

LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN EL MONITOREO DE LA
CALIDAD DEL AIRE

JENNY VIVIANA RINCON JAIMES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2012

LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN EL MONITOREO DE LA
CALIDAD DEL AIRE

JENNY VIVIANA RINCON JAIMES
BIOLOGA

Monografía presentada como requisito para optar al título de
especialista en Química Ambiental

Director:
Luis Roberto Sánchez Montaña
Biólogo
Ph.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2012

DEDICATORIA

“A mi señor Jesucristo por regalarme la vida y permitirme culminar una etapa más en mi vida”

A mis padres José Alfonso Y Mercedes que me brindaron su apoyo incondicional, y me ayudan cada día ser mejor persona.

A mis Hermanos y mi nono Jaime por sus apoyos y sus buenos deseos.

AGRADECIMIENTOS

Mi monografía es el resultado de un gran esfuerzo y dedicación, que directa o indirectamente participaron varias personas, que aportaron su grano de arena dándome ideas, y sobre todo ánimos para que este trabajo diera frutos.

Primero que todo a Dios que me dio la oportunidad de empezar y culminar mi estudio de especialización.

A mis padres que con su cariño y amor me apoyan para que cada día sea mejor persona y tenga un buen futuro.

Mis hermanos, mi nono, y demás familiares porque siempre quieren que este bien con sus buenas palabras.

Al profesor Roberto Sánchez mi director de la monografía, que me oriento con su conocimiento y apporto su opinión e ideas para que ser de mi trabajo algo interesante.

A todos los profesores que conforman el grupo de la especialización en Química Ambiental que nos brindaron sus conocimientos.

A mis compañeros por sus buenos deseos de estudio en especial a Silvia por ser mi amiga y compañera de trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo General.....	17
3.2 Objetivos Especificos.....	17
4. MARCO TEORICO	18
4.1 Características.....	18
4.2 Descripción morfológica:.....	18
4.3 Tipos de Sustratos:.....	18
4.4 Comportamiento Ecologico:.....	19
4.4.1 Líquenes de sustratos alcalinos o neutros:.....	19
4.4.2 Líquenes neutrofilas:.....	20
4.4.3 Líquenes de sustratos acidos o neutros:	20
4.4.4 Líquenes de sustratos acidofilos o neutrofilos:	20
4.5 Tipo de talo:.....	20
4.5.1 Homomero:.....	20
4.5.2 Heteromero:.....	20
4.6 Estructura del talo:.....	21
4.6.1 Capa algal:.....	21
4.6.2 Medula:.....	22
4.6.3 Corteza:	22
4.7 Morfología y Habitat de los Liqueenes:.....	22
4.7.1 Talo Crustaceos:.....	22
4.7.2 Talo Foliosos:	23
4.7.2.1 Umblicados.....	23
4.7.2.2 Laciniados:.....	23
4.7.3 Talos Fructiculosos:.....	23
4.7.4 Talos Gelatinosos:	23
4.7.3 Talos Fructiculosos:.....	23
4.8 Categoría de los Liqueenes:	24
4.9 Reproduccion de los Liqueenes:.....	25

4.9.1	Reproduccion Asexual:	25
4.9.2	Reproduccion Vegetativa:	25
4.9.2.1	Soredios - Soralios:	25
4.9.2.2	Soredios - Soralios:	26
4.9.3	Reproduccion Sexual del Hongo:	26
4.9.3.1	Peritecios:	26
4.9.3.2	Apotecios:	27
4.9.3.2.1	Lenanorinos o lecanorinicos:	27
4.9.3.2.2	Lecidinos o lecideinicos:	28
4.9.3.2.3	Biatorinos o Biatorinicos:	28
5.	LIQUENES COMO BIOINDICADORES.....	29
5.1	Metodos de los Liquenes como Indicadores.....	30
5.1.1	In situ y el Indice de Pureza Atmosferica	30
5.1.2	Indice de Contaminacion Atmosferica En Colombia	36
5.2	Trasplante de Liquenes	40
5.3	Cambios Morfologicos en el talo de un liquen por Contaminacion	42
5.4	Condiciones Atmosfericas	44
6.	LIQUENES COMO BIOINDICADORES.....	46
6.1	SO ₂ en la Atmosfera.....	46
6.2	Compuesto de Nitrogeno	48
6.3	Oxidos de Carbono	49
6.4	Metales Pesados	49
7.	CONCLUSIONES	53
8.	BIBLIOGRAFIA	55
9.	ANEXOS	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Corte esquemático de un liquen Homómero	21
FIGURA 2. Corte esquemático de un liquen Heterómero.....	21
FIGURA 3. Corte Transversal De Un Talo	22
FIGURA 4. Tipo de Líquenes.....	24
FIGURA 5. Soredios -Soralios.....	25
FIGURA 6. Isidios	26
FIGURA 7. Periticio	27
FIGURA 8. Apotecio	27
FIGURA 9. Norma VDI-3799 de la rejilla en el forofito	35
FIGURA 10. Desintegración y Necrosis Del liquen por Contaminación Atmosférica	43

