Luisa Castillo



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

INDICADORES BIOLOGICOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA*

LUISA CASTILLO

UNA REVISION BIBLIOGRAFICA

Desde finales del año pasado se ha ido creando más y más interés por el

conocimiento y utilización de indicadores biológicos para evaluar la calidad ambiental.

* Presentado en el Simposio sobre contaminación ambiental y su impacto sobre el hombre costarricense. Setiembre 1 y 3, 1980.

** Profesora de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Hoy en día los indicadores biológicos son ampliamente utilizados en la evaluación de diferentes aspectos de la

contaminación ambiental; y puede encontrarse una gran cantidad de literatura al respecto.

Los estudios realizados en los últimos años demuestran que en la naturaleza existen organismos extremadamente sensibles a la contaminación, factibles de ser utilizados en la evaluación de la calidad ambiental. Y debido a la gran diversidad fisiológica y ecológica de los seres vivos es posible escoger la o las especies indicadoras más apropiadas dependiendo de los factores y situaciones ambientales que se pretenda evaluar.

Entre las ventajas que brindan los indicadores biológicos podemos señalar:

- muestran los efectos acumulativos sobre un período de tiempo;
- muestran los efectos sinérgicos;
- miden la respuesta biológica real de los organismos o poblaciones a la calidad del ambiente, en lugar de predecir la respuesta biológica a partir de mediciones físicas;
- permiten un monitoreo a largo plazo de los niveles de contaminación ambiental sin necesidad de la colocación y mantenimiento de equipo costoso y sofisticado; y
- permiten comparar la calidad ambiental entre diferentes áreas geográficas. Esto último tomando en

consideración las limitaciones en cuanto a las diferencias en condiciones ambientales (fuera de problemas de contaminación) que puede haber entre áreas geográficas distintas.

Aunque este trabajo trata básicamente sobre indicadores biológicos, haremos referencia a estudios de indicadores bioquímicos en la medida que éstos pueden servir de base a la utilización de otros organismos como indicadores biológicos o a explicar el porqué de las respuestas observadas en los organismos. Además en algunos casos son la única opción a utilizar.

Según la clasificación hecha por Goldstein (9) en cuanto a indicadores, tenemos que los indicadores bioquímicos serían aquellos tejidos, órganos, cultivos celulares o preparaciones del contenido celular en que se estudian efectos bioquímicos, tales como cambios enzimáticos o químicos. En tejidos, órganos o cultivos celulares pueden estudiarse además efectos biológicos como crecimiento, pero con mayor frecuencia al referirse a indicadores biológicos se está hablando de organismos y no de parte de ellos.

Los indicadores bioquímicos son importantes porque muchas veces, por ejemplo, en la exposición a plomo o a insecticidas organofosforados, los efectos bioquímicos son evidentes mucho antes que los síntomas visibles. En el caso del fluor, por la importancia del contenido de este compuesto en la die-

ta del ganado, se hace necesaria la determinación de su concentración en el tejido vegetal que le servirá de alimento.

Este trabajo se circunscribe al uso de indicadores biológicos de contaminación atmosférica y no pretende más que dar una visión muy general de los estudios realizados en los últimos años sobre el tema, y aun esto con las limitaciones del caso, ya que en algunos aspectos fue imposible conseguir la información necesaria.

Esperamos que de alguna manera contribuya a despertar interés sobre el tema y sus posibles aplicaciones en Costa Rica.

A partir de la lectura de los trabajos citados en esta revisión puede señalarse que, para la evaluación de organismos como indicadores biológicos de contaminación, se han utilizado principalmente dos métodos:

- 1) Estudios realizados en condiciones naturales.

Estos se basan en estudios previos de los organismos a utilizar como indicadores biológicos en condiciones naturales y sin contaminación. De manera que sobre esta base puedan medirse las alteraciones del organismo estudiado, tanto en composición como en morfología, por ejemplo: biomasa, número, cobertura, frecuencia, lesiones, etc. O puede hacerse, no con una espe-

cie en particular sino con comunidades, en este caso serán parámetros tales como: diversidad, predominio, número de especies, biomasa respectiva, etc.

