

LOS LIQUENES COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA, EN LIMA METROPOLITANA

Doraliza Tovar T. y Rafael Aguinaga D.*

Los líquenes organismos duales, compuestos por la asociación simbiótica de un alga y de un hongo, tienen la capacidad de acumular iones metálicos en altas concentraciones muy superiores al del sustrato y necesidades; sin sufrir alteraciones metabólicas. El dióxido de azufre, sin embargo es un compuesto tóxico que destruye los talos liquénicos. La sensibilidad de los líquenes frente a los gases tóxicos, ha posibilitado la utilización de estos organismos, como indicadores de la calidad atmosférica.

Para realizar el presente estudio, se cartografió la vegetación líquénica a través de círculos concéntricos, tomando como centros, la zona industrial de Lima, el damero de Pizarro y las avenidas de mayor tránsito vehicular, distanciándonos gradualmente hacia las zonas menos pobladas y de menor tránsito.

De las observaciones macroscópicas y microscópicas de los líquenes colectados, en la corteza de los árboles y de los techos de cerámica de algunas casas, se comprobó, la ausencia de líquenes en zonas densamente pobladas, zonas industriales, parques y avenidas de gran tránsito vehicular. En cambio se encontró líquenes en lugares menos poblados y poco tránsito automotor.

* Pontificia Universidad Católica del Perú. Departamento de Ciencias. Sección Química. Lima

El estudio sistemático de los líquenes, nos permitió identificar 4 géneros de líquenes de talo crustoso, *Candelariella*, *Arthonia*, *Bacidia* y *Lecidia* y uno de talo fruticuloso del género *Ramalina*.

INTRODUCCION

La ciudad de Lima, caracterizada por presentar niveles altos de humedad relativa, debido al estancamiento de la neblina procedente del mar; sería un medio favorable, para el desarrollo de los líquenes, organismos duales constituidos por un hongo (micobionte) y por un alga (ficobionte), que proliferan en regiones con elevada humedad atmosférica.

Los líquenes son poiquilohídricos, es decir incapaces de regular su balance hídrico. En general toman el agua en forma líquida del medio (lluvia o rocío) con mucha facilidad y a través de toda la superficie del talo. Algunos líquenes están adaptados para absorber agua en forma de vapor directamente de la atmósfera.

Los líquenes representan un ejemplo de convergencia evolutiva fisiológica, que les ha permitido desarrollar una gran plasticidad ecológica y colonizar diferentes sustratos, desde el Ecuador a los polos y desde las más altas cumbres hasta el nivel del mar. En comparación con otro grupo de plantas son muy resistentes a condiciones ambientales severas y resisten extensos periodos de desecación en estado latente, formando costras características en las superficies de diversos habitat.

Si bien los líquenes están adaptados a condiciones ambientales extremas, ello no significa que sean insensibles. Muy por el contrario son extremadamente delicados a ciertos cambios en sus condiciones vitales y por ello se encuentran en proceso de extinción en muchas regiones. Se ha comprobado que acumulan iones metálicos en altas concentraciones, sin sufrir daño. El dióxido de azufre, sin embargo, es un componente tóxico que destruye rápidamente los talos. En este sentido, los líquenes constituyen un fino instrumento para medir el grado de contaminación atmosférica, ya que generalmente su cuerpo vegetativo se encuentra en contacto total con el medio aéreo, por carecer de órganos subterráneos.

El progresivo aumento de las fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de Lima, provenientes de los desperdicios sólidos, actividad agrícola

e industrial y de los vehículos automotores, de cuya combustión se forma el dióxido de azufre, compuesto al que los líquenes reaccionan con sensibilidad extrema; nos permitieron, utilizarlos como indicadores biológicos del grado de contaminación.

No existe antecedentes sobre investigaciones de líquenes como bioindicadores de contaminación ambiental en el Perú, por lo que, ésta sería una primera contribución al respecto.

Con el presente trabajo se pretende estudiar los líquenes de Lima Metropolitana y la relación que existe, entre su presencia o ausencia y el grado de contaminación atmosférica.