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. sustratos liquénicos	19
TABLA 2. Lista de especies en respuesta de la polución de la atmosfera En Córdoba Argentina	32
TABLA 3. Números de parcelas, Calidad de aire, Rangos del IAP	33
TABLA 4. Niveles de indice de Pureza Atmosferica	34

Resumen

TÍTULO: LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE *

AUTOR: Jenny Viviana Rincón Jaimes **

PALABRAS CLAVES: Bioindicadores, liquen, contaminación atmosférica, índice de pureza atmosférica, trasplante.

CONTENIDO:

Los líquenes son organismos conformados por una asociación simbiótica entre un alga y un hongo, considerados como bioindicadores de la calidad del aire, por su sensibilidad frente a cambios bruscos que encuentra en el ambiente, causando daño a su presencia y abundancia. Debido a esto se han utilizado diversos trabajos han utilizado el método del índice de pureza atmosférica (IPA) que nos permite saber en qué estado se encuentra el lugar que se vaya a analizar de acuerdo a las especies de líquenes que en este se reporten. Debido a que ciertas especies son consideradas sensibles, tolerantes y repobladoras. Otro método utilizado es el de trasplante que se utilizan líquenes colectados en sitios con menor contaminación para ser puestos en sitios donde se crea que tenga mayor polución.

Numerosos estudios estiman que el problema de polución se debe a los altos niveles de dióxido de azufre (SO₂) afectando la corteza de los árboles produciendo su acidificación. La toxicidad de SO₂ en los talos del liquen es para el alga, relacionado con la disminución del pH celular y la oxidación de la clorofila, la cual es reemplazada por feofitina que es la que causa cambio de coloración en los talos afectados.

*Monografía

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Luis Roberto Sánchez Montaña.

SUMMARY

TITLE: LICHENS AS BIOINDICATORS IN THE MONITORING OF AIR QUALITY *

AUTOR: Jenny Viviana Rincón Jaimes **

KEY WORDS: bioindicators, lichen, air pollution, atmospheric purity index, transplantation.

CONTENT:

Lichens are organisms made up of a symbiotic association between an alga and a fungus, considered as bioindicators of air quality for their sensitivity to sudden changes in the environment, causing damage to their presence and abundance. Because it has been used several studies have used the method of atmospheric purity index (API) that lets us know in what state is the place to be analyzed according to species of lichens are reported in this. Because certain species are considered sensitive, tolerant and repopulating. Another method is to transplant lichens collected are used in places with less pollution to be put in places where they feel has more pollution. Numerous studies have estimated that the pollution problem is due to the high levels of sulfur dioxide (SO₂) affecting the bark of trees causing acidification. The toxicity of SO₂ in the lichen thalli is for the algae, related to the decrease in cellular pH and oxidation of chlorophyll, which is replaced by pheophytin that is causing discoloration on the affected thalli.

*Monograph

** Sciences Faculty. School of Chemistry. Environmental Chemical Specialization.
Directress: Luis Roberto Sánchez Montaña.

1. INTRODUCCION

Una de las primicias dadas por el señor Joseph Pitton de Tournefort en 1694-1698, fue la de que los líquenes eran un grupo vegetal, utilizando la palabra liquen (del latín lichen y ese del griego λειχήν). Solo hasta 1868 gracias a los trabajos del señor Simon Schwendener (añoXXX), se revelo que era una especie vegetal con una particular asociación entre una alga y un hongo, generando una gran polémica entre los investigadores debido a que esta teoría fue aceptada solo hasta finales del siglo XIX . (filho y Rizini, 1976).