En general los datos obtenidos se comparan con análisis cuantitativos, observando su correlación con los efectos biológicos detectados en el o los organismos estudiados.

- 2) Estudios realizados bajo condiciones artificiales sometiendo al organismo valorado a concentraciones conocidas de determinado(s) contaminante(s).

Las plantas como indicadores biológicos de contaminación atmosférica

Los indicadores biológicos más frecuentemente utilizados como indicadores de contaminación atmosférica son básicamente plantas.

Clements en 1920 [citado por Grigal (10)] señalaba: "Cada planta es una medida de las condiciones bajo las cuales crece. . ."

De acuerdo con Brandt (3) los estudios que se han realizado han demostrado que las respuestas de las plantas son generalmente características para determinado contaminante aunque no necesariamente específicas. Se han encontrado especies muy sensibles a ciertos contaminantes del aire, pero la sen-

sibilidad varía grandemente no sólo entre especies sino entre variedades y está influenciada marcadamente por las condiciones ambientales anteriores, presentes y posteriores al período de exposición del contaminante.

Por otra parte, las respuestas de las plantas son similares a las producidas por enfermedades, insectos o presiones ambientales. De allí que sea necesario utilizar análisis bioquímicos de comprobación al evaluar una especie como indicador biológico. Es posible descartar la presencia de algunas enfermedades por medio de análisis bacteriológicos.

Sin embargo, debe recalarse que el uso de plantas como indicadores de la contaminación atmosférica debe evaluar los problemas señalados anteriormente.

Por el extenso uso que líquenes y briófitas han tenido como indicadores biológicos de contaminación los trataremos por aparte a pesar de que el resto de plantas se tratarán según el tipo de contaminante que indique.

Líquenes y briófitas como indicadores de la contaminación atmosférica

Los líquenes y briófitas han sido ampliamente estudiados (3, 7, 9, 16, 19, 20, 24, 27, 29, 32) como indicadores biológicos de la contaminación. Esto se debe a su gran sensibilidad a algunos de los más importantes contaminantes at-

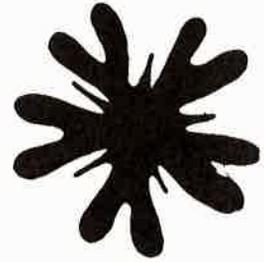
mosféricos, tales como dióxido de azufre, fluoruro de hidrógeno, óxido de nitrógeno, ozono, etc.

Los líquenes y briófitas epífitas tienen la ventaja, en contraste con las plantas vasculares, de poseer pocas probabilidades de absorber directamente del suelo minerales y nutrientes en general, pero, los recogen del agua de lluvia o de la sedimentación de partículas aerotransportadas. Debido a la ausencia o fuerte reducción de la cutícula de estas plantas inferiores las partículas sedimentadas en su superficie van a tener acceso directo a los sitios de intercambio en la pared celular.

Por estas características también se han utilizado líquenes y briófitas epífitas para estudiar la presencia y aumento en las concentraciones de metales aerotransportados.

En el estudio realizado por Winner y Bewley (33), se evaluaron diferentes parámetros en los musgos terrestres en relación a la presencia de dióxido de azufre (uno de los contaminantes atmosféricos que ha ocasionado mayores problemas).

Las cantidades severas de este contaminante afectan la estructura horizontal del musgo o sea la cobertura. Se determinó que la cobertura de los musgos disminuye a medida que el dióxido de azufre presente en la atmósfera aumenta. En cambio, niveles más leves de este contaminante afectan la estructura vertical del musgo: se observa disminu-



ción en la profundidad de la capa superficial verde, disminución de la biomasa verde y del porcentaje de peso seco del musgo verde. Al parecer también habría una correlación del nivel de contaminación con la frecuencia de cápsulas (estructura reproductora) del musgo y esto podría ser a su vez la causa de la disminución de la cobertura de los musgos terrestres.