PARTE EXPERIMENTAL

Se cartografió la vegetación líquénica a través de círculos concéntricos, tomando como centros, la zona vehicular, alejándonos progresivamente hacia las zonas de menor tránsito.

Para los muestreos se consideraron especialmente avenidas y parques con una antigüedad de por lo menos 10 años, debido a que estos organismos tienen un lento crecimiento, por ejemplo los líquenes crustosos tienen un crecimiento anual de menos de 1 mm.

Los muestreos se efectuaron en un total de 33 estaciones en la corteza de árboles y techos de cerámica de teja y pastelero (Tabla N° 1).

Los líquenes fueron colectados utilizando los métodos estandarizados para formas corticícolas y terrícolas. Para las formas corticícolas se determinó la especie del forofito sobre el cual crecían.

El estudio sistemático de los líquenes se logró mediante los análisis morfológicos y anatómicos. El ordenamiento e identificación fue realizado por los autores de acuerdo al sistema propuesto por Henssen y Johns.

En la tabla N° 2 se indica la totalidad de géneros líquénicos encontrados en la Ciudad de Lima hasta el momento.

Tabla N° 1 Muestreo de líquenes

Punto	Ubicación	Líquenes Arboles/techos
1	Av. Emancipación (Pza. Castilla-Abancay)	Ausencia
2.	Av. Abancay (Acho-Pza. Manco Capac)	Ausencia
3.	Av. Tacna (N. de Piérola-Alcazar)	Ausencia
4.	Av. G. de la Vega (N. de Piérola-28 de Julio)	Ausencia
5.	Av. Venezuela (Garcilaso-Ciudad Univ. S.M.)	Ausencia
6.	Av. 28 de Julio (Av. Brasil-Aviación-Parada)	Ausencia
7.	Av. Arequipa (1-30)	Ausencia
8.	Av. Arequipa (34)	1 Género Liquen
9.	Av. Arenales (28 de Julio-J. Prado)	Ausencia
10.	Av. Larco (hasta Ovalo)	Ausencia
11.	Av. Salaverry (C. de Marte hasta cdra 28)	Ausencia
12.	Av. Salaverry (31-34) San Isidro	2 Géneros Líquenes
13.	Av. J. Prado (Brasil-P. de la República)	Ausencia
14.	Av. Colonial (Pza. 2 de MAYO-Faucett)	Ausencia
15.	Av. Argentina (Pza. Castilla-O. Centenario)	Ausencia
16.	Av. Universitaria (Perú-La Marina)	Ausencia
17.	Av. Grau (9) Barranco	1 Género Liquen
18.	Parque Tacna Heroica-Rimac	Ausencia
19.	Parque Universitario	Ausencia
20.	Plaza Italia	Ausencia
21.	Jardín Botánico U.N.M.S.M (Fac. Medic/Farm)	Vestigios
22.	P. Jorge Washington (Arequipa-Arenales cdra 5)	1 Género Liquen
23.	Parque de la Reserva	Vestigios
24.	Campo de Marte	Vestigios
25.	Bosque de Arboles (Av. Argentina-cdra 26)	Ausencia
26.	Bosque de Arboles (Av. Colonial-U. Vecinal 3)	Ausencia
27.	Museo de Historia Natural. U.N.M.S.M. (Av. Arenales-cdra 11)	Ausencia
28.	Parque Central de Miraflores (Av. Larco cdra 1)	1 Género Liquen
29.	Parque Cívico de Barranco (Lagunita)	1 Género Liquen
30.	Parque Municipal de Barranco	Ausencia
31.	Parque Chabuca Granda Barranco	2 Géneros Líquenes
32.	Campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú San Miguel	3 Géneros Líquenes
33.	Parque de las Leyendas San Miguel	3 Géneros Líquenes

