

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

LOS LIQUENES COMO INDICADORES DE LA CONTAMINACION  
ATMOSFERICA EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN JOSE.  
COSTA RICA

Tesis para optar al Grado de  
Licenciada en Biología

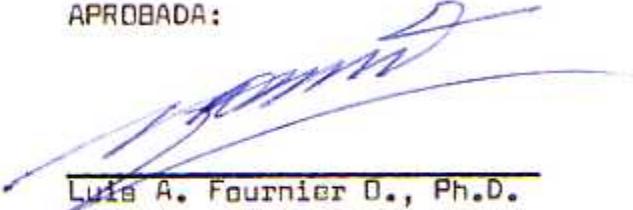
OLGA ISABEL MENDEZ ARBUROLA

==== 1977 =====

LOS LIQUENES COMO INDICADORES DE LA CONTAMINACION  
ATMOSFERICA EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN JOSE,  
COSTA RICA

Tesis presentada a la Escuela de Biología  
Universidad de Costa Rica

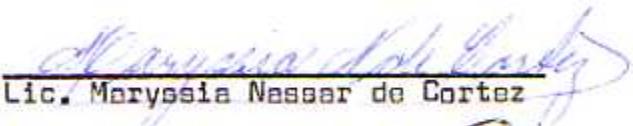
APROBADA:

  
Luis A. Fournier O., Ph.D.

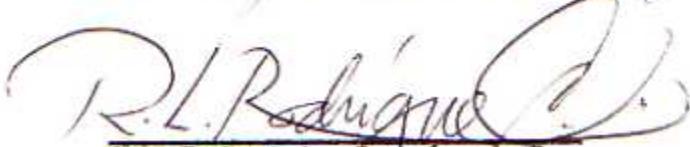
Director de Tesis

  
María I. Morales Z., M.Sc.

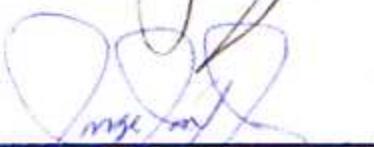
Miembro del Tribunal

  
Lic. Marysela Nasser de Cortez

Miembro del Tribunal

  
Dr. Rafael L. Rodríguez C.

Miembro del Tribunal

  
Dr. Jorge Jiménez J.

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

A mi madre

A la memoria de  
mi padre

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Luis A. Fournier, por su dirección y asesoramiento en este estudio.

A los Profesores María I. Morales Z., M.Sc.; Lic. Maryssia Nassar de Cortez; Dr. Rafael L. Rodríguez C.; y Dr. Jorge Jiménez J., por sus consejos.

Al Ing. Herbert Nanne y al señor Gustavo A. Peña y a todas las personas que en una u otra forma, colaboraron en la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
3. MATERIALES Y METODOS.....	13
Observación al estereoscopio.....	17
Observación al microscopio.....	19
4. RESULTADOS.....	21
5. DISCUSION.....	39
6. CONCLUSIONES.....	53
7. RESUMEN.....	55
8. BIBLIOGRAFIA.....	57

## LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro No</u>		<u>Página</u>
1	Barrios en que se localizó cada una de las especies de árboles en que se hizo el muestreo de cobertura de líquenes del género <u>Parmelia</u> spp. ....	14
2	Sitios en que se colocaron los trasplantes de <u>Parmelia</u> spp. ....	16
3	Cantidad de contaminantes sólidos, color original y coloración total o parcial de los trasplantes después del tratamiento.....	21
4	Pérdida de peso de los trasplantes de líquenes y porcentaje de células muertas en varias localidades de la Ciudad de San José y alrededores.....	23
5	Análisis mediante la prueba de "t" de Student para los porcentajes de pérdida de peso de los trasplantes.....	25
6	Análisis de los porcentajes de células muertas de los trasplantes de líquenes en las varias localidades mediante prueba de "t" de Student.....	26
7	Contaminantes atmosféricos en varias localidades de la Ciudad de San José y alrededores.....	27
8	Cobertura promedio de <u>Parmelia</u> spp. en varias localidades del área metropolitana de San José.....	31

### LISTA DE FIGURAS

<u>Figura NO</u>		<u>Página</u>
1	Muestra la coloración de los trasplantes de líquenes.....	18
2	Coloración de algunos trasplantes después del período de exposición.....	24
3	Coloración de algunos trasplantes después del período de exposición.....	24
4	Ecuación de regresión y coeficiente de correlación entre los valores porcentuales de pérdida de peso y de células muertas.....	29
5	Mapa con las estaciones de la ciudad de San José, Pavas y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", preparado según las pruebas de "t" de Student para los porcentajes de pérdida de peso.....	33
6	Mapa con las estaciones de San José, Pavas y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", preparado con las pruebas de "t" de Student para los porcentajes de células muertas.....	35
7	Mapa con las estaciones de la ciudad de San José, Pavas, Los Yoses y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio" según los porcentajes de cobertura de líquenes del género <u>Parmelia</u> spp.....	37

## INTRODUCCION

El desarrollo tecnológico de la actual civilización ha causado grandes cambios en las condiciones ambientales de la tierra. La atmósfera de las grandes urbes industriales muestra un alto grado de contaminación, que en muchos casos se hace ya intolerable para los seres vivientes.

Costa Rica, aunque en mucho menor proporción no escapa a este problema. El país tiene una industria que crece día con día y los vehículos automotores aumentan en unas 8.000 unidades por año. Sin embargo, en la mayoría de nuestras zonas urbanas el aire no está excesivamente contaminado por lo que se debe salir de la actual indiferencia, y empezar a preocuparse por conocer el estado real de nuestra atmósfera. Esto permitiría evitar que se llegue a los estados graves de contaminación que sufren otros países.

Lo anterior es difícil en un medio como el nuestro en donde no se tiene ningún registro cuantitativo de los productos lanzados al exterior por las fábricas y vehículos automotores. La recolección de esta información requiere además el uso de instrumentos especiales, personal entrenado y financiamiento adecuado para el mantenimiento de estos programas.

Sin embargo, en la naturaleza existen seres extremadamente sensibles a la contaminación atmosférica, los cuales pueden actuar co

mo indicadores biológicos con un alto grado de precisión. Estos seres son principalmente los briófitos y los líquenes epífitos, cuya población declina conforme se aproxima a las grandes ciudades y hasta llega a desaparecer en muchas de ellas al formarse los desiertos de epífitas.

La función indicadora de los líquenes se debe a su gran sensibilidad por algunos contaminantes atmosféricos como son el dióxido de azufre, fluoruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, ozono, etc.

A pesar de que se tiene conocimiento de que la contaminación atmosférica causa serios trastornos a la vida animal y vegetal, en Costa Rica no se ha dado mucha atención a las investigaciones en este campo. Por esta razón, se ha decidido realizar este estudio probando los líquenes como indicadores de contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José.

Este es un estudio preliminar cuyo objetivo fundamental es probar los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José. Se espera que los resultados de este trabajo sirvan de estímulo para promover en el país un mayor interés por el control de la pureza de la atmósfera de las ciudades.

## REVISION DE LITERATURA

Nylander (26) en Francia fue el primer autor que hizo notar la importancia de los líquenes como indicadores de la pureza del aire al escribir "Les lichens donnent à leur manière la mesure de salubrité de l'air et constituent une sorte d'hygromètre très sensible" (los líquenes ofrecen a su modo una medida del estado de santidad del aire y constituyen una especie de higómetro de gran sensibilidad).

Stirton (1874) y Crombie (1885) en Inglaterra, ambos citados por Hawksworth (13), lo mismo que Nylander atribuyeron la escasez de los líquenes a la contaminación del aire.

Skye (35) observó una correlación directa entre la cantidad de dióxido de azufre y el número de líquenes epífitos, foliosos y fruticosos alrededor de una planta refinadora de petróleo en Suecia.

Arnold (1891, 1901), citado por Barkman (1) fue el primero que trasplantó líquenes epífitos de áreas rurales a la ciudad de Múnich en Alemania y observó posteriormente que éstos murieron.

El método empleado por Arnold fue refinado por Brodo (5) quien diseñó un aparato que permitió la extracción de discos de corteza de árboles con líquenes epífitos. Este autor hizo también trasplantes de discos de líquenes desde zonas no contaminadas de Long Island oriental a una serie de estaciones en Brooklyn, Estados Unidos. La mayoría de los líquenes de estos trasplantes se decoloraron y murieron.

Brodo (6) estudio nuevamente la influencia de la contaminación de la ciudad de New York sobre Long Island y observó que ésta redujo la cobertura y diversidad de los líquenes.

La metodología desarrollada por Brodo (5,6), fue empleada por Le Blanc y Rao (18) quienes realizaron un estudio en el área contaminada de Sudbury, Ontario, Canadá. Esos autores notaron que los líquenes y musgos expuestos a altas concentraciones de dióxido de azufre murieron en forma bastante rápida, o fueron más dañados que aquellos que se encontraban en áreas no contaminadas.

Rao y Le Blanc (30), en una región de Ontario, Canadá, demostraron que el número de líquenes y briófitos era inversamente proporcional a la cantidad de sulfato presente en el suelo y de dióxido de azufre en el aire, como producto de la contaminación de una planta procesadora de hierro.