Los líquenes también han sido utilizados para evaluar la contaminación atmosférica ocasionada por el dióxido de azufre. Presentan la ventaja de encontrarse ampliamente distribuidos e incluso pueden realizarse trasplantes (3, 4, 19), lo que permite evaluar zonas donde los líquenes, por diferentes razones, no crecen en forma natural.

Brodo (4) explica la técnica diseñada por él y el doctor Cantlon que consiste en extraer un disco de corteza junto con el líquen y transplantarlo intacto a otro árbol, a una tabla preparada para tal fin, o, incluso, al mismo árbol en una nueva posición. El disco se obtiene utilizando una cuchilla circular di-

señada especialmente para ello. Posteriormente estos discos se colocan en su nueva posición haciendo un segundo hueco y sosteniendo el disco a ser transplantado en esa posición con la ayuda de cera para injertos.

Los parámetros utilizados en la determinación del grado de contaminación atmosférica con la ayuda de líquenes epífitos van desde cambios de coloración, porcentaje de células muertas, cobertura, hasta simplemente la presencia o ausencia de los líquenes.

Se ha determinado que un alto grado de contaminación lleva al desaparición de los líquenes y otras epífitas, lo que se conoce por "desiertos de epífitas". En general las diferentes especies de epífitas se encuentran presentes o resisten hasta un determinado nivel de contaminación, y esto ha sido utilizado para elaborar "mapas de contaminación" (4, 17, 32).

Le Blanc y De Soover (17) han elaborado mapas de contaminación ambiental con base en la utilización de un

"Índice de Pureza Atmosférica" (IAP), propuesto por ellos, basados en el estudio del crecimiento y composición de la flora epifítica en un gran número de lugares escogidos por su similaridad ecológica.

Este método tiene la desventaja de que para calcular el IAP se necesita asignar, en cada lugar visitado, un valor de cobertura a cada especie que se encuentra en el lugar, cosa que no deja de ser subjetiva.

Vick y Bevan (32) en un trabajo muy interesante (basado en un estudio anterior de Gilbert), exponen el método seguido para la elaboración de un mapa fundamentado en la presencia o ausencia de unas pocas especies indicadoras.

Lo primero es la elaboración de una escala de tolerancia de diferentes especies de líquenes a los niveles de concentración de dióxido de azufre. Esto se consigue comparando datos obtenidos en estaciones de muestreo cuantitativo con la presencia de diferentes especies de líquenes a lo largo de un transecto.

Luego simplemente se anota la presencia o ausencia de estas especies indicadoras siguiendo sus límites internos alrededor de la ciudad.

Por las características de líquenes y briófitas epífitas señaladas anteriormente se han utilizado mucho estos organismos para medir la absorción de metales. Básicamente se han analizado

utilizando espectrofotómetros de absorción atómica.

Laaksovirta, et ál. (16) hicieron comparaciones entre el contenido de plomo en líquenes y corteza de los árboles ubicados en las inmediaciones de una autopista de mucho tráfico (el plomo es el contaminante metálico más común en la atmósfera y proviene principalmente de los escapes de los motores de vehículos).

Se encontró que el contenido de plomo en el líquen disminuía significativamente entre los veinte y cien metros de distancia, medidos a partir de una autopista muy transitada, pero no entre los cien y doscientos metros de distancia. Además el contenido de plomo no mostraba una correlación con la densidad del tráfico. Esto podría deberse a que el líquen es un efectivo acumulador del plomo, aun cuando el nivel de contaminación por plomo sea bajo.

En cambio el contenido de plomo en la corteza de los árboles mostraba disminuciones significativas tanto entre veinte y cien metros, como entre cien y doscientos metros y mostraba una alta correlación con la intensidad del tráfico. Por lo cual la corteza de los árboles podría resultar un indicador más adecuado.

Otros autores (7, 20, 24, 27, 29) han realizado estudios concernientes a acumulación de metales en líquenes y briófitas epífitas. Estos han sido aprovechados para comparar la concen-

tracción de diversos metales en períodos diferentes.

En Costa Rica, Olga Méndez Arbulola (19) utilizó el método de transplante de líquenes en algunos sectores de San José y alrededores para evaluar el nivel de contaminación atmosférica.