Tabla N° 2 Distribución de líquenes en la ciudad de Lima

Ubicación	Substrato Techo casa/Arbol	Género
Av. Arequipa (34) Av. Salaverry (31-34)	Techo cerámica a dos aguas Corteza de <i>Phytolacca sp</i>	<i>Candelariella sp</i> <i>Ramalina sp</i> (1) <i>Arthonia sp</i> (1)
Av. Grau (9-Barranco) Jardín Botánico U.N.M.S.M. (Grau y Puno) J. Washington (Arequipa cdra. 5) Parque de la Reserva	Techo cerámica a dos aguas Corteza de <i>Lucuma sp</i> "Lucma" Techo de cerámica Corteza <i>Bougainvillea peruviana</i> "Bouganvilla"	<i>Candelariella sp</i> Hifas hongo, y alga en desintegración <i>Candelariella sp</i> Vestigios de Líquenes (hongo + alga en desintegración)
Campo de Marte	Corteza de <i>Cedrela sp</i>	Vestigios de Líquenes
Parque Central Miraflores (7 de Junio) Parque Cívico Barranco (Iagunita)	Corteza de <i>Acacia sp</i> Corteza <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> "cucarda" Corteza de <i>Caesalpinia tintoria</i> "tara" y <i>Schinus sp</i> "molle"	<i>Arthonia sp</i> (3) <i>Arthonia sp</i> Vestigios de Líquenes
Parque Chabuca Granda	Corteza <i>Cinnamomun sp</i> "fresno" Corteza de <i>Nerium oleander</i> "laurel rosa"	<i>Bacidia sp</i> <i>Arthonia sp</i>
Campus de la Pontificia Univ. Católica del Perú	Techo cerámica plano y acanalado (eternit) Corteza <i>Schinus sp</i> "molle" Corteza de <i>Cedrela sp</i> "cedrela" Corteza de <i>Euphorbia pulcherrima</i> "cardenal"	<i>Candelariella sp</i> <i>Arthonia sp</i> (1) <i>Arthonia sp</i> (2) <i>Lecidia sp</i> <i>Arthonia sp</i> (1)
Parque de las Leyendas	Corteza de <i>Sapindus saponaria</i> "saponaria" Corteza de <i>Cinnamomun sp</i> "fresno", <i>Cedrela sp</i> "cedrela" y <i>Populus sp</i> "álamo" Corteza de <i>Cedrela sp</i> "cedrela"	<i>Bacidia sp</i> (1) <i>Ramalina sp</i> (2) <i>Lecidia sp</i>

RESULTADOS Y DISCUSION

Después de realizar los análisis morfológico y anatómico de los líquenes colectados en la ciudad de Lima, se determinó que dichos ejemplares pertenecen a los géneros. *Ramalina* de la familia Ramalinaceae, *Candelariella*, familia Candelariaceae; *Bacidia* y *Lecidia* de la familia Lecidiaceae. Todos estos géneros pertenecientes al orden Lecanorales, Clase Ascoycetos. División Micophyta, Reino Fungi.

El género *Arthonia*, pertenece a la familia Arthoniaceae, Orden Arthoniales y a la misma Clase, División y Reino que los géneros anteriores.

A continuación se describen las características de los 5 géneros.

Ramalina Ach.

(Figs. 1-6)

Liquen de talo fruticuloso acintado constituido por lacinias planas ramificadas, color verde amarillento (Figs. 1-4) provisto de corteza en ambas superficies, médula flojamente enlazada con algas en su interior, hifas exteriores reticuladas en tanto que los interiores tienen disposición paralela. El talo presenta soralios granuloso ovalados o irregulares, terminales y laterales. Apotecio ausente (Figs. 5-6).

Este liquen se encuentra adherido al sustrato por un disco pequeño. Ficobionte: alga chlorofita. Cuenta con 2 especies

Habitat: corticícola, sobrecorteza de *Cedrela sp* "cedrela", *Cinnamomun sp* "fresno" y *Populus sp* "álamo" en el parque de las Leyendas, y sobre corteza de *Phytolacca sp* en la Av. Salaverry cdra. 31-34 (Figs. 1,3)

Candelariella Mull. Arg.

(Figs. 7-9)

Liquen de talo crustoso amarillo anaranjado, areolado, granuloso, soledioso, de pequeño tamaño, estrechamente unido al sustrato por las hifas medulares transparentes sin ricinas. Ficobionte chlorophyta de color verde intenso del género *Trebouxia* (Figs. 7-9). Apotecio escaso, si presenta es lecanorino, con disco amarillo, esporas simples.