Barkman (1) en Holanda, observó que los briófitos y principalmente líquenes epífitos son muy sensibles a la contaminación atmosférica, ya que se extinguen con más rapidez. Algunos de estos organismos restringen su área de distribución y otros reducen el tamaño de su población. También observó ese autor cambios en el tamaño del talo de algunas especies. La declinación de la flora epífita fue mayor en las grandes ciudades cerca de fábricas y carreteras donde se formaron verdaderos desiertos de epífitas. Estos desiertos están rodeados por una zona de lucha donde apenas se distinguen líquenes sobre los árboles, también afectados por la contaminación. Ese mismo autor observó que el fluoruro de hidrógeno y el monóxido de carbono también dañan líquenes, pues por lo general esos organismos están ausentes a lo largo de las carreteras.

Barkman, Ruse y Westhoff (2), usaron trasplantes de Parmelia physodes como indicador biológico en una región del Ruhr en Holanda, contaminada con dióxido de azufre y fluoruro de hidrógeno, Parmelia physodes murió algunas semanas después del trasplante cuando el talo se cubrió de manchas amarillas.

De Sloover y Le Blanc (10) hicieron un mapeo de contaminación atmosférica en Dendra, Bélgica, en base a la sensibilidad de los líquenes. Este mapeo permitió apreciar en forma cualitativa el daño de la contaminación atmosférica y sus efectos sobre las epífitas.

Le Blanc (17), estudió la influencia sobre la vegetación epífita de dos plantas procesadoras de metales en Canadá, una en Wawa y la otra en Sudbury. Ambas plantas emitían  $SO_2$  y alrededor de ellas los líquenes y musgos habían desaparecido formando desiertos de epífitas y en el área de Sudbury, en un radio de 10 k desde los fundidores, los árboles habían sido destruídos.

Gilbert (11): en New Castle Upon Tyne en el noreste de Inglaterra, estudió el deterioro de líquenes y briófitos en diferentes sustratos: techos de asbestos, tapias de arena y zacate. Ese autor observó que la contaminación ambiental produjo como primera manifestación la reducción del crecimiento de los líquenes y briófitos y luego una disminución de la exuberancia del crecimiento y diversidad de especies. Sus observaciones lo llevaron a denominar la campiña de carbón de New Castle Upon Tyne "desierto de epífitas" en un área de 500 millas cuadradas.

Además de líquenes y briófitos, otras plantas pueden servir como indicadores de contaminación atmosférica. Heggstad y Darley, (14) en California, Estados Unidos, emplearon plantas de frijol y tabaco para indicar presencia de contaminantes fotoquímicos en el aire. Por otra parte, Van Reay (38) en Holanda usó alfalfa, trébol y cebada para detectar dióxido de azufre, gladiolas y fresias para detectar fluoruro de hidrógeno.

Skye y Hallberg (36), estudiaron los cambios en la flora de líquenes sobre troncos de árboles alrededor de una refinadora en el sur de Suecia.

Daly (9) en Christchurch, Nueva Zelandia, comprobó que los musgos y líquenes empiezan a morir cuando la cantidad de dióxido de azufre alcanza una concentración de  $50 \text{ ug/m}^3$  en el aire,

Hawksworth y Rose (13) en Inglaterra, emplearon líquenes epífitos para hacer una escala cualitativa y estimar el dióxido de azufre presente en el aire.

Schofield y Hamilton (33), estudiaron la destrucción de los líquenes en una gran zona ártica debido a la contaminación por la acción del dióxido de azufre.

Hawksworth (12) en Inglaterra, estudió la sensibilidad de los líquenes al dióxido de azufre y su capacidad como indicadores de contaminación atmosférica.

Hill (15) en New Castle Upon Tyne, Inglaterra, hizo un estudio experimental del efecto de la contaminación atmosférica por sulfito sobre los líquenes.

Le Blanc, Comeau y Rao (19) observaron el daño en musgos y líquenes causado por el fluoruro de hidrógeno, por efecto de una fábrica de aluminio que contaminaba la atmósfera en Arvida, Quebec, Canadá.

Neah (24) estudió la sensibilidad de los líquenes al fluoruro de hidrógeno, cerca de una fábrica de zinc en Lehing Water Gap, Pennsylvania, Estados Unidos.

Leitz (22) hizo estudios sobre el crecimiento de líquenes y la contaminación del aire en Saarbruecken, Alemania y halló un desierto de líquenes en el área explorada, cuyos límites se correlacionaban con el contenido de dióxido de azufre en el aire.

Boertitz y Ranft (4) también en Alemania, estudiaron la sensibilidad de líquenes y musgos al dióxido de azufre y al fluoruro de hidrógeno.

Le Blanc y Rao (20) en Canadá, evaluaron el efecto de la contaminación y de la sequía en relación con la escasez de los líquenes y briófitos en varios ambientes urbanos. Esos autores concluyeron que era la contaminación y no la sequía la que influía más sobre el crecimiento de estos organismos

El estudio que Le Blanc y Rao (21) hicieron en Sudbury, Ontario, Canadá, sobre el efecto del dióxido de azufre en tresplan -  
tes de líquenes y musgos, demostró una correlación entre los sín -  
tomas de daño en éstos y la concentración de dióxido de azufre  
en el área de exposición.

Sundstrom y Hallgren (37) de la Universidad de Umea, Suecia,  
estudieron los efectos que los compuestos de azufre causan en  
las actividades fisiológicas de las plantas y consideraron a los  
líquenes como organismos indicadores por su extrema susceptibili -  
dad a los contaminantes con este elemento.

Seaward (34) en Scunthorpe y Heathlands, Inglaterra, estu -  
dió el contenido de azufre, cromo, hierro, plomo, manganeso y  
níquel en el talo de líquenes. Este autor observó que la diver -  
sidad y la abundancia de las varias especies de líquenes aumen -  
tó al alejarse de la fuente de contaminación.

Sahrakorpi (32) estudió los efectos de la contaminación at -  
mosférica sobre la distribución de líquenes corticales, en la ciu -  
dad de Tampere, Finlandia.

Nash (25) en Estados Unidos, estudió la sensibilidad de los  
líquenes al dióxido de azufre y encontró que hubo conversión dife -  
rencial de las clorofilas a feofitinas en ocho especies de líque -  
nes.

Richardson (31), en Estados Unidos hizo una monografía en la que discute la historia natural de los líquenes y sus diferentes usos, incluyendo su empleo como indicadores de contaminación ambiental.

Bystrek (8) afirmó que la principal causa de la desaparición de los líquenes en las ciudades y ambientes industriales son las sustancias químicas contenidas en la atmósfera especialmente el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y compuestos de hierro y cloro. Según ese autor, esas sustancias en estado gaseoso o disueltas en el rocío inhiben el crecimiento y desarrollo de los talos, la germinación de esporas y sorédios y causan alteración en las actividades enzimáticas, en la asimilación y respiración. Este estudio se realizó en bosques cercanos a grandes plantas industriales en la región de Pulawy y Tarnobrzeg, Polonia.

Brown (7), en Michigan, estudió la cantidad de sulfatos y cloruros en muestras de nieve así como la cobertura de los líquenes sobre árboles de arce. Ese autor encontró una correlación inversa entre la contaminación del aire y la cobertura de los líquenes.

Hill (16). en Inglaterra hizo estudios sobre algunos efectos del sulfito sobre la fotosíntesis de los líquenes y estableció que esta sustancia puede interrumpir esta función.

Mudd y Kozlowski (23) estudiaron la contaminación del aire por dióxido de azufre, ozono y óxidos de nitrógeno y discutieron las propiedades de éstos, su absorción, efecto de daño, efectos bioquímicos y síntomas producidos por cada contaminante sobre la ultraestructura de las plantas incluyendo los líquenes.

Oikkonen y Takala (27). en Süljarn, Finlandia, hallaron correlación entre el contenido de azufre en líquenes epífitos y el índice de daño de éstos.

Bishop et al. (3). usaron musgos y líquenes para estudiar la contaminación del aire en un transecto desde Manchester hasta North Wales, Inglaterra.

En América tropical se destacan los trabajos de Vareschi y Moreno (39). en Caracas, Venezuela. Esos autores dividieron la ciudad de Caracas en cuatro zonas, de acuerdo al grado de contaminación empleando líquenes como indicadores.

Como puede notarse en la anterior revisión de literatura, ha aumentado el uso de plantas, especialmente líquenes y briófitos como indicadores biológicos de contaminación atmosférica puesto que se ha demostrado que sirven para estimar el grado de contaminación existente. Sin embargo, aunque los resultados obtenidos con el empleo de estos no son absolutos, se puede decir que de la

estimación de sus condiciones físicas y fisiológicas, pueden obtenerse valiosas conclusiones acerca de la pureza del aire.

## MATERIALES Y METODOS

Este estudio se llevó a cabo en el área metropolitana de San José, Costa Rica, región cuya altura sobre el nivel del mar varía de 1.172 a 1.200 metros; la precipitación promedio anual es cercana a los 2.000 milímetros y la temperatura promedio de unos 21°C. La distribución de la lluvia muestra un marcado descenso en el período de fines de noviembre a principios de mayo. La humedad relativa es entre 80% y 82%. La dirección predominante del viento es noreste.

Con el fin de obtener un muestreo representativo de los líquenes de esta área, se localizó en diferentes barrios, árboles de las cuatro siguientes especies: Trichilia glabra L. "uruca", Ligustrum lucidum, Privet "trueno", Tabebuia rosea (L.) Hemsl. "roble de sabana", Erythrina poeppigiana, (Walp.) Cook "poró". Se escogió el tronco de estas especies para realizar el muestreo por ser las especies más abundantes en las calles de esta área urbana.