Otros indicadores biológicos de contaminación por dióxido de azufre

Además de los líquenes y briófitos epífitos mencionados anteriormente hay una serie de organismos sensibles a la presencia de dióxido de azufre en la atmósfera.

Kagamimort y sus colegas (15) estudiaron los efectos de la contaminación atmosférica en áreas rurales de Japón con un nivel bajo de contaminación. Como organismo indicador se utilizó el cedro japonés (*Cryptomeria japonica*). Se encontró que el grado de lesión presente en el cedro se correlacionaba significativamente con las concentraciones de dióxidos de azufre. Estos investigadores hicieron comparaciones entre las lesiones presentes en el cedro con irritaciones de la piel y cuadros de tos y flema que presentaban los niños del área.

En la figura No. 1 puede observarse los criterios usados para determinar el grado de lesión en el cedro japonés.

También los pinos son organismos

susceptible de ser utilizados como indicadores biológicos y se ha encontrado una correlación negativa entre la presencia de *Pinus sylvestris* con los niveles de dióxido de azufre y con los contenidos de azufre en las agujas del pino. A su vez el contenido de azufre en las agujas está correlacionado positivamente con los niveles de dióxido de azufre (6).

Esto se comprueba con el estudio realizado por Caput y Belot (5) en que se expusieron los árboles de pino a una contaminación atmosférica por dióxido de azufre artificialmente producida con la ayuda de un fumigador portátil. Se demostró que la destrucción de las hojas dependía de la duración de la exposición, de la concentración del contaminante y de la resistencia de los estomas. Las agujas más jóvenes eran las más sensibles.

Este estudio condujo a la determinación de especies de pinos más resistentes que el *Pinus sylvestris*, a la contaminación y que podrían ser una buena alternativa para siembra en áreas contaminadas: *Pinus pinea* y *Pinus nigra*.

Otra experiencia interesante en la búsqueda de indicadores de contaminación por dióxido de azufre es la obtenida usando *Rhytisma acerinum*, un hongo que causa la enfermedad de "manchas de alquitrán" en el árbol *Acer pseudoplatanus*. El hongo es inhibido por la contaminación atmosférica y por tanto el número de manchas por hoja es inversamente proporcional a la concentración anual promedio de dióxido de azu-



0 La forma del árbol es cónico y las hojas son vigorosas.



1 La forma es semejante a una columna o se encuentran hojas café.



2 La forma está totalmente metamorfoseada o una parte de las ramas más grandes comienzan a marchitarse.



3 La forma está totalmente alterada y algunas ramas pierden sus hojas.



4 Más de la mitad de las ramas pierden sus hojas y todo el tronco es visible.



5 No quedan hojas en las ramas o sólo se encuentra un tocón del cedro que ha sido cortado recientemente debido a una completa marchitez.

Fig. 1 : Criterios usados para determinar el grado de lesión del cedro japonés.
Tomado de: Kagaminari, S. et ál. 1978. A plant indicator of air pollution and human health in Japanese rural communities. *Environmental Research* 17 (1) pp.36.