Fig. 1 Liqen género *Ramalina sp* sobre corteza de *Phytolacca*



Fig. 2 *Ramalina sp* (1) talo fruticoso, grisáceo (seco) y verde (húmedo) con numerosos soralios

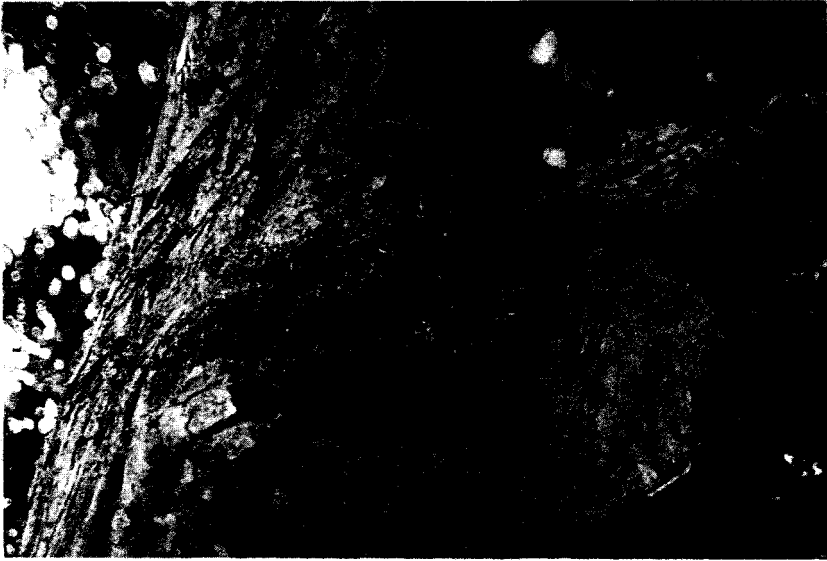


Fig. 3 Liquen *Ramalina* sobre corteza de *Cedrela sp*

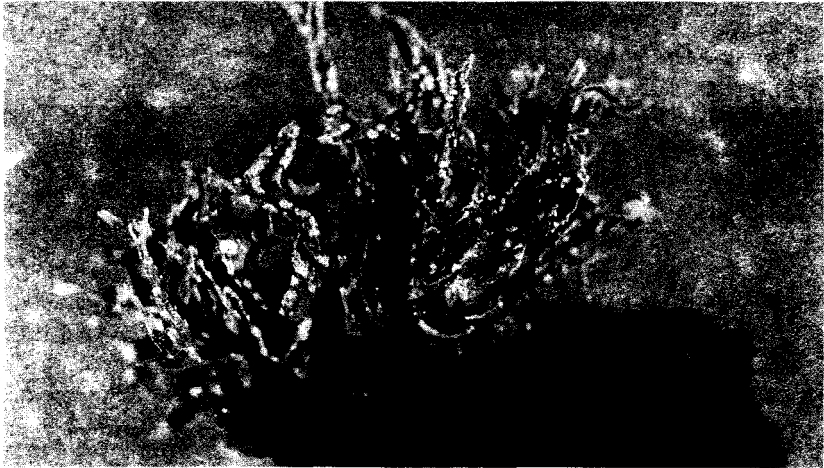


Fig. 4 *Ramalina sp* (2) talo fruticuloso verde amarillento (húmedo) con abundantes soralios laterales