El muestreo se hizo en los meses de noviembre y diciembre de 1975.

En el cuadro 1 se indica los barrios en que se localizó cada una de las citadas especies.

CUADRO 1

Barríos en que se localizó cada una de las especies de árboles en que se hizo el muestreo de cobertura de líquenes del género Parmelia spp.

---

<u>Trichilia glabra</u>	Otoya, avenida 9, calles 9, 11 y 13.
<u>Trichilia glabra</u>	Acera Biblioteca Nacional, avenida 3, calles 15 y 17.
<u>Trichilia glabra</u>	Acera de la Estación del Ferrocarril al Atlántico, avenida 3, calles 17 y 19.
<u>Trichilia glabra</u>	Acera Fábrica Nacional de Licores, avenida 3, calles 11 y 15.
<u>Trichilia glabra</u>	San Bosco, calle 28, avenidas 4, 6 y 8.
<u>Trichilia glabra</u>	González Lahmann, calle 21, avenidas central 2 y 4.
<u>Ligustrum lucidum</u>	San Bosco, avenida 4, calles 28, 30 y 32.
<u>Ligustrum lucidum</u>	Avenida 1, calles 17 y 19.
<u>Erythrina poeppigiana</u>	Zona industrial de Pavas cerca de Ensambladora Ecasa.
<u>Tabebuia rosea</u>	Paseo Colón, avenida central, calles 28, 30 y 32.
<u>Tabebuia rosea</u>	Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", Universidad de Costa Rica, frente a los edificios de Bellas Artes y Educación.
<u>Tabebuia rosea</u>	Los Yoses avenida central, entre calles 14, 12 y 10.

---

En cada barrio se localizó una muestra de diez árboles comparables en edad, diámetro y condiciones sanitarias. En cada árbol se procedió a determinar el porcentaje de cobertura de los líquenes del género Parmelia spp, hallados en los cuatro puntos cardinales de cada árbol y a una altura de 1.50 m. Para este fin se empleó un cuadro de alambre de 0.10 m x 0.10 m subdividido en centímetros.

Además de este muestreo, se estableció el siguiente experimento de campo, con el propósito de determinar la intensidad de la contaminación ambiental en varias localidades del área metropolitana: se escogieron sitios en los que de antemano se previó diferentes grados de contaminación atmosférica (Cuadro 2). En cada uno de los sitios escogidos se colocaron trasplantes sanos de Parmelia spp. provenientes de una zona de baja contaminación en San Pedro de Montes de Oca. Esta parte de la investigación se hizo de abril a diciembre de 1976, tiempo durante el cual los trasplantes estuvieron en las respectivas estaciones.

El cuadro 2 muestra los sitios en que se colocaron los trasplantes sanos de Parmelia spp. provenientes de una zona de baja contaminación.

CUADRO 2

Sitios en que se colocaron los trasplantes de Parmelia spp.

LOCALIDAD	SUBSTRATO
Acera de la Fábrica Nacional de Licores, Avenida 3, calles 11 y 15.	<u>Trichilia glabra</u> L.
Acera de la Estación del Ferrocarril al Atlántico, avenida 3, calles 17 y 19.	<u>Trichilia glabra</u> L.
Barrio González Lahmann, calle 21, Avenida Central, 2 y 4.	<u>Trichilia glabra</u> L.
Barrio Otoya, Avenida 9, Calles 9 11 y 13.	<u>Trichilia glabra</u> L.
Estacionamiento Nº 8, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.	<u>Ligustrum lucidum</u> Privet
Barrio San Bosco, Calle 30, Avenidas 4 y 6.	<u>Ligustrum lucidum</u> Privet
Extractores del Laboratorio de Química General, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.	
Ventanas del edificio de Química, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica,	
Taller de la Fábrica Metalco en Colima de Tibás.	Pared y postes
Patio de Escuela Rafael Vargas Quirós en Colima de Tibás.	Poste <u>Eucaliptus deolupta</u> Blume <u>Casuarina equisetifolia</u> L.
Ensambladora Ecasa en Sector Industrial de Pavas	Postes
Area verde cerca de Facultad de Educación y Escuela de Biología, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica,	<u>Tabebuia rosea</u> (L.) Hemsl. <u>Ficus costarricana</u> . Liebm.

Estos trasplantes se hicieron empleando el método de Brodo (5), y consistieron en discos de líquenes de 0,03 m de diámetro colocados en tablas de 0,47 m de largo por 0,06 m de ancho y 0,025 m de espesor. En cada una de estas tablas se colocaron cuatro discos de líquenes. Cada tabla tenía un asa de alambre (Ver figura .), que sirvió para colocarlas en los lugares indicados. En las áreas verdes (aceras, calles, estacionamientos, patios, zonas verdes, etc), éstos se colocaron en árboles a cuatro metros de altura y en talleres y laboratorios se buscó un sitio adecuado a esa altura. Después de ocho meses de exposición se recogieron cuatro discos de cada estación y se llevaron al laboratorio para ser analizados según el método de Le Blanc y Rao (21).

Observación al estereoscopio:

Cada disco desprendido fue observado al estereoscopio en bajo y alto poder para apreciar su coloración y la cantidad de contaminantes sólidos. Estos últimos se determinaron según la siguiente escala y luego se obtuvo un promedio por estación.

- 0..... sin contaminantes
- 1..... 25% de contaminantes
- 2..... 50% de contaminantes
- 3..... 75% de contaminantes
- 4..... más de 75% de contaminantes

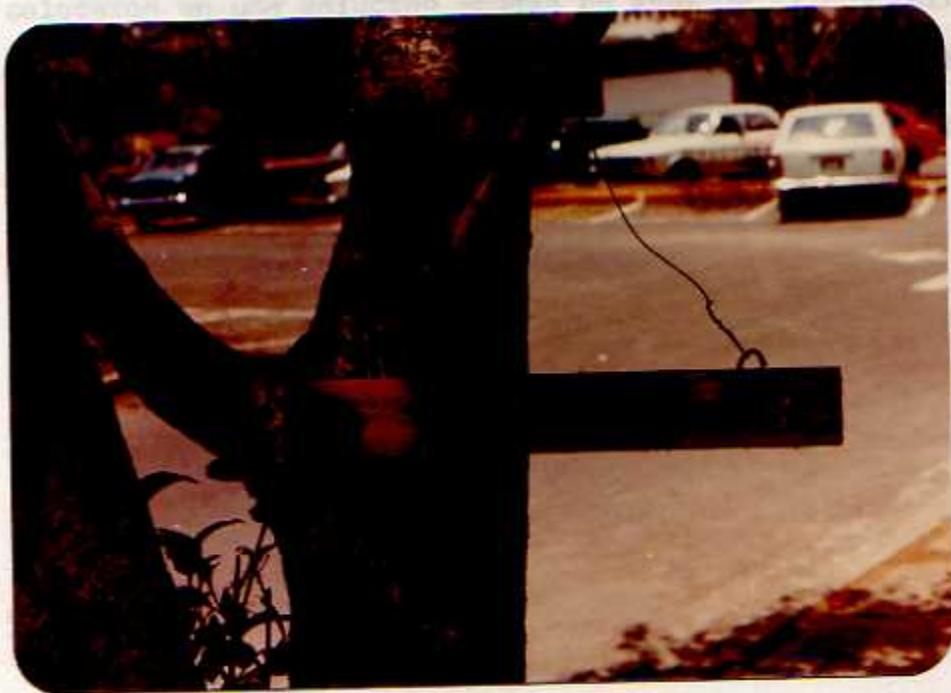


Figura 1. Muestra la colocación de los trasplantes de líquenes.

De cada disco se obtuvo una muestra de un centímetro cuadrado aproximadamente y se le determinó su peso. Luego las muestras se colocaron en una solución acuosa de acetona al 80% durante dos horas para remover posibles sustancias cerosas que se sabe se producen en los talos de los líquenes expuestos en zonas contaminadas Le Blanc y Rao (21).

Después de este tratamiento las muestras fueron pesadas de nuevo para determinar el porcentaje de pérdida de peso al remover los contaminantes. Estos porcentajes se analizaron estadísticamente por medio de la prueba de "t" de Student.

#### Observación al microscopio:

De cada disco se obtuvieron cinco porciones del talo del centro y de los lados. Estas porciones se maceraron en solución acuosa al 0.5% de rojo neutro el cual produce un color rojo claro en la periferia de las células vivientes que las diferencia de las células muertas, las cuales toman una coloración rojo oscura. Luego se determinaron los porcentajes de células vivas y de células muertas. Los porcentajes de células muertas se analizaron estadísticamente mediante la prueba de "t" de Student.

Con el fin de obtener información sobre los posibles contaminantes atmosféricos que pudieran influir sobre los líquenes del área metropolitana de San José, se realizó una serie de entrevistas

tas con las personas encargadas de varias de las plantas industriales localizadas en este área. (Cuadro 7).

y la información total o parcial de los mismos después del tratamiento.