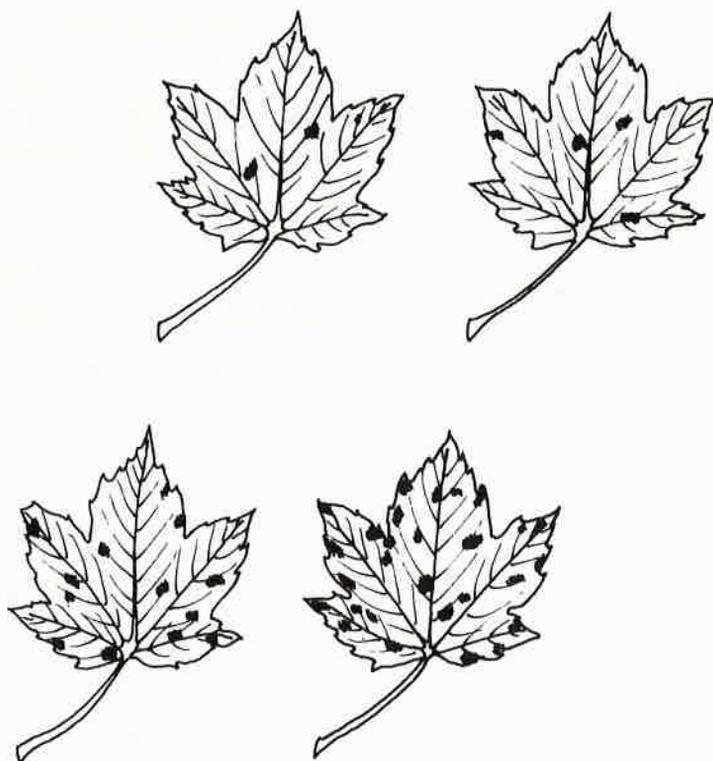


Fig. 2 : Hojas de *Acer pseudoplatanus* infectada con *Rhytisma acerinum* mostrando la apariencia de las manchas en las hojas en diferentes grados de la infección.

Tomado de : Bevan, R. and Greenhalgh, G. 1976. *Rhytisma acerinum* as a biological indicator of pollution. *Environmental Pollution* 10 (4) pp. 273.

fre atmosférico e incluso es posible calcular el nivel de contaminación según el número de manchas por hora (área foliar) (3, 2).

La figura No. 2 muestra las hojas

infectadas por *Rhytisma acerinum* en diferentes grados.

Otros hongos como *Microsphaera alpi* (14) son también inhibidos por la presencia de dióxido de azufre.

Indicadores biológicos de contaminación ocasionada por oxidantes fotoquímicos presentes en la atmósfera

Varios hongos y microorganismos han respondido de diversas formas a la presencia de contaminantes atmosféricos, especialmente al ozono.

Se ha comprobado que el ozono inhibe fases del ciclo asexual de dos hongos causantes de herrumbre: *Puccinia coronata* y *Puccinia graminis* y de un hongo que provoca el mildiú pulverulento, *Erysiphe graminis* (12).

Manning (18) ha relacionado en su investigación la respuesta de diversos patógenos a la contaminación atmosférica. Se encontró que algunas plantas lesionadas por ozono son más susceptibles a invasión por parásitos y hongos saprófitos facultativos. El ataque por virus del mosaico del tabaco en plantas de frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*, cv "Pinto III"), aumenta con el grado de contaminación.

El tabaco es una planta que se ha utilizado mucho (3, 22) para medir las concentraciones de oxidantes atmosféricos, ya que la lesión de las hojas varía según las concentraciones y el tiempo de exposición al contaminante.

En una investigación realizada en Israel, Naveh y sus colegas (22), encontraron que la cepa de tabaco Bel-W3 era más sensible al ozono que otras variedades.

Una planta que se ha utilizado en Japón como indicador de oxidantes fotoquímicos parece tener interesantes perspectivas (23). Se trata de la campánula *Pharbitis nil*, variedad Scarlet O'Hara (descrita por Paul Standley, en *Flora of Costa Rica*, como *Ipomoea nil*).

El estudio indica que esta planta posee una serie de ventajas:

- alta sensibilidad a los oxidantes fotoquímicos;
- facilidad de cultivo;
- adecuada para observaciones a largo plazo, ya que produce nuevas hojas, una tras la otra, durante toda la estación de desarrollo; y
- los síntomas de lesión (manchas de decoloración y necrosis ocasional en las áreas entrevenas de las hojas) son características y específicas, además fácilmente identificables.

Nouchi y Aoki, autores de este estudio, proponen un modelo matemático que expresa el grado de lesión como una función logarítmica de la concentración y duración de la exposición en el caso del estudio en condiciones controladas. Posteriormente lo aplicaron en el campo, y se propuso un modelo matemático que consideraba las concentraciones y los efectos acumulativos y se encontró que el grado de lesión calculado coincidía con las lesiones encontradas en el campo.

Animales como indicadores biológicos de contaminación atmosférica

Se encontró relativamente poca bibliografía sobre la utilización de animales como indicadores de contaminación atmosférica (en muchos casos se trata de indicadores bioquímicos); referiremos algunos solamente para brindar una idea del tipo de estudios que se han realizado.