Estas comunidades de líquenes que viven en el suelo, troncos de árboles, y demás sitios. Se encuentran formados por algas que elaboran la fotosíntesis produciendo hidratos de carbono, a partir del CO₂ y el agua. Los hongos que consumen los compuestos orgánicos producidos por estas para nutrirse siendo una asociación simbiótica. Los líquenes se encuentran dispersos en todo el mundo, actualmente no se sabe la proporción cuantitativa que estos pueden tener en la superficie terrestre mundial, solo se estima que es muy alto. Debido a que su crecimiento se da en regiones polares, lo alto de las montaña, zonas cálidas, áridas y semiáridas. Según (Ahmadjian, 1995) aproximadamente el 8% de la superficie de la tierra es dominada por líquenes.

Los líquenes son extremadamente sensibles a los cambios bruscos ambientales, debido a esto se han convertido en un grupo bioindicador para los recursos naturales, en este caso el aire. Siendo comparado con los canarios que se utilizaban anteriormente en las minas de carbón. (Nimis et al., 2002).

La contaminación atmosférica es un problema global que viene tomando importancia debido al crecimiento poblacional en las ciudades y por ende las industrias. Una forma económica y viable en el monitoreo de la calidad del aire es con la presencia o abundancia de líquenes, evaluando su modificación ambiental frente a contaminantes. En este trabajo se presenta una recopilación de información que puede ser de gran utilidad a estudiantes, profesionales, organizaciones y autoridades encargadas de vigilar la calidad del aire.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema debe ser el incremento en moléculas contaminantes en el ambiente que determinan que solo ciertos grupos de organismos puedan soportar estos niveles de sustancias arrojadas al ambiente las que se acumulan en los sustratos utilizados por organismos como lo son los líquenes, los que responden a cambios en los niveles de concentración de ciertas sustancias en el ambiente a través de la sustitución o dominio de unas especies por otras, lo que permite utilizarse como bioindicadores de incremento de polutantes y contaminantes en el aire y en el agua de lluvia.

Los cambios en la diversidad de líquenes que crecen naturalmente en un sitio o región particular, permite que se puedan utilizar como indicadores de la contaminación atmosférica (Llop E. et al., 2011). Los líquenes son organismos compuestos, de crecimiento lento, formados por asociación de hongos (micobiontes) y algas verdes o cianobacterias (fotobiontes). Esta asociación es de tipo simbiótica y depende principalmente en la entrada atmosférica de nutrientes minerales (Garty, J et al., 2000). Esta característica de acumular minerales y su capacidad de crecer en gran extensión los hace un excelente bioindicador de la contaminación del aire.

El biomonitoreo es importante en este caso porque nos determina sustancias contaminantes en un ecosistema, permitiendo clasificar que tan sensible o acumulativo se encuentra en el organismo, actuando como alarmas preventivas en los cambios morfológicos, abundancia de especies, aspectos físicos y químicos que tiene que ver con la interrupción de la fotosíntesis, fijación de nitrógeno, y respiración. (Conti y Cecchetti, 2000)

Como en todas las ciudades, el deterioro de la calidad del ambiente se ve reflejado en la pérdida del agua, la calidad del aire junto a este se suma la tala de árboles y deterioro espacios verdes (Estrabou, et al., 2011).

Donde los líquenes pueden reaccionar de manera diferente frente a estas amenazas de contaminación, en estudios hechos por el señor Barkman (1958, 1969) clasifica los líquenes según la reacción que estos presenten:

- a. Siendo uno de los primeros factores el dióxido de azufre (SO_2) alterando las especies y las cortezas de los arboles alcanzando una acidificación.
- b. la eutrofización en el agua atmosférica causando cambio en las especies de los líquenes.