CUADRO 7

Quantidad de contaminantes tóxicos, color original y coloración total o parcial de las muestras después del tratamiento

UBICACIÓN	CANTIDAD DE CONTAMINANTES TÓXICOS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO	COLOR ORIGINAL	COLORACIÓN DESPUÉS DEL TRATAMIENTO
Planta Industrial de la zona	3	Verde grisáceo	Verde claro, blanco, amarillo, negro.
Estación del Ferrocarril y Alcantarales	1	" "	Verde claro, verde grisáceo
Carril González Labaree	1	" "	Verde claro, verde grisáceo, negro, blanco.
Estación Diava	1	" "	Verde grisáceo, verde claro.
Estación de la Universidad de la zona	1	" "	Verde grisáceo, verde claro.
Carril del Cuero	1	" "	Verde grisáceo
Estación de la Universidad de la zona	1	" "	Blanco, negro
Estación de la Universidad de la zona	1	" "	Verde grisáceo, verde claro.

## RESULTADOS

El cuadro 3 muestra la cantidad de contaminantes sólidos en los líquenes trasplantados, el color original de los trasplantes y la coloración total o parcial de los mismos después del tratamiento. (Ver figuras 2 y 3).

CUADRO 3

Cantidad de contaminantes sólidos, color original y coloración total o parcial de los trasplantes después del tratamiento

LOCALIDAD	CONTAMINANTES SÓLIDOS SEGUN ESCALA	COLOR ORIGINAL	COLORACION TOTAL O PARCIAL DE LOS TRASPLANTES DESPUES DEL TRATAMIENTO
Fábrica Nacional de Lícores	3	verde grisáceo	Verde claro, blanco, amarillo, pardo.
Estación del Ferrocarril al Atlántico	1	" " "	Verde claro, verde grisáceo
Barrio González Lahmann	1	" "	Verde claro, verde grisáceo, pardo, blanco.
Barrio Otoya	1	" "	Verde grisáceo, verde claro.
Estacionamiento NO 8 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.	0	" "	Verde grisáceo, verde claro.
Barrio San Bosco	0	" "	Verde grisáceo
Extractores laboratorio de Química General U. de C.R.	4	" "	Blanco, pardo
Ventanas del edificio de Química. U. de C.R.	0	" "	Verde grisáceo, verde claro.

Continuación cuadro 3

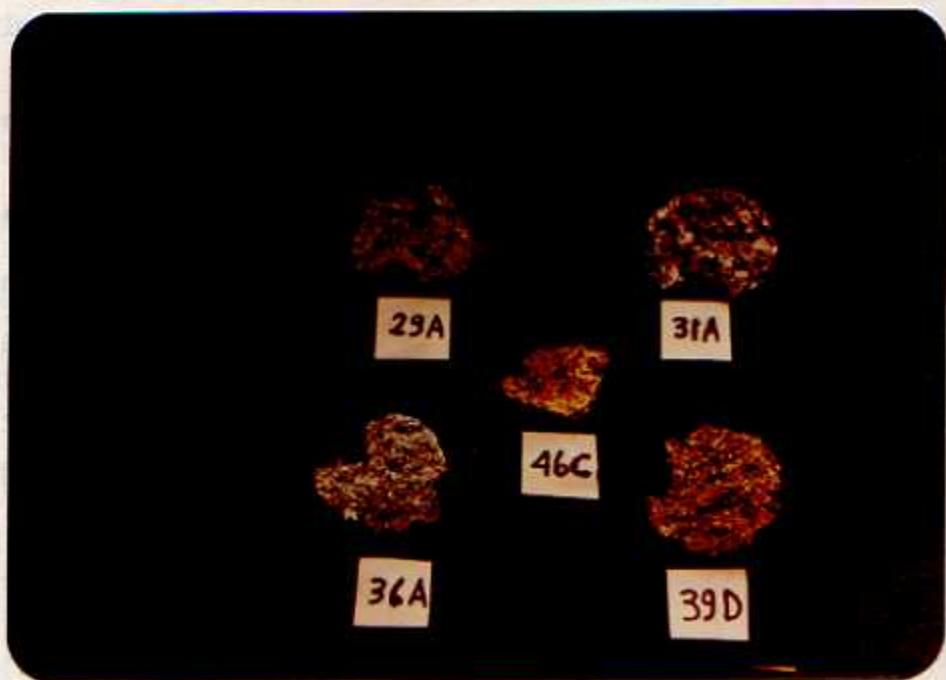
LOCALIDAD	CONTAMINANTES SOLIDOS SEGUN ESCALA	COLOR ORIGINAL	COLORACION TOTAL O PARCIAL DE LOS TRASPLANTES DESPUES DEL TRATAMIENTO
Metalco	1	Verde grisáceo	Blanco, pardo, verde claro.
Escuela de Colima de Tibás	3	Verde grisáceo	Blanco, verde claro y pardo.
Ecasa	1	Verde Grisáceo	Verde claro, amarillo pardo.
Area verde cerca de Facultad de Educación y Escuela de Biología	0	Verde grisáceo	Verde grisáceo

En el cuadro 4 se detallan los porcentajes promedio de pérdida de peso de los trasplantes después de haber sido tratados con acetona, así como los porcentajes promedio de células muertas en estos trasplantes.

CUADRO 4

Pérdida de peso de los trasplantes de líquenes y porcentaje de células muertas en varias localidades de la Ciudad de San José y alrededores

LOCALIDAD	PORCENTAJE PROMEDIO DE PERDIDA DE PESO EN 10 mg.	PORCENTAJE PROMEDIO DE CELULAS MUERTAS
Fábrica Nacional de Licores	4,47	61,19
Estación del Ferrocarril Atlántico	1,08	11,72
Barrio González Lahmann	1,79	18,75
Barrio Otoya	1,61	16,00
Parqueo Nº 8 Química, Universidad de Costa Rica	1,36	9,06
San Bosco	1,37	16,00
Extractores del Laboratorio de Química	6,68	100,00
Ventanas Edificio de Química, U. de C.R.	3,20	15,25
Fábrica Metalco	6,82	81,00
Escuela de Colima de Tibás.	7,36	76,08
Ensambladora Ecasa	4,45	91,20
Áreas verdes cerca de Facultad de Educación y Escuela de Biología, U. de C.R.	1,04	7,67



Figuras 2 y 3. Coloración de algunos trasplantes después del período de exposición.

Los porcentajes del cuadro 4 fueron analizados estadísticamente mediante la prueba de "t" de Student. Con este fin se emplearon como testigos los trasplantes colocados en el área verde cerca de la Facultad de Educación y de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Los resultados obtenidos de este análisis estadístico se pueden observar en los cuadros 5 y 6.

CUADRO 5

Análisis mediante la prueba de "t" de Student para los porcentajes de pérdida de peso de los trasplantes

LOCALIDAD	VALOR DE t DE STUDENT	NO SIGNIFICATIVA	SIGNIFICATIVA	ALTAMENTE SIGNIFICATIVA
Fábrica Nacional de Licores	3,39		x	
Estación Ferrocarril del Atlántico	0,07	x		
Barrio González Lahmann	1,03	x		
Barrio Otoya	0,99	x		
Estacionamiento NO 8 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, U. de C.R.	0,42	x		
Barrio San Bnaco	0,56	x		
Extractores del Laboratorio de Química, U. de C.R.	5,88		x	x
Ventanas edificio de Química	1,84	x		
Fábrica Metalco	3,80		x	
Escuela de Colima de Tibás	6,27		x	x
Ensambladora Ecasa	3,88		x	

CUADRO 6

Análisis de los porcentajes de células muertas de los trasplantes de líquenes en las varias localidades mediante prueba de "t" de Student

LOCALIDAD	VALOR DE LA t DE STUDENT	NO SIGNIFICATIVA	SIGNIFICATIVA	ALTAMENTE SIGNIFICATIVA
Fábrica Nacional de Lícoores	9,28		x	x
Estación Ferrocarril Atlántico	1,33	x		
Barrio González Lahmann	3,19		x	
Barrio Otoya	2,89	x		
Estacionamiento Nº 8 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio	0,33	x		
Barrio San Bosco	2,60	x		
Extractores Edificio Química	33,82		x	x
Ventanas del Edificio de Química, U. de C.R.	2,13	x		
Fábrica Metalco	13,24		x	x
Escuela de Colima de Tibás	9,64		x	x
Fábrica Ecasa	9,06		x	x

También se calculó la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación entre los porcentajes de pérdida de peso y el porcentaje de células muertas de los trasplantes (Figura 4).

La figura 4 muestra que existe una correlación bastante estrecha entre la cantidad de contaminantes y el número de células muertas en los trasplantes de líquenes.

El cuadro 7 resume la información obtenida sobre los diversos contaminantes que se presentan en la atmósfera de las localidades estudiadas en el área de San José y alrededores.

CUADRO 7

Contaminantes atmosféricos en varias localidades de la Ciudad de San José y alrededores

LOCALIDAD	CONTAMINANTES	INFORMANTE
Fábrica Nacional de Licoreas	Hollín Vapores de la caldera: $SO_2, CO, CO_2, H_2O$  Vapores de la fermentación: $C_2H_5OH$ y $H_2O$	Lic. Guillermo Hidalgo Jefe Producción de alcohol.
Fábrica Metalco	Vapores de: $Zn, HCl, NH_4Cl$ en humo $H_2CrO_4, SO_2, CO$	Señor Antonio Molina Ing. José Avila
Ensambladora Ecasa	Vapores de: $H_3PO_4, H_2CrO_4, SO_2$	Ing. Pedro Cortéz

Continuación cuadro 7

LOCALIDAD	CONTAMINANTES	INFORMANTE
Laboratorio de Química de la U. de C.R.	Vapores de: SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , HCl, Cl <sub>2</sub> , NO y CO.	Lic. Niko Hilje
Laminadora Costarricense, S.A.	Vapores de: SO <sub>2</sub>	Sr. Carlos Rojas
Fábrica Plywood	Gases de la combustión de la leña	Sr. Eduardo Cuadre
Plantas Térmicas del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad en Colima de Tibás)	Vapores de: SO <sub>2</sub> , CO y CO <sub>2</sub>	Ing. Rodolfo Méndez

En el cuadro 8 se presenta la información obtenida sobre el porcentaje promedio de cobertura de Parmelia spp, en árboles de Trichilia glabra, Tabebuia rosea, Liqustrum lucidum y Erythrina poeppigiana en varias localidades del área metropolitana de San José

Figura 4. Ecuación de regresión y coeficiente de correlación entre los valores porcentuales de pérdida de peso y de células muertas.