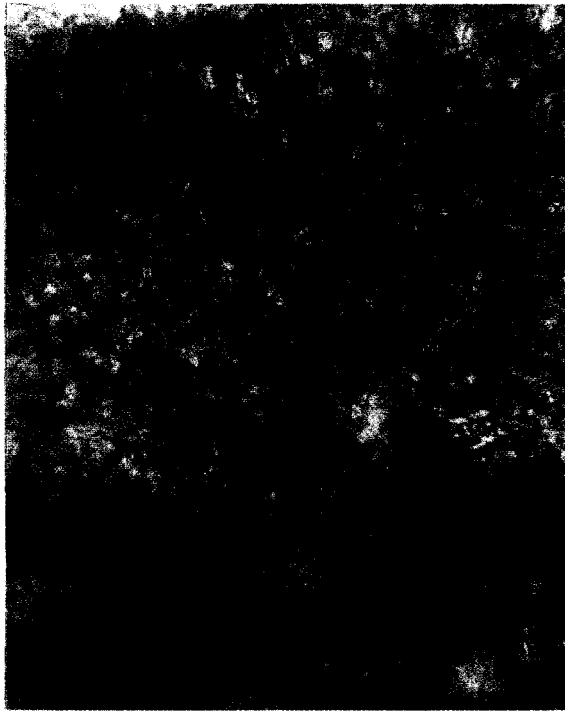


Fig. 5 Corte transversal del talo fruticuloso de *Ramalina* sp., mostrando la capa cortical (c) alga (A) y medular (M)



Fig. 6 Soredio (S) formado por células del alga rodeados por hifas transparentes del hongo. Hifas de la médula (M)