La alteración que presentan estas comunidades de especies, dando respuestas rápidas a cambios. Catalogan a los líquenes como un fuerte indicador efectivo para detectar cambios ambientales rápidos en el aire. Siendo tema de interés para realizar el presente trabajo de modo que sirva de guía para la conservación y cuidado de líquenes frente a este problema de degradación ambiental.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una revisión bibliográfica sobre la respuesta de líquenes que crecen en la ciudad a sustancias polutantes y contaminantes, permitiendo que se usen como bioindicadores de la calidad del aire en diferentes ciudades

3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la utilización de los líquenes como indicadores de calidad de aire tanto en Colombia como en otros países.
- Indagar que aspectos físicos, químicos y biológicos son estimados en los niveles de contaminación atmosférica.
- Describir los cambios morfológicos que puedan presentar los líquenes con respecto a sustancias contaminantes que se arrojan al ambiente.

4 MARCO TEORICO

4.1 Características

Un organismo se considera bioindicador cuando dicha especie presenta alteración frente a un agente externo en este caso la contaminación al aire, en algunos casos presenta dificultad para adaptarse ecológica o genéticamente a la condición ambiental alterada, un síntoma a este problema es su ausencia, relación con otros organismos, comportamiento ante el hábitat, fisiología y demografía. (García y Rubiano, 1984).

4.2 Descripción morfológica:

Los líquenes son organismo de crecimiento lento considerados autótrofos, presentando una asociación de hongos (micobiontes) y las algas verdes o cianobacterias (fotobiontes), Esta asociación simbiótica forma el talo que no presenta raíces, cutículas, dependiendo de la entrada atmosférica de nutrientes minerales (Garty, J et al., 2003). Las especies de algas encontradas en los líquenes puede ser clorofitas o cianofitas y los hongos que intervienen en la asociación son *Ascomycetes*, *Basidiomycetes* o *Phicomycetes*. Teniendo una amplia distribución desde los polos al ecuador, creciendo en las superficies con más diversos sustratos inertes u orgánicos (Lijteroff et al ., 2009).

4.3 Tipos de sustratos:

Según el sustrato les da una permanencia relativa y una superficie estable, de acuerdo a su textura, la química y sus relaciones hídricas. (Brodo 1973) los clasifica así:

Tabla 1: Sustratos liquénicos.

Sustrato	Tipo de liquen
Rocas y minerales	Saxícola <ul style="list-style-type: none">• Epiliticos: encima del sustrato• Endolíticos: dentro del sustrato
Corteza de Arboles	Corticólicas o Cortícolas <ul style="list-style-type: none">• Epifleódico• Hipofleódico
Suelo	Terrícolas
Madera	Lignícolas
Briofitos	Muscícolas
Hojas	Folícolas (Epífilos)

4.4 Comportamiento Ecológico:

Desde el punto de vista ecológico la tolerancia a materiales tóxicos es una función de los líquenes y debido a esto se distinguen los siguientes grupos (Kovacs , 1992):

4.4.1 Líquenes de sustratos alcalinos o neutros:

Especies medianamente tolerantes a la toxicidad, nacen en ambientes ricos en nutrientes, en áreas secas y calidas, y en las áreas frias y húmedas son menos tolerantes. Según (Kovacs, 1992) especies en este grupo son *Physcia stellaris*, *Xanthoria parietina*, *Xanthoria candelaria*.

Líquenes Neutrofilas

4.4.2 Liqueenes Neutrofilas:

son especies de alta tolerancia a la toxicidad nacen en ambientes secos con poca cantidad de agua. Como *Candelariella xanthostigma* y *Physcia ascendens*. (Kovacs, 1992)

4.4.3 Liqueenes de sustratos acidos o neutros:

Su cubrimiento aumenta en proporción al aumento de la humedad, tiene un rango amplio ecológico.

4.4.4 Liqueenes de sustratos acidofilos y neutrófilos

Las especies que conforman este grupo son suceptibles a la contaminación atmosférica en especial al SO₂ , abosorbiendo y perdiendo agua rápidamente. En su mayoría son mesofilas como por ejemplo: *Ramalia Polinaria*, *Ramalia Farinacea*, *Evernia prunasti*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia subrudecta*, *Parmelia Andreana*, *Parmelia scorteia* (Kovacs, 1992)

4.5 Tipo de talo:

4.5.1 Homómero: este tipo de liquen es simple, el alga se encuentra irregularmente distribuida por todo el cuerpo vegetativo del liquen, por esto es considerado primitivo, son muy pocos géneros que lo poseen.(figura 1)