Por cada 1% de pérdida de peso hay 11,10% de aumento en células muertas.

datos del Área antropológica de San José

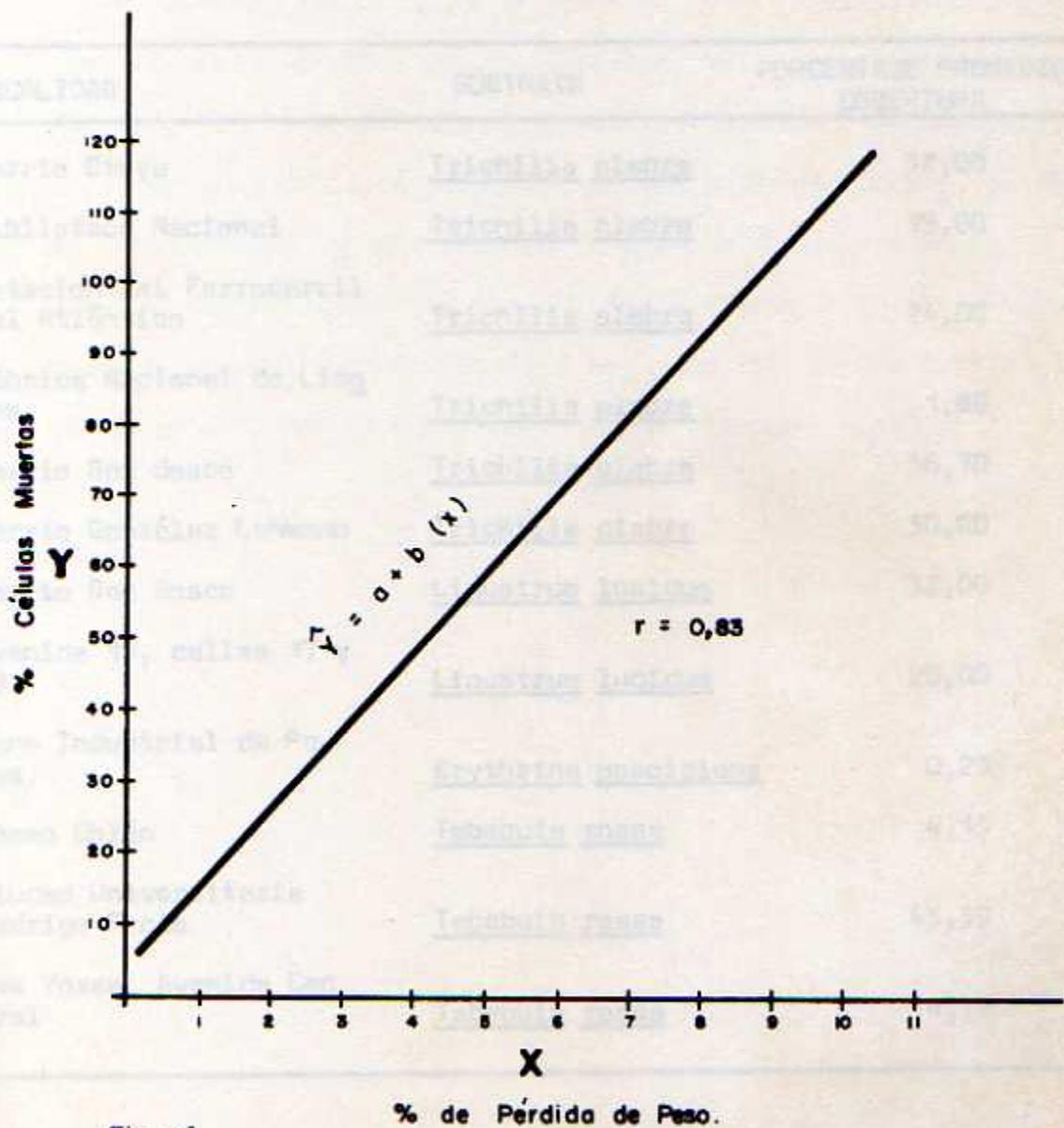


Fig.- 4

% de Pérdida de Peso.

CUADRO 8

Cobertura promedio de Parmelia spp. en varias localidades del área metropolitana de San José

LOCALIDAD	SUBSTRATO	PORCENTAJE PROMEDIO DE COBERTURA
Barrio Otoya	<u>Trichilia glabra</u>	32,00
Biblioteca Nacional	<u>Trichilia glabra</u>	19,00
Estacion del Ferrocarril del Atlántico	<u>Trichilia glabra</u>	24,00
d Fábrica Nacional de Licorres	<u>Trichilia glabra</u>	1,89
Barrio San Bosco	<u>Trichilia glabra</u>	36,70
Barrio González Lahmann	<u>Trichilia glabra</u>	30,00
Barrio San Bosco	<u>Liqustrum lucidum</u>	32,00
Avenida 10, calles 17 y 19.	<u>Liqustrum lucidum</u>	20,00
Zona Industrial de Pavas	<u>Erythrina poeppigiana</u>	0,25
Paseo Colón	<u>Tabebuia rosea</u>	4,15
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio	<u>Tabebuia rosea</u>	43,39
Los Yoses, Avenida Central	<u>Tabebuia rosea</u>	4,77

En las figuras 5, 6 y 7 se muestra la distribución que las localidades analizadas en este estudio, tienen en el área metropolitana de San José. Los mapas de las figuras 2 y 3 se prepararon con los análisis estadísticos mediante las pruebas de "t" de Student para los porcentajes de pérdida de peso y células muertas respectivamente. El mapa de la figura 4 se basa en los valores de cobertura de Parmelia spp. en los varios sustratos arborícolas que se emplearon en este trabajo.

Figura 5. Mapa con las estaciones de la Ciudad de San José, Pavas y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", preparado según las pruebas de "t" de Student para los porcentajes de pérdida de peso.



Figura 6. Mapa con las estaciones de San José, Pavas y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", preparado con las pruebas de "t" de Student para los porcentajes de células muertas.

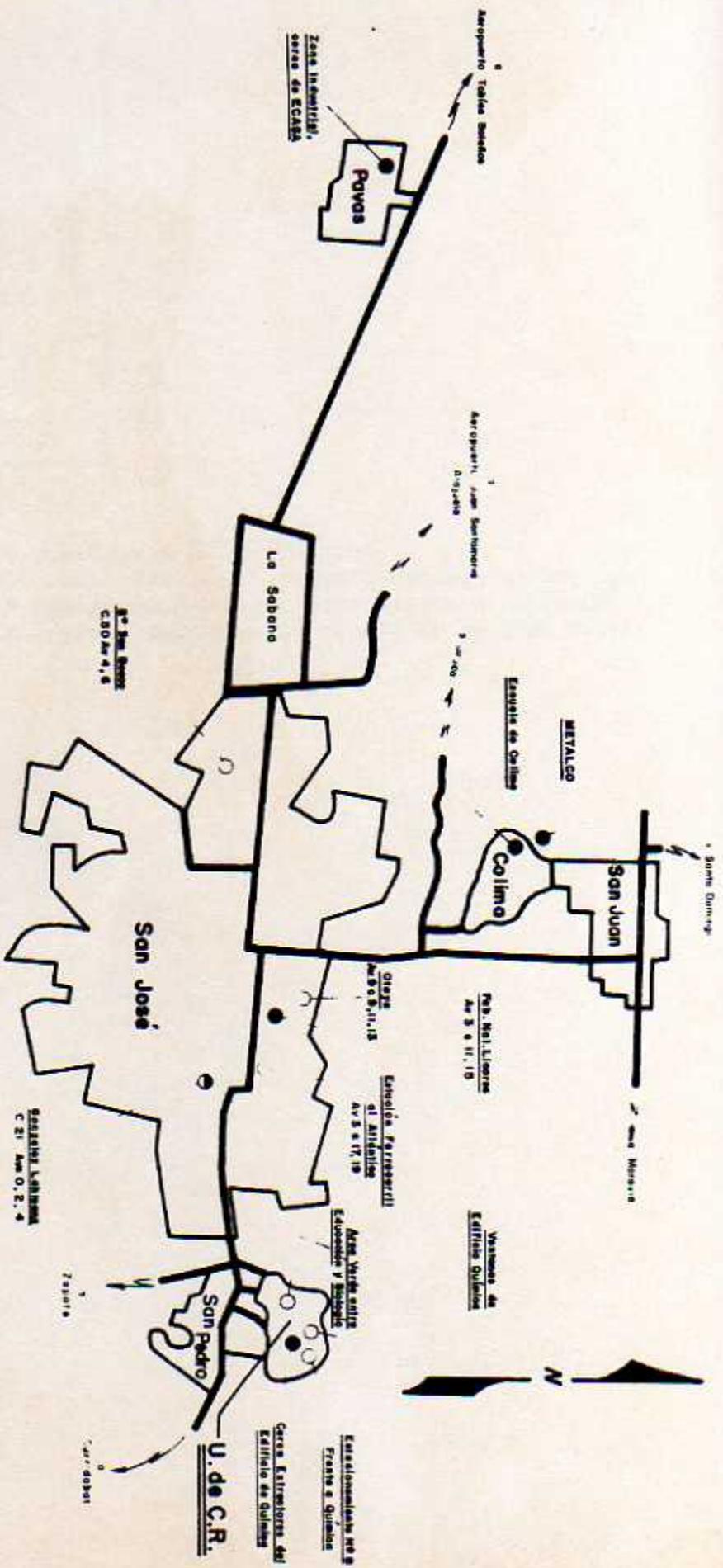


Figura — 6

**SIMBOLOGIA**

- Altamente Significativo
- Significativo
- No Significativo
- Limite de CIUDADES
- Carreteras Principales
- Aven-c Avenidas y Calles

Objeto : N Ocampo Ch  
Fuente : Hoja Cartografica — ABRA — Nº 3345 I  
Escala : 1 : 50,000  
1977

Figura 7. Mapa con las estaciones de la Ciudad de San José, Pavae, Los Yoses y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", según los porcentajes de cobertura de líquenes del género Parmelia spp.