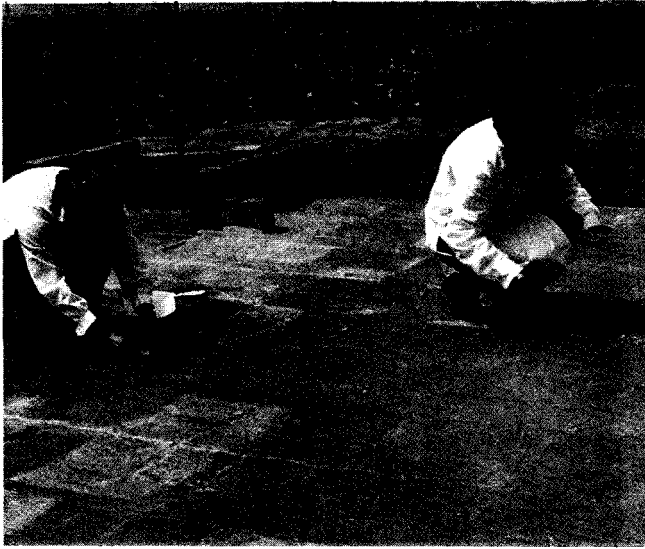


Fig. 7 Techo plano. Universidad Católica habitat natural de *Candelariella sp*

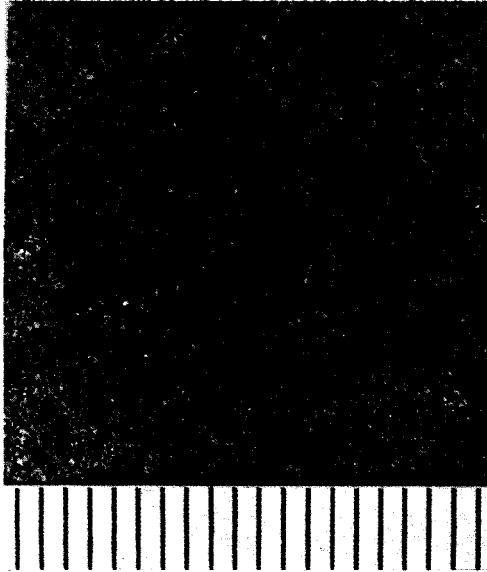


Fig. 8 *Candelariella sp* liquen crustoso areolado verrucoso, soledioso

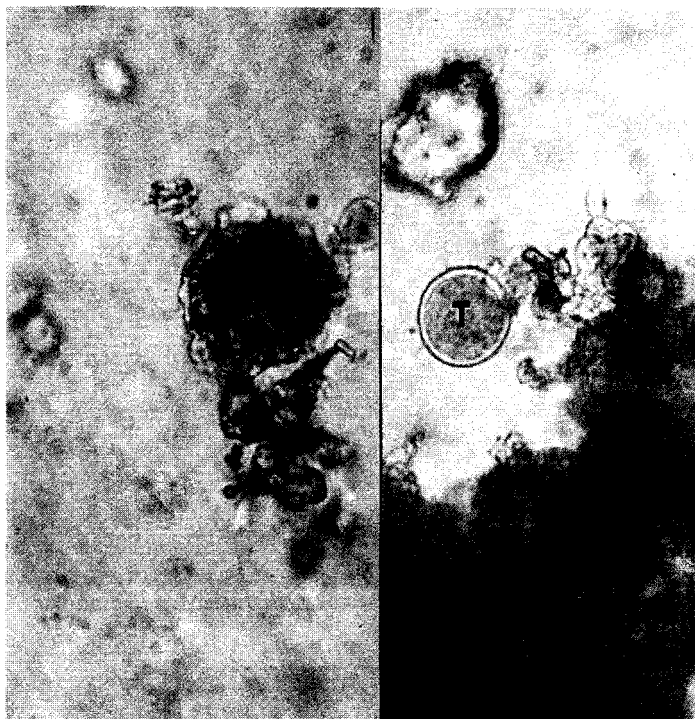


Fig. 9 Corte transversal del talo de *Candelariella*, mostrando la estructura de reproducción Soredios (S) y el ficobionte del género *Trebouxia* (T)

Habitat: sobre techos planos y acanalado de Pontificia Universidad Católica, Avenida Arequipa cuadra 4. Parque Jorge Washington, cuadra 34 de la Av. Arequipa y Av. Grau, cuadra 9 Barranco.

Bacidia Zahibr
(Figs. 10-12)

Liquen de talo crustoso, gris verdoso, sin corteza, adherido al sustrato con las hifas hipotalinas o medulares. Ficobionte: chlorophyta. Apotecios circulares u ovalados, sésiles, lecideinos con disco plano, de color negro, con esporas 8 en cada asca, hialinos, fusiformes, extremos aguzados, 4-5 septos transversales aparentemente no divididos; con dos especies diferentes (Figs. 10-12).



Fig. 10 Arbol de *Sapindus saponaria* habitat natural de *Bacidia* (P. de Leyendas)

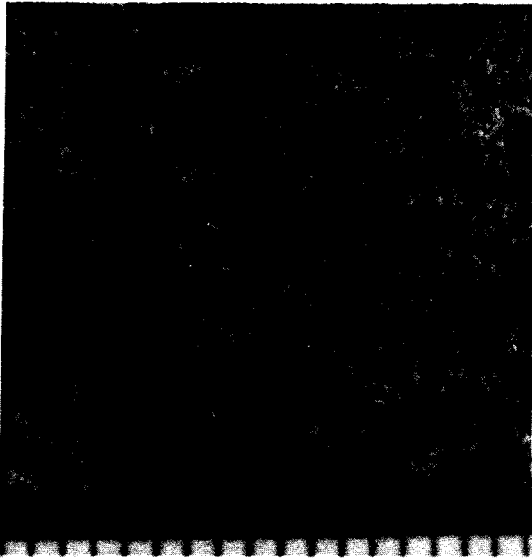


Fig. 11 Liquen del género *Bacidia*, mostrando Apothecios (A) negruscos



Fig. 12 *Bacidia* sp Asca (A) con esporas en su interior Esporas (E) fusiformes

Habitat: corticicola, sobre corteza de *Sapindus saponaria* "jabonaria", *Cedrela* spp. Parque de las Leyendas y sobre *Cinnamomun* spp "fresno". Parque Chabuca Granda. Barranco.

Lecidia Ach

Talo crustáceo lobado en el margen fisurado, fijado al substrato por la superficie interior sin ricinas, presenta corteza superior. Ficobionte chlorofita. Apotecios lecideinos redondeados, sésiles, planos, de color negro ubicados en las areolas del talo, 8 esporas en cada asca incoloras unicelulares.

Habitat: corticicola, sobre *Cedrela* sp. Univ. Católica y Parque de las Leyendas.

Arthonia (Figs. 13-15)

Liquen de talo crustoso uniforme muy poco diferenciado. Apotecio lecideino redondeado hasta alargado, esporas simples incoloras al comienzo, castaños cuando maduran, transversalmente septados macrocéfalos (una célula más grande al comienzo) Figs. 13-15.