4.5.2 Heterómero: este tipo de liquen tiene una anatomía estratificada y el hongo forma una serie de capas bien definidas (médula, córtex inferior y superior), las células del alga forman una capa (capa algal). (figura 2)

Figura1. Corte esquemático de un líquen Homómero



Fuente (Per, 2001)

Figura 2. Corte esquemático de un líquen Heterómero



Fuente (Per, 2001)

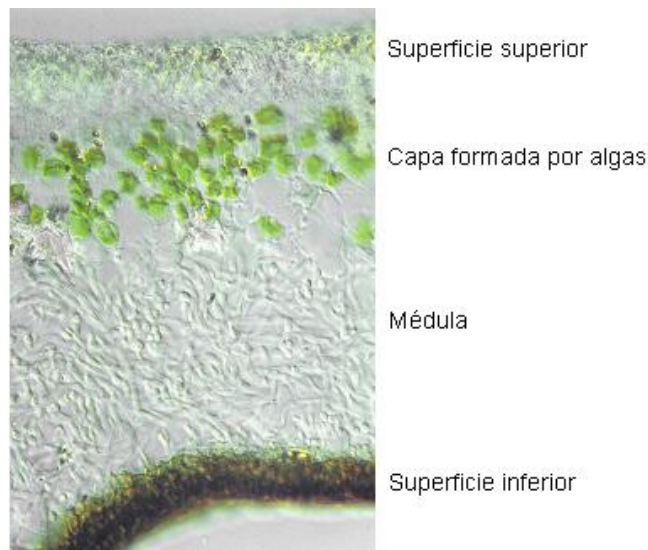
4.6 Estructura del Talo:

4.6.1 Capa Algal: sitio donde se da el contacto físico entre el alga y el hongo, se divide mitóticamente por aplanosporas, hormogonios o heterocistas; su grosor depende del tipo de líquen, las algas se sitúan en una parte del talo donde las hifas reciben la cantidad de luz para que pueda realizar su fotosíntesis. (Aguirre y de Valencia ,1995).

4.6.2 Medula: formada por hifas entrelazadas, con apariencia algodonosa, laxa y con muchos espacios, se caracteriza por almacenar agua y sustancias minerales, siendo la región donde se guardan los alimentos (manitol); por ser tan laxo también permite el intercambio gaseoso del talo. (Aguirre y de Valencia ,1995).

4.6.3 Corteza: esta se divide en dos una inferior y superior, su función es la de proteger los tejidos internos, siendo responsable de la configuración externa del liquen. La Dermis, se localiza encima de la corteza ayudando a la protección, y evita la evotranspiración de la superficie. (Aguirre y de Valencia ,1995).

Figura 3. Corte Transversal De Un Talo



Fuente (Purvis, 2000)

4.7 Morfología y hábitat de los líquenes:

4.7.1 Talos Crustáceos: tienen forma de costra (figura 4a), predomina el liquen en estructura simple, se caracteriza porque poseen una relación con el sustrato como en la madera o roca observándose solo cuando se fructifica. Los más simples son Homómero careciendo de corteza inferior.

Cuando el líquen constituye una fina costra delgada adherida al sustrato. El talo de la mayoría está conformado de pequeñas escamas llamadas areolas.

4.7.2 Talos Foliosos: tienen lóbulos aplanados ramificados con simetría dorsiventral, de márgenes enteros, lóbulos imbricados son heterómeros y algunos pocos homómeros, su crecimiento es marginal (figura 4b). Se divide en dos tipos:

4.7.2.1 Umbilicados: su talo presenta forma de disco y se une al sustrato solamente por la parte central.

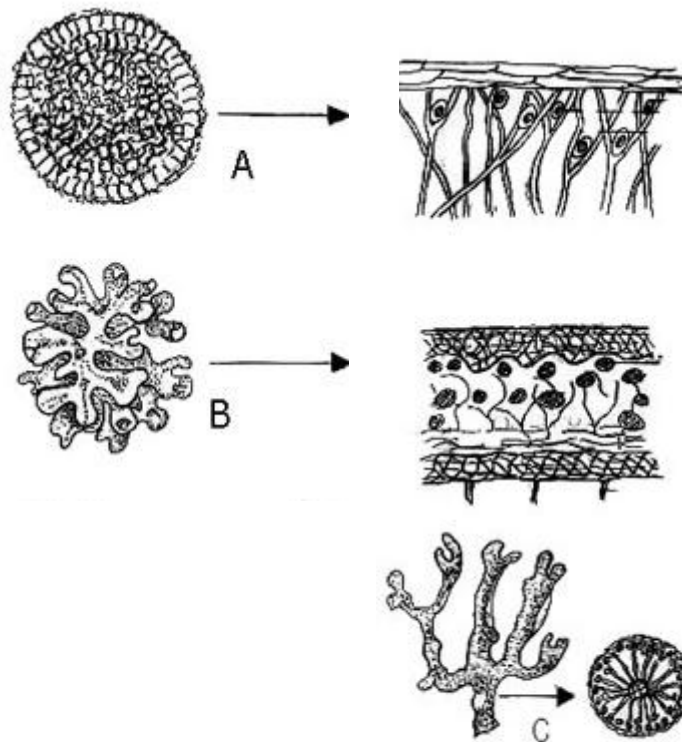
4.7.2.2 Laciniados: se unen en casi todo el talo por medio de sus estructuras, en este grupo encontramos los líquenes más grandes, tiene variabilidad de coloración, consistencia, forma, lobulación, tamaño.

4.7.3 Talos Fructiculosos: tiene semejanza a pequeños arbolitos, ramificados en menor o mayor grado, tienen simetría radial en forma de hebra, algunos son erectos otros son péndulos, con crecimiento apical. Son heterómeros con simetría radial o hueco, o heterómeros con simetría dorsiventral. Muchos se unen al sustrato por medio de estructuras de fijación.(figura 4c)

4.7.4 Talos Filamentosos: formado a manera de red, muy fina, lanosa, poseen apariencia de pelo, se encuentra sobre el sustrato.

4.7.5 Talos Gelatinosos: tienen consistencia gelatinosa húmeda, con gran hidratación, en estado seco se presenta con gránulos negros. Pueden absorber 20 a 30 veces su peso en agua.

Figura 4 Tipo de Líquenes



a. Crustáceo. b. Folioso. c. Fruticulosos.

4.8 Categorías de los líquenes:

De acuerdo a la contaminación los líquenes se clasifican en tres categorías que pueden ser especies sensibles, tolerantes y repobladoras (Galun, 1998)

Las especies sensitivas son aquellas en donde la emisión de los contaminantes causa efectos dañinos en la especie causando su desaparición. Las especies tolerantes son aquellas resistentes a la contaminación permaneciendo vivos e intactos en su hábitat. Las especies repobladoras como su palabra lo dice

vuelven a salir de nuevo después de que la comunidad líquenica ha sido extinguida por la contaminación. (Galun, 1988).

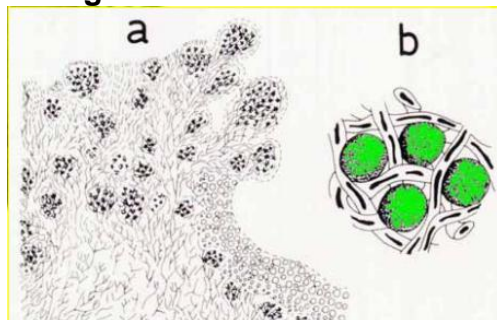
4.9 Reproducción De los Líquenes:

4.9.1 Reproducción asexual: se da por unas estructuras llamadas picnidios, con filamentos llamados conidióforo, estos producen esporas unicelulares llamadas pincidioporas o pinoconidias donde estas salen por un orificio del talo llamado ostiolo. (Aguirre y de Valencia ,1995).

4.9.2 Reproducción vegetativa: los mecanismos de dispersión en este caso son los soredios y los isidios permitiendo la dispersión directa.

4.9.2.1 Soredios - Soralios: son pequeñas partes del liquen formada por las células algales rodeadas por hifas, uniéndose unos a otros formándose masas granulares originándose en la medula y expulsadas por los soralios. Cuando este soredio cae en un ambiente apropiado este se desarrolla originándose un liquen parecido al que lo origino, pero cuando cae en un ambiente infectado este simplemente no se desarrolla y muere. Estas diásporas son trasportadas por el viento, animales, agua y se da en especies de líquenes foliosas, Fructiculosos y algunos crustáceos (figura 5). (Aguirre y de Valencia ,1995).