## DISCUSION

El dióxido de azufre es uno de los contaminantes químicos que afectan más a los líquenes, a tal punto que a veces causa su total extinción (1,4,8,9,11,12,13,18,19,21,22,33,37,39).

Además del dióxido de azufre, el azufre y otros compuestos de este elemento también afectan a los líquenes (16,27,34,37).

Le Blanc (17) y Le Blanc y Rao (21), observaron que los líquenes expuestos en una atmósfera contaminada con dióxido de azufre se recubrieron con sustancias cerosas hidrofobas, solubles en acetona. Estas sustancias aumentaron la biomasa de los líquenes en las zonas de alta contaminación atmosférica. En ambientes menos contaminados la biomasa disminuyó lo cual se debió a que no se formaron sustancias hidrofobas ni se acumuló azufre en los talos. Además esas sustancias hidrofobas probablemente trastornan el equilibrio de humedad de los líquenes y causan la contracción de los talos (21).

En el presente estudio se observó que los porcentajes de pérdida de peso de los trasplantes de líquenes tratados con acetona fueron mayores en las estaciones donde se desprende dióxido de azufre (Cuadro 4). Así, en los trasplantes colocados en Colima de Tibás, en el patio de la Escuela Rafael Vargas Quirós, se obtuvo un porcentaje promedio de pérdida de peso de 7,36% (Cuadro 4) que

fue el mayor de todos. Además la prueba de "t" de Student para pérdida de peso fue altamente significativa (Cuadro 5). Esta estación se encuentra en las cercanías de un pequeño centro industrial formado por la Laminadora Costarricense S.A., la Fábrica Metalco y las plantas térmicas del Instituto Costarricense de Electricidad. En estas industrias se usa el combustible "bunker" de cuya combustión se desprende dióxido de azufre. Se considera muy importante este resultado, ya que aquí los trasplantes estaban en campo abierto, lo que evidencia el grado de contaminación atmosférica en esa zona. Es interesante anotar que la Directora de la Escuela Rafael Vargas Quirós de Colima de Tibás, le comunicó a la autora que los niños de dicho centro educativo padecen de muchas afecciones en los ojos. Esto se podría deber a la contaminación atmosférica, como lo sugieren los resultados obtenidos con los trasplantes de líquenes en esta localidad.

Los trasplantes de líquenes colocados en los extractores del laboratorio de Química General de la Universidad de Costa Rica, muestran un porcentaje promedio de pérdida de peso de 6,68% y la prueba de "t" de Student fue altamente significativa. Estos resultados sugieren la presencia de un microambiente altamente contaminado, que sin embargo tiene una extensión muy limitada ya que en las ventanas de ese edificio los trasplantes sufrieron mucho menos.

Los trasplantes colocados en el interior de la planta de Metalco, mostraron un porcentaje promedio de pérdida de peso de 6,82%, y una prueba de "t" de Student significativa. Aunque este es un ambiente enclaustrado, los resultados obtenidos aquí nos ofrecen un buen índice del grado de contaminación del área ya que son bastante similares a los observados en la Escuela Rafael Vargas Quirós, situada en la vecindad de esta planta. El Cuadro 7 muestra que de esa planta se desprenden vapores que pueden ser tóxicos a los líquenes y que son:  $H_2CrO_4$ , Zn, HCl,  $NH_4Cl$ ,  $SO_2$ .

En la Autoensambladora Ecasa el porcentaje promedio de pérdida de peso de los trasplantes fue de 4,45% y la prueba de "t" de Student resultó significativa. En esa planta también se producen vapores de  $H_2CrO_4$  y  $SO_2$ .

Por otra parte, en la Fábrica Nacional de Licores, el porcentaje de pérdida promedio de peso de los trasplantes de líquenes fue 4,47%, (Cuadro 4), y la prueba de t de Student fue significativa (Cuadro 5). Este resultado es muy interesante ya que aquí las muestras estaban en un ambiente abierto, lo que nos da un buen índice de los contaminantes en el aire de esa zona.

En las otras localidades donde se colocaron trasplantes de líquenes los porcentajes promedio de pérdida de peso son bastante ba

jos (Cuadro 4), y sus pruebas de "t" de Student no fueron significativas (Cuadro 5). Todos estos sitios tienen la influencia de los escapes de los motores de diesel y gasolina de los vehículos automotores que circulan en sus alrededores, pero no de fábricas pues son barrios residenciales o universitarios.

Como las muestras de todas las estaciones fueron analizadas en la misma forma, se puede decir que los mayores porcentajes promedio de pérdida de peso se debieron a la remoción de sustancias depositadas en el talo de las muestras, lo cual está de acuerdo con los resultados obtenidos por Le Blanc y Rao (21) y demuestran que estas pérdidas de peso, se relacionan con los niveles de contaminación atmosférica.

Daly (9) consideró que los líquenes y briófitos son las plantas macroscópicas más sensibles a la contaminación gaseosa del aire. Según Barkman (1), entre otras causas, la alta sensibilidad de los briófitos y líquenes a los contaminantes atmosféricos se debe a que ellos carecen de cutícula impermeable y por lo tanto el intercambio gaseoso tiene lugar en su superficie entera. Además los briófitos y los líquenes absorben el agua de la lluvia directamente con toda su superficie y en esta agua se han concentrado la mayoría de los gases tóxicos que contaminan la atmósfera pues esos gases son muy solubles. Las plantas superiores en cambio, absorben el agua después de que ésta ha sido filtrada en el

suelo donde pierde muchas de sus propiedades tóxicas.

Gilbert (11), encontró que las especies de briófitos y líquenes más cercanos a un campo contaminado con  $SO_2$ , acumularon mayor cantidad de azufre sobre y dentro del talo que los que crecieron más lejos de esa área.

En el cuadro 4 se puede observar el porcentaje promedio de células muertas de los trasplantes de líquenes en las diferentes localidades.

Las muestras colocadas en la Escuela Rafael Vergas Quirós en Colima de Tibás, muestran un porcentaje promedio de 76,08 que según la prueba de "t" fue altamente significativa (Cuadro 6). Como se indicó anteriormente esta Escuela está situada en un centro industrial que emplea bunker en cuya combustión se desprende dióxido de azufre que como es sabido, causa la muerte de los líquenes.

En los trasplantes localizados en la Fábrica Nacional de Licores, el porcentaje promedio de células muertas fue de 61,19% (Cuadro 4), y la prueba de "t" de Student fue altamente significativa.

En este caso se nota también el efecto de la contaminación atmosférica sobre los líquenes en un ambiente abierto.

Los trasplantes colocados en las plantas industriales de Metalco en Colima de Tibás y la Ensambladora Ecasa en la Uruca, exhiben también un valor muy alto de mortalidad de células (Cuadro 4), y las pruebas de "t" de Student fueron altamente significativas (Cuadro 6).

Un hecho interesante es que en el barrio González Lehmann el porcentaje de mortalidad de células fue de 18,75% (Cuadro 4). Este resultado es una señal de alerta ya que esta estación no está rodeada de ningún complejo industrial pero sí es una zona con bagante tránsito de automotores de cuyos escapes se desprende monóxido de carbono y dióxido de azufre como producto de la combustión del diesel y de la gasolina. Aunque no existe aún suficiente conocimiento acerca del efecto del monóxido de carbono sobre los líquenes, se debe mencionar que Barkman (1) y Barkman, Rose y Westhoff (2), han hecho notar que estos organismos no existen en las cercanías de las carreteras. Esto sugiere que en alguna forma los afectan los escapes de los motores.

El mayor porcentaje de células muertas observadas en este estudio ocurrió en las localidades contaminadas con dióxido de azufre (Cuadros 4 y 7).

Aunque en las industrias en que se colocó trasplantes no se dispone de datos cuantitativos acerca de los contaminantes que li-

beran, se debe tener presente que Le Blanc y Rao (21) indican que una concentración de 0,154 ppm de dióxido de azufre junto con fumigaciones de más de diecinueve días es letal para el simbiote alga en el talo del líquen y que la clorofila es extremadamente sensible a estas concentraciones.

Rao y Le Blanc (18) comprobaron que la clorofila a es degradada a feofitina a por soluciones de dióxido de azufre.