Amdur y sus colegas (1) utilizaron conejillos de indias y los expusieron por períodos de una hora a aerosoles de diferentes sales de sulfato (éstas se producen en la atmósfera a partir de dióxido de azufre). El estudio demostró que a excepción del sulfato de sodio, las demás sales de sulfato (sulfato de amonio, bisulfato de amonio, sulfato de cobre) produjeron irritaciones en el tracto respiratorio y que la irritación aumentó con la disminución del tamaño de las partículas. También se observaron efectos sinérgicos del sulfato de cobre con el dióxido de azufre.

En mandriles, Goldstein y sus colegas (8) estudiaron el efecto producido por la inhalación de partículas de cemento de asbesto en condiciones de laboratorio. Los mandriles desarrollaron fibrosis pulmonar.

Sawicka (3) ha utilizado los cuernos de venados como indicadores. En Polonia (donde se realizó el estudio) son

un material muy adecuado por su abundancia, brindando una muestra acumulada de los ciento treinta días que dura su crecimiento. Se encontró que la calidad de los cuernos disminuye en presencia de contaminantes atmosféricos, y que son eficientes acumuladores de metales.

También se han hecho análisis de diferentes tejidos observando las alteraciones que presentan. Rana y sus colegas (26) analizaron el destino de lípidos, proteínas y carbohidratos en los tejidos (tráquea, pulmones y corazón) de la ardilla *Funambulus pennanti*, después de exponer a ésta a concentraciones por tiempos determinados de monóxido de carbono, dióxido de azufre y un óxido de nitrógeno. Se encontró que a excepción del músculo cardíaco los demás mostraban edema y un aumento en el grado de humedad.

Conclusiones

Los indicadores biológicos son una alternativa que ha dado resultados valiosos en la evaluación de la calidad ambiental.

Como puede desprenderse de la lectura anterior, hay un enorme campo de estudio y experimentación en la utilización de diferentes organismos como indicadores de contaminación.

Es interesante observar que hay una tendencia a obtener datos cuantitativos

de los niveles de contaminación a partir del uso de indicadores biológicos y aún más a la elaboración de mapas de contaminación, especialmente en áreas urbanas o suburbanas, que aportan los elementos necesarios para una evaluación global del problema y sus posibles soluciones.

Creemos que un trabajo interdisciplinario y que involucre tanto la medición cuantitativa por medio de redes de

monitoreo, como la evaluación de posibles especies indicadoras en el país, sería de enormes beneficios.

Se han esbozado algunos de los estudios realizados, que pueden o no tener alguna aplicación en Costa Rica. Sin embargo, es muy probable que estudios realizados aquí nos revelen especies más adecuadas para la evaluación de la calidad ambiental en esta región del mundo.