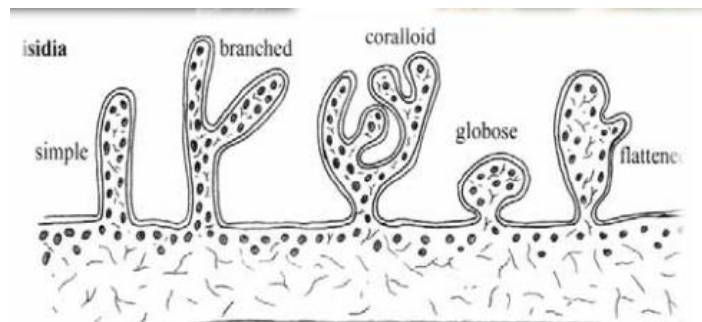
Figura 5 Soredios -Soralios



Fuente (Redon, 1985) talo con soredio- soralios b. Vista de los soralios

4.9.2.2 Isidios: son pequeñas protuberancias del talo con un diámetro de 0,01-0.03 mm y su altura de 0,5- 3 mm formado por componente algal y tejido medular envuelto por una corteza. se da en especies de líquenes foliosas, Fruticulosos , crustáceos y algunos gelatinosos, los isidios comparados con los soledios son órganos de dispersión pasivos por su tamaño los limita.

FIGURA 6 Isidios

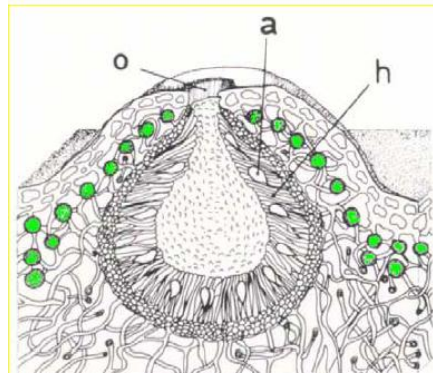


Fuente (Nash III, 2002)

4.9.3 Reproducción sexual Del Hongo: el ascocarpo, que es un cuerpo fructífero que en ocasión se puede observar a simple vista, son estructuras durante son antiguas donde produce ascas cada año. Y sus tipos son:

4.9.3.1 Peritecios: tienen forma de botella donde se dispone el himenio, las ascas se encuentran en una cavidad donde salen las ascas al exterior a través de un poro llamado el ostiolo. Cuando la espóra germina, si tiene al alga cerca pueda tener una nueva asociación líquénica. (Figura 7)

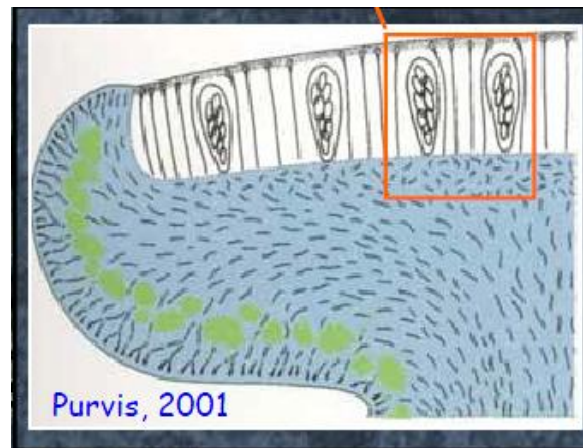
Figura 7. periticio



Fuente (Redón, 1985) O. ostiolo a. ascas h. hifas

4.9.3.2 Apotecios: las ascas se encuentran expuestas al exterior su forma es en discos, circulares, puede ser plano, cóncavo o convexo. Según su anatomía sus tipos son lecanorinos o lecanorínicos, lecidinos o lecideínicos, biatorinos o biatorínicos. (Figura 8)

Figura 8. apotecio



Fuente (Purvis, 2001)

4.9.3.2.1 Lecanorinos o lecanorínicos: apotecios redondeados, posee un borde talino, este reborde es formado por corteza y capa gonidial. Especies de *Lecanora*, *Physcia*, *Theloschistes*, *Anaptychia*, *Usnea*, *Sticta*, *Parmelia*.