Por otra parte, se ha demostrado que el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, compuestos de hierro y cloro gaseosos disueltos en el rocío o vapor de agua en el aire, inhiben el crecimiento y desarrollo de los talos de los líquenes y causan alteraciones en la actividad enzimática y en la asimilación y respiración Bystrek (8).

Parece además que la contaminación ambiental actúa primeramente sobre el delicado equilibrio simbiótico entre los dos componentes, los cuales parecen ser más sensibles cuando crecen juntos que cuando lo hacen separadamente, Barkman, Rose y Wasthoff (2).

En la figura 4, se observa que por cada 1% de aumento en la pérdida de peso se produce un aumento de 11,10% en células muertas y que además el coeficiente de correlación entre ambas variables es

de 0,83, demostrando con esto una correlación positiva bastante estrecha entre los porcentajes de pérdida de peso de los trasplantes tratados con acetona y el porcentaje de células muertas.

Una apreciación visible del porcentaje promedio de contaminantes sólidos depositados en la superficie de los trasplantes, se observa en el Cuadro 3. La mayor cantidad de contaminantes ocurrió en las muestras colocadas junto a los extractores del laboratorio de Química General en la Universidad de Costa Rica, en donde se halló gran cantidad de hollín.

Los trasplantes localizados en las cercanías de la Fábrica Nacional de Licores, muestran también un alto grado de contaminantes sólidos como hollín y polvo. Se debe recordar que los trasplantes en esta estación recibieron la contaminación procedente de dicha fábrica y de los automotores que circulan por la avenida tercera.

En Colima de Tibás la cantidad de contaminantes sólidos es bastante parecida a la anterior.

En los trasplantes colocados en los barrios González Lehmann y Otoyá y en las cercanías de la Estación del Ferrocarril al Atlántico, la cantidad de contaminantes sólidos fue de uno según la escala. Parece además que las emanaciones de gases de las máquinas

del Ferrocarril al Atlántico, no tienen mucho efecto sobre los líquenes en esa área.

En las plantas de Metalco y Ecasa, la cantidad de contaminantes sólidos fue de 1 según la escala.

En el estacionamiento 8 de la Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", Barrio San Bosco, en las ventanas del edificio de Química de la Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio" y en los trasplantes en la vecindad de la Facultad de Educación y Escuela de Biología, no se observó contaminantes sólidos.

En el mismo Cuadro 3, se presenta una apreciación de la coloración de los trasplantes después del tratamiento. Los cambios de color más notables ocurrieron en los trasplantes que se colocaron en los extractores del laboratorio de Química General en la Universidad de Costa Rica, pues el verde grisáceo cambió a blanco y pardo, y en la fábrica Metalco donde el verde grisáceo cambió a blanco, verde claro y pardo. Es interesante mencionar que en la Fábrica Nacional de Licores, en los diferentes trasplantes, el color original cambió a blanco, verde claro, amarillo y pardo; los trasplantes de la estación de la Escuela Rafael Vargas Quirós de Colima de Tibés, mostraron colores blanco, verde claro,

y pardo y los del Barrio González Lahmann mostraron los colores blanco, verde claro, verde grisáceo y pardo. Originalmente todos los trasplantes eran color verde grisáceo. Debe tenerse presente que Barkman, Rose y Westhoff (2), consideran que un efecto secundario del dióxido de azufre es blanquear todos los pigmentos por un proceso de reducción. En el presente estudio, los trasplantes empleados como testigo conservaron su color verde grisáceo.

Le Blanc y Rao (21), encontraron carotenoides y feofitinas a mediante separación cromatográfica de extractos de clorofila, de líquenes expuestos a contaminación por dióxido de azufre. Nash (25), observó una conversión diferencial de las clorofilas en feofitinas en líquenes fumigados con dióxido de azufre.

Varios autores han demostrado que como consecuencia de la contaminación atmosférica se produce una declinación y posteriormente la desaparición de los briófitos y líquenes en una localidad originando los llamados "desiertos de epífitas". Brodo (6), encontró que el ambiente muy contaminado de la Ciudad de New York actúa a grandes distancias y produce una disminución de la diversidad y cobertura de los líquenes en las cercanías de esta urbe.

Los desiertos de líquenes y briófitos se pueden hallar fuera de las ciudades aún en bosques cercanos a fábricas como en Suecia, Skye (35). También pueden ocurrir en bosques húmedos cerca de las ciudades como indican Bortenschlager y Schmid, citados por Barkman (1); este autor dice que los desiertos en las ciudades son más grandes en clima húmedo (Holanda, Inglaterra), que en climas más continentales como el este de Suecia, Polonia, Hungría y Austria. También Barkman (1), cita a Syrratt, Le Blanc y Coker quienes en forma independiente encontraron que los briófitos y líquenes son más sensibles al  $SO_2$  en estado húmedo que en condición seca.

Leitz (22) en Alemania, halló una correlación entre las fronteras del desierto de líquenes y la cantidad de dióxido de azufre contaminando el aire (desde 0,06 hasta 0,09  $mg/m^3$ ).

Barkman (1) considera que los desiertos de líquenes aumentan progresivamente con el tamaño de la población.

Barkman, Rose y Westhoff (2), definen un desierto de epífitas como un área que puede tener algas epífitas y algunos briófitos epífitos pero que carece de todos los líquenes epífitos excepto Lecanora conizaeoides.

Vereachi y Moreno (39), dividieron la ciudad de Caracas en cuatro zonas: la zona uno con abundancia de especies y éstas con talos sanos. La zona dos con una disminución de especies y aumento de las especies crustáceas. La zona tres con líquenes muy reducidos y dañados por contaminación. La zona cuatro carece de líquenes normalmente desarrollados; a veces se hallan manchas de protalos que no forman talos completos.

Sahraikorpi (32), distingue tres zonas en una ciudad industrial contaminada; un desierto con casi ausencia de líquenes foliosos y fruticosos, pero en troncos de árboles hay líquenes crustáceos. Una zona transicional con líquenes en condiciones pobres, y más afuera una zona normal.

Pisut y Jelinkova (28), distinguen también tres zonas en la vecindad de una gran fábrica de aluminio en Slovakia: un desierto de líquenes, una zona transitoria y una zona bien desarrollada.

El muestreo de cobertura de líquenes del género Parmelia spp. en varias localidades (Cuadro 8), muestra que en la Ciudad de San José y alrededores, se pueden distinguir tentativamente tres zonas con base en el porcentaje promedio de cobertura. Una zona que se puede considerar normal, en las estaciones de los barrios Otoya, San Bosco y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", en las

que el porcentaje promedio de cobertura fue superior a 31.

Una zona intermedia que puede corresponder con lo que (Sahra korpi, 32 y Pisut y Jelinkova, 28) llamen zona de transición, y con lo que Barkman (1), llama zona de lucha. Esta se encuentra en las estaciones del Ferrocarril al Atlántico y Barrio González Lahmann donde los porcentajes promedio de cobertura están comprendidos entre 21 y 30 y en las estaciones de la Biblioteca Nacional y Avenida Primera, entre Calles 17 y 19 con porcentajes promedio comprendidos entre 11 y 20.

Un desierto de líquenes en las estaciones de la Fábrica Nacional de Licores, Paseo Colón, Los Yoses. Avenida Central y sector industrial de Pavas cerca de Ensambladora Ecasa, donde los porcentajes promedio de cobertura fueron menores de 10.

Se debe recordar que la estación de la Fábrica Nacional de Licores, está contaminada con el dióxido de azufre que sale por las chimeneas de dicha fábrica y por otros contaminantes como monóxido de carbono, vapores de alcohol etílico y hollín.

En el caso de las estaciones del Paseo Colón y los Yoses, Avenida Central, no se tiene influencia de fábricas cercanas, pero ambos sitios están en dos de las vías de mayor tránsito de

automotores que son el Paseo Colón y la carretera que hasta hace muy poco fue la única que unió a la Ciudad de San José con la Provincia de Cartago, y como indica Barkman (1), los líquenes son escasos en las cercanías de las carreteras con intenso tráfico motorizado porque tal vez son sensibles al monóxido de carbono. Barkman (1), Barkman, Rose y Westhoff (2), indican que Parmelia furfuracea es indicadora de los escapes de los motores y llega a desaparecer de las carreteras con intenso tráfico motorizado.

## CONCLUSIONES

1.- Este estudio muestra que en la Ciudad de San José y alrededores no se han alcanzado aún altos niveles de contaminación atmosférica. Sin embargo se puede notar ya efectos de ésta, principalmente en el pequeño centro industrial de Colima de Tibás, en la Fábrica Nacional de Licores, Paseo Colón y en los Yoses Avenida Central.

2.- Tanto la cantidad de contaminantes depositados sobre el tallo de los trasplantes de líquenes, como la mortalidad celular de estos organismos fue mayor en aquellos sitios en donde existe una atmósfera contaminada con dióxido de azufre. También se observó esta misma situación aunque en menor grado en los sitios que tienen mucha circulación de vehículos automotores. Esto sugiere que en las condiciones de Costa Rica, es posible utilizar los trasplantes de líquenes como elementos indicadores de la contaminación ambiental.

3.- El muestreo de cobertura de líquenes del género Parmelia spp. en el tronco de varias especies de árboles permite distinguir en el área de estudio las siguientes zonas:

- a) Una zona normal en los barrios San Bosco, Otoya y Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio".