Fig. 13 *Schinus sp* "molle" habitat de *Arthonia sp*
(Univ. Católica)



Fig. 14 *Arthonia sp* talo crustoso sobre corteza de
"molle" Apotecios (A) lecideinos

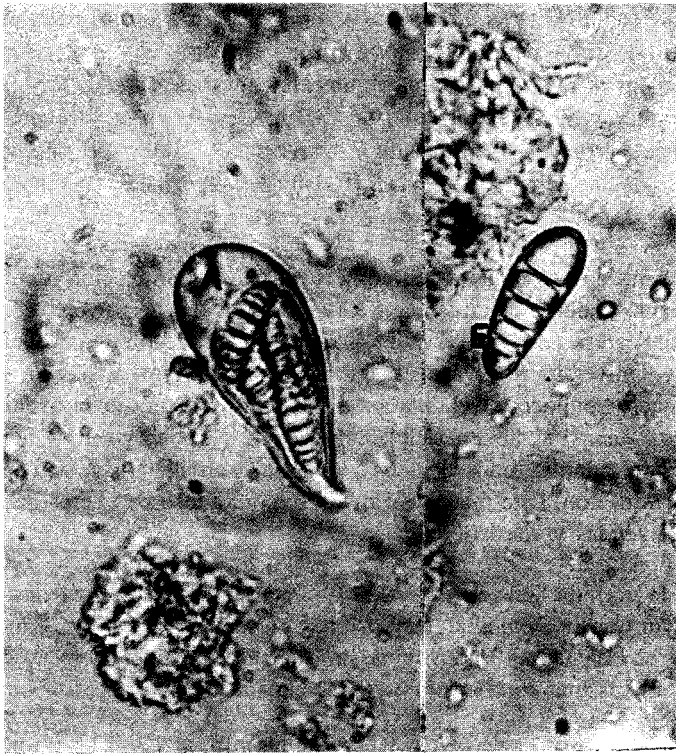


Fig. 15 Corte transversal del apotecio mostrando el Asca (A) con esporas (E) macrocéfalo septado

Ficobionte: Alga chlorofita del género *Trentepohlia* que presenta filamentos celulares cilíndricos, con cromatóforos de color naranja (Beta-caroteno) hay 3 especies del género *Arthonia*.

Habitat: Corticícola sobre *Euphorbia pulcherrima* "Cardenal", *Cedrela spp* "Cedrela", *Schinus spp* "Molle". Campus de la Universidad Católica. Corteza de *Acacia spp* "Acacia". Parque Central de Miraflores. Sobre *Hibiscus rosasinensis* "Cucarda". Centro Cívico de Barranco (lagunita). Sobre *Nerium oleander* "Laurel rosa". Parque Chabuca Granda de Barranco.

Los resultados de la evaluación liquénica, ponen en evidencia, que en los lugares densamente poblados, con gran tránsito vehicular, los líquenes han desaparecido casi por completo, de las cortezas de los árboles y techos de

las casas (Tabla N° 1), como se puede comprobar en las principales avenidas del centro de Lima y las adyacentes a la zona industrial (Av. Argentina, Colonial). Sin embargo se encontraron algunos líquenes, en zonas de menor tránsito automotor y de contaminación decreciente, como en el parque Chabuca Granda de Barranco, el campus de la Universidad Católica, el parque de las Leyendas en San Miguel, y las cuadras 31-34 de la Av. Salaverry en San Isidro (Tabla N° 2).

Una muestra evidente de como la fuente de contaminación emitida por los vehículos daña irreparablemente a los líquenes y los destruye, lo constituye el área del campus de Universidad Católica y sus alrededores. Así, en el sector de la Av. Universitaria adyacente al campus universitario no hay ni vestigios de líquenes, tampoco en el interior del campus próximo a la avenida. Sin embargo todavía hay líquenes en la corteza de los árboles y techos de algunos edificios del campus, todos alejados de la zona de circulación vehicular, fuente de contaminación. Este mismo resultado se comprueba en el área del parque de las Leyendas y alrededores.