BIBLIOGRAFIA

- (1) AMDUR, M.O. et al. Comparative irritant potency of sulfate salts. *Environmental Research*. 16:1-8. (1978).
- (2) BEVAN, R.; GREENHALGH, G. Rhytisma acerinum as a biological indicator of pollution. *Environ. Pollut.* 10:271-285. (1976).
- (3) BRANDT, S. Plants as indicators of air quality. *En Thomas, W. (ed.) Indicators of environmental quality. Plenum Press. New York. (1972).*
- (4) BRODO, I.M. Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. *Ecology*. 42:838-841. (1965).
- (5) CAPUT, C.; BELOT, Y. Absortion of sulphur dioxide by pine needles leading to acute injury. *Environmental Pollution*. 16:3-15. (1978).
- (6) FARRAR, J.F. et al Sulphur dioxide and the scarcity of *Pinus silvestris* in the Industrial Pennines. *Environmental Pollution*. 14:63-68. (1977).
- (7) FURR, K. et al. Element content of mosses as possible indicators of air pollution. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 8: 335-343. (1979).
- (8) GOLDSTEIN, B. et al. The effects of asbestos-cement dust inhalation on baboons. *Environmental Research* 16:216-225. (1978).
- (9) GOLDSTEIN, G. Biochemical indicators of environmental pollution. *En Thomas, W. (ed.) Indicators of environmental quality. Plenum Press. New York. (1971).*
- (10) GRIGAL, D. Plant indicators in ecology. *En Thomas, W. (ed.) Indicators of environmental quality. Plenum Press. New York. (1972).*
- (11) HAWKSWORTH, D.L. and ROSE, F. Qualitative scale for the estimation of sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature, Lond.* 227:145-148. (1970).
- (12) HEAGLE, A. Response of three obligate parasites to ozone. *Environ. pollut.* 9: 91-96. (1975).
- (13) HENDERSON-SELLERS, A.; SEAWARD, M. Monitoring lichen reinvasion of ameliorating environments. *Environmental pollution*. 19 (3):207-213. (1979).
- (14) HIBBEN, C.; TAYLOR, M. Ozone and sulphur dioxide effects on the lilac iowdery mildew fungus. *Environ. Pollut.* 107-114. (1975).
- (15) KAGAMIMORT, S. et al. A plant indicator of air pollution and human health in Japanese rural communities. *Environmental research*. 17:33-45. (1978).
- (16) LAAKSOVIRTA, K. et. al. Observation on the lead content of lichen and bark adjacent to a highway in Sourthern Finland. *Environmental pollution*. 11:247-255. (1976).

- (17) LE BLANC, F. and DE SLOOVER, J. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens. (1970).
- (18) MANNING, W. Interactions between air pollutants and fungal, bacterial and viral plant pathogens. *Environmental pollution*. 9:87-90. (1975).
- (19) MENDEZ A., O. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. *Tesis de licenciatura en Biología*.
- (20) MONDANO, M. et al. Mercury contents of soil, mosses and conifers, along an urban-suburban transect. *Environ. Conserv.* 1:202-203. (1974).
- (21) MURIE, M. Evaluation of natural environments. *En Thomas, W. (ed.). Indicators of environmental quality*. Plenum Press. New York. (1972).
- (22) NAVEH, Z. et al. Atmospheric oxidant concentrations in Israel as manifested by foliar injury in Bel-W3 tobacco plants. *Environ. Pollut.* 16:249-261. (1978).
- (23) NOUCHI, I.; AOKI, K. Morning glory as a photochemical oxidant indicator. *Environm. Pollut.* 18:289-303. (1979).
- (24) PILEGAARD, K. Airborne metals and SO₂ monitored by epiphytic lichens in an industrial area. *Environm. Pollut.* 17: 81-92. (1978).
- (25) RABE, R.; KREEB, K. Enzyme activities and chlorophyll and protein content in plants as indicators of air pollution. *Environm. Pollut.* 9:119-137. (1979).
- (26) RANA, S. et al. Certain biochemical changes in the traches, lungs and heart of squirrels exposed to three principal air pollutants. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 8:231-239. (1979).
- (27) RASMUSSEN, L. Epiphytic bryophytes as indicators of the changes in the background levels of airborne metals from 1951-75. *Environm. Pollut.* 14:37-45. (1977).
- (28) RUNECKLES, V. Dosage of air pollutants and damage to vegetation. *Environm. Conserv.* 1:305-308. (1974).
- (29) SAEKI, M. et al. Metal burden of urban lichens. *Environm. Research*. 13:256-266. (1977).
- (30) SAWICKA-KAPUSTA, K. Roe deer antlers as bioindicators of environmental pollution in southern Poland. *Environm. Pollut.* 19:283-293. (1979).
- (31) THOMAS, W. Indicators on environmental quality: an overview. *En Thomas, W. (ed). Indicators of environmental quality*. Plenum Press. New York. (1972).
- (32) VICK, C.; BEVAN, R. Lichens and tar spot fungus (*Rhytisma acerinum*) as indicators of sulphur dioxide pollution on Merseyside. *Environm. Pollut.* 11: 203-216. (1976).
- (33) WINNER, W.; BEWLEY, D. Terrestrial mosses as bioindicators of SO₂ pollution stress. *Oecologia (Berl.)* 35:221-230. (1978).