- b) Una zona de transición o de lucha en las estaciones del Ferrocarril al Atlántico, Barrio González Lahmann, Biblioteca Nacional y Avenida 1 entre Calles 17 y 19.
- c) Un desierto de líquenes en las estaciones de la Fábrica Nacional de Licores, Paseo Colón, Los Yoses Avenida Central y sector industrial de Pavas cerca de Ensambladora Ecasa.

El grado de contaminación atmosférica que ha demostrado este estudio, sugiere la necesidad de que los organismos competentes tomen las medidas necesarias para que este problema no alcance niveles peligrosos para la salud.

## RESUMEN

Esta investigación es un trabajo preliminar en el que se relaciona el grado de contaminación atmosférica con la cobertura y estructura de los líquenes en la Ciudad de San José y alrededores.

Se colocó un conjunto de trasplantes de líquenes sanos en diferentes sitios de la Ciudad de San José y sus alrededores así como en el interior de algunas plantas industriales y extractores del laboratorio de Química General de la Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio".

Después de un período de ocho meses, a los trasplantes se les determinó el porcentaje de pérdida de peso, con base en muestras de aproximadamente un centímetro, tratadas con acetona como solvente. También se calculó el porcentaje de células muertas mediante preparaciones teñidas con rojo neutro. Tanto la pérdida de peso de los trasplantes como la muerte de las células fueron mayores en los sitios donde hay contaminación con dióxido de azufre.

Se observó que existe una correlación estrecha y positiva entre la pérdida de peso de los trasplantes y el porcentaje de células muertas.

En varios sectores de la Ciudad de San José y alrededores, se determinó la cobertura de los líquenes del género Parmelia spp., a 1,50 m de altura en el tronco de cuatro especies de árboles: Trichilia glabra; uruce; Liqustrum lucidum, Truano, Tabebuia rosea, roble de sabana; Erythrina poeppigiana, poró. Con base en estas observaciones se dividió el área de estudio en una zona normal, una zona de transición o de lucha y un desierto de líquenes.

Los resultados de este trabajo muestran que en el área de la Ciudad de San José y alrededores, existe ya cierto grado de contaminación atmosférica por lo que es conveniente tomar medidas que eviten que esta alcance mayores niveles.

1. Brown, A.J. 1974. The effects of air pollution on lichens. *Journal of Ecology*, 62: 1-15.
2. Brown, A.J. 1975. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 56: 47-55.
3. Brown, A.J. 1976. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 57: 1-15.
4. Brown, A.J. 1977. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 58: 1-15.
5. Brown, A.J. 1978. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 59: 1-15.
6. Brown, A.J. 1979. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 60: 1-15.
7. Brown, A.J. 1980. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 61: 1-15.
8. Brown, A.J. 1981. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 62: 1-15.
9. Brown, A.J. 1982. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 63: 1-15.
10. Brown, A.J. 1983. Lichen growth and vitality: a study on Long Island, New York. *Ecology*, 64: 1-15.

### BIBLIOGRAFIA

1. Barkman, J.J. The influence of air pollution on bryophytes and lichens in "Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Wageningen, 1968".  
Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1969. pp. 197-209.
2. Barkman, J.J. F. Rose & V. Westhoff. 1968. The effect of air pollution on non vascular plants. In "Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Wageningen 1968".  
Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1969. pp 237-241.
3. Bishop, J.A., L.M. Cook, J. Muggleton & M.R.D. Seaward. 1975. Moths, lichens and air pollution along a transect from Manchester to North Wales. J. Appl. Ecol. 12(1): 83-98.
4. Boertitz, S. & H. Ranft. 1972. Zur SO<sub>2</sub> und HF Empfindlichkeit von Flechten und Moosen. Biol. Zentralbl. 91(5): 613-623.
5. Brodo, I.M. 1961. Trasplant experiments with corticolous lichens using a new technique. Ecology 42:838-841.
6. Brodo, I. 1966. Lichen growth and cities; a study on Long Island, New York. Bryologist. 69(4): 427-449.
7. Brown, R.T. 1974. Furnace fuel, air pollution accumulated in snow and lichen growth on trees. Mich. Acad. 7(2): 149-156.
8. Bystrek, J. 1974. Wrazliwosc porostow na zanieczyszczenia atmosferyczne. Ann Univ. Mariae Curie-Slodowska. Sect C. Biol. 29:413-420.
9. Daly, G.T. 1970. Bryophytes & lichens indicators of air pollution in Christchurch, New Zealand. Ecol. Soc. Proc. 17:70-79.

10. De Sloover, J. & F. Le Blanc. Mapping of atmospheric Pollution on the basis of lichen sensitivity. Proc. Simp. Recent. Adv. Trop. Ecol. 1:42-56.
11. Gilbert, O.L. 1968. The effect of SO<sub>2</sub> on lichens and bryophytes around Newcastle Upon Tyne, In "Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Wageningen 1968". Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. 1969. pp. 223-235.
12. Hawsworth, D.L. 1971. Lichens as litmus for air pollution: A historical review. Int. J. Environ Stud 1(4): 281-296.
13. Hawksworth, D.L. & F. Rose. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. Nature (London) 227:145-148.
14. Heggestad, H.E. & E.F. Darley. 1968. Plants as indicators of the air pollutants ozone and PAN. In "Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Wageningen, 1968". Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. 1969. pp 329-335.
15. Hill, D.J. 1971. Experimental study of sulphite on lichens with reference to atmospheric pollution. New Phytol. 70(5): 831-836.
16. Hill, D.J. 1974. Some effects of sulphite on photosynthesis in lichens. New Phytol. 73: 1193-1205.
17. Le Blanc, F. 1968. Epiphytes and air pollution. In "Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Wageningen 1968". Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. 1969.
18. Le Blanc, F. & D.N. Rao. 1966. Réaction de quelques lichens et mousses épiphytiques à l'anhydride sulfureux dans la région de Sudbury, Ontario. Bryologist, 69:338-346.
19. Le Blanc, F., G. Comeau & D.N. Rao. 1971. Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses. Can J. Bot. 49:1691-1698.

20. Le Blanc, F. & D.N. Rao. 1973. Evaluation of the pollution and drought in relation to lichens and bryophytes in urban environments. *Bryologist* 76(1): 1-19.
21. Le Blanc, F. & D.N. Rao. 1973. Effect of sulphur dioxide on lichens and moss transplants. *Ecology*, 54(3): 612-617.
22. Leitz, W. 1972. Flechtenwuchs und Luftverunreinigung im Grossraum von Saarbruecken. *Ber Dtsch. Bot. Ges.* 85 (5/6): 239-247.
23. Mudd, J.B. & T.T. Kozlowsky. (Ed). 1975. Responses of plants to air pollution. Academic Press. Inc. New York. N.Y. U.S.A., London, England. 383 p.
24. Nash, T.H. III. 1971. Lichen sensitivity to hydrogen fluoride. *Bull. Torrey CLUB* 98(2): 103-106.
25. Nash, T.H. III. 1973. Sensitivity of lichens to sulphur dioxide. *Bryologist* 76 (3): 333-339.
26. Nylander, W. 1866. Les lichens du jardin du Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 13:364-372.
27. Oikkonen, H. & K. Takala. 1975. Total sulphur content of an epiphytic lichen as an index of air pollution and the usefulness of the X-ray fluorescence method in sulphur determinations. *ANN BOT FENN* 12(4): 131-134.
28. Pisut, I. & Eva Lisicka-Jelinkova. 1974. Epiphytische Flechten in der Umgebung einer aluminium huette in der Mittelslowakei. *Biologia (Bretisl.)* 29(1): 29-38.
29. Rao, D.N. and F. Le Blanc. 1966. Effects of sulfur dioxide on the lichen algae, with special reference to chlorophyll. *The Bryologist* 69: 69-75.
30. Rao, D.N. and F. Le Blanc. 1967. Influence of an iron sintering plant on the epiphytic vegetation in Wawa, Ontario. *The Bryologist* 70:141-157.
31. Richardson, D.H.S. 1974. The vanishing lichens. Their history, Biology and importance. Hafner Press, 231 p.
32. Sahrakorpi, S. 1973. Tampereen Keernajakalavyohykkeet, Luonnon Tutkija 77(2): 25-31.
33. Schofield, E. & W.L. Hamilton. 1970. Probable damage to tundra biota through sulphur dioxide destruction of lichens. *Biol. Conserv.* 2(4): 278-290.

34. Seaward, M.R.D. 1973. Lichen ecology of the Scunthorpe Heathlands: I Mineral accumulation. *Lichenologist* (OXF) 5 (5/6): 423-433.
35. Skye, E. 1958. Luftföroreningars inverkan på busk-och bladlavfloran kring skifferoljeverket in Närkes Kvarntorp. *Svensk Bot. Tidskr.* 52(1): 133-190.
36. Skye, E. & Ingemar, Hellberg. 1969. Changes in the lichen flora following air pollution. *Oikos* 20(2):547-552.
37. Sundstrom, K.R. & J.E. Hallgren. 1973. Using lichens as physiological indicators of sulfurous pollutants. *Ambio* 2 (1/2): 13-21.
38. Van Raay, A. 1968. The use of indicator plants to estimate air pollution by SO<sub>2</sub> and HF. In "Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and animals". Wageningen 1968. "Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. 1969. pp. 319-328.
39. Vareschi, V. & E. Moreno. La contaminación en Caracas en los años 1958-1973. *Bol. Soc. Venezolana Cienc. Nat.*, 30: 387-444.