En la avenida Salaverry desde el Campo de Marte, cuadra 1 hasta la 28, con mayor tránsito vehicular, tampoco hay presencia de líquenes, sólo existen líquenes en las cuadras 31-34, donde se puede apreciar que hay menos tránsito vehicular y es una zona más abierta, cercana al mar.

La desaparición de los líquenes de la corteza de los árboles y techo de casas, es una señal de aumento en la concentración del dióxido de azufre en el aire y esto coincide con el mayor tránsito vehicular, cercanía a fábricas y otros contaminantes. En efecto, podemos decir que la presencia del SO_2 determina la distribución de los líquenes.

Las observaciones macroscópicas y microscópicas de los vestigios de líquenes colectados (en lugares donde hay alta contaminación) nos demuestran que hay una disminución de los pigmentos fotosintéticos y necrosis del ficobionte (alga). Esto nos indica que el componente algal muestra mayor sensibilidad al dióxido de azufre y es el que desaparece paulatinamente.

La presencia del líquen crustoso del género *Canderariella* en algunos techos de las casas Av. Arequipa cuadras 4, 34; Av. Grau, Barranco y Universidad Católica (Tabla N° 2) nos demuestra que éste líquen tiene mayor resistencia al SO_2 ; sin embargo en los techos de las casas (Av. Argentina) se puede observar la completa desaparición, quedando en el techo, sólo manchas de color negro, restos del hongo (micobionte).

En el parque J. Washington, en una casa con techo a dos aguas, se puede observar que, la parte del techo que esta orientada hacia la avenida Arequipa, es de color negrusco, lo que muestra la destrucción del género *Candelariella*.

Estos resultados nos indican que los líquenes constituyen un fino instrumento para ser utilizados como indicadores de la contaminación atmosférica. Es posible que conforme aumenta la contaminación también se extinguen los pocos líquenes que todavía se pueden encontrar en la ciudad de Lima.

CONCLUSIONES

1. En las zonas densamente pobladas y de gran tránsito automotor, como en el damero de pizarro, no se encuentra ni vestigios de líquenes .
2. En los lugares donde el tránsito vehicular es menos intenso, todavía se puede observar la presencia de líquenes.
3. La vegetación líquénica en la Ciudad de Lima es reducida y tiende a la extinción debido al aumento progresivo de las fuentes de contaminación.
4. La desaparición de líquenes de la corteza de los árboles, en las zonas de mayor tránsito vehicular, es un índice de aumento, en la concentración del dióxido de azufre, en la atmósfera de la Ciudad de Lima.
5. La presencia de fuentes de contaminación, principalmente dióxido de azufre, limita la distribución de los líquenes en la Ciudad de Lima.
6. El estudio sistemático de la flora líquénica de Lima Metropolitana, permitió determinar la presencia de 5 géneros y 9 especies de líquenes, de los cuales 4 géneros son de talo crustoso y 1 género es de talo fruticuloso.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahjadjian, V. (1967) A guide to isolation, culture, cultural physiology, and identification, *Phycologia* 6:127
2. Henssen, A., y H. Jahns, (1974) **Lichenes, Eine Einführing in die flechtenkunde**. Geog. Thieme ed. Alemania.

3. Jahns, H. (1982) **Guía de Campo de los Helechos, Musgos y Liqueenes de Europa**. Omega S.A. Barcelona.
4. Lamb, I. (1949) La importancia de los líquenes como indicadores fitogeográficos en el Hemisferio Austral. *Lilloa*, XX, 65-68.
5. Mackenzig, Lamb. (1958) La Vegetación Liquélica de los Parques Nacionales Patagónicos. *Anales de los Parques Nacionales*. Tomo VIII, 1-188.
6. Nylander, W. (1886) Circa Novum in studio lichenum. Crittrium Chemicum. *Flora* **49**:198.
7. Rendon, J. (1985) **Líquenes Antárticos**. Instituto Antártico Chileno. Chile 121 pp
8. Zahlbruckner, A. (1922-1940) **Catalagus Lichenum Universalis Bd, J-K** Borntraeger. Leipzig.