4.9.3.2 Lecidinos o lecideínicos: son de color negro, formado solo por hifas del micobionte, no tienen corteza ni capa gonidial, de consistencia dura. Especies de *Lecidea*, *Cladonia*, *Stereocaulon*.

4.9.3.3 Biatorinos o Biatorínicos: posee reborde propio constituido por el micobionte, de color claro, carnosos. Especies *Biatora*, *Coenogonium*, *Dimeralla*.

5 Líquenes como Bioindicadores

Los líquenes epifitos fueron reconocidos en 1886 como bioindicadores de aire. (Nylander 1866). A partir de 1930 aumentaron los estudios en Europa, complementados con mapas (Barman, 1958). Aunque actualmente los estudios de líquenes como bioindicadores en sur américa son escasos (estrabou et al., 2011).

Una de las alternativas para la evaluación del aire es la aplicación de organismos vivos tales como líquenes, ya que los métodos convencionales para la evaluación tales como filtros de aire y colectores de deposición requieren altos costos para la implementación, operación y mantenimiento. (Paci et al., 2011). Por ser un indicador biológico de los efectos contaminantes del aire y su diversidad, se está convirtiendo en rutina en varios países, ya que es rápido en las predicciones de la salud humana y lo económico que puede salir un estudio con estos organismos. (Cislaghi y Nimis, 1997).

Es importante dar a conocer su ventajas para realizar trabajos de investigación con estas especies, la razón es su capacidad de absorción de agua y acumulación de nutrientes de la atmosfera hace que no tolere la contaminación dando respuesta a una alarma de prevención, en cuanto a cambio morfológicos, aspectos químicos y físicos, alterando la actividad enzimática y actividades como fotosíntesis y respiración. Incluso su crecimiento, reproducción, y muerte por su imposibilidad de excretar el exceso de contaminantes absorbidos en al aire, siendo la bioacumulacion el proceso de la descarga de la biota en el entorno que lo rodea. (Conti y Cecchetti, 2000).

Numerosos estudios estiman que este problema se debe a los altos niveles de dióxido de azufre afectando la corteza de los árboles produciendo su acidificación. (Herk, 2001). Esto fue demostrado por (Puckett et al 1973) que la toxicidad de SO₂ en los talos es para el alga, relacionado con la disminución del pH celular y la oxidación de la clorofila, la cual es reemplazada por feofitina que es la que causa cambio de coloración en los talos afectados.

5.1 Métodos De Los Líquenes Como Indicadores:

5.1.1 In situ y el Índice de Pureza Atmosférica:

Cuando se realiza directamente en el área de influencia para analizar cambios que puedan presentar frente a la presencia de los contaminantes.

Las sustancias tóxicas y el exceso del SO₂ tienden a extinguir los líquenes, cambiar su composición. Una disminución en la diversidad y abundancia se observa últimamente en trabajos hechos probablemente por áreas centrales, centros urbanos e industrias. (Nieboer, 1982).

(Lijteroff et al., 2009) en Argentina en la ciudad de San Luis muestrearon líquenes por el centro, Noreste, Sureste y el Control en la ciudad de Juana Koslay con el índice de pureza atmosférica (IPA) sumando las frecuencias de todas las especies presentes, este valor indica la cobertura de líquenes indirecta en el área de muestreo y directa la diversidad de especies. El valor del IPA por sectores muestreados es considerado la medida de todos los sitios tomados.

IPA árbol = Sumatoria de la frecuencia de cada especie

IPA área = Promedio de los valores de los IPA árbol de cada área.

Cálculo de Diversidad de Shannon (H), Equitatividad (J) y Riqueza (S),

Índice de Diversidad de Shannon: $H = - \sum P_i \ln P_i$

Equitatividad: $J = - \sum P_i \ln P_i / \ln S$

Siendo:

S = riqueza (número de taxones)

$P_i = n_i/n_T$

n_i : número de cuadros de la gradilla ocupados por un taxón

n_T : número total de cuadros

La riqueza se calculó como el número de taxones presentes.

Los resultados obtenidos fueron menores comparados con el control. El valor más bajo de I.P.A. y de riqueza liquénica se evidenció en el sector Sureste y el Centro. Esto podría asociarse a la contaminación, originada en fuentes móviles, los parques industriales y a la presencia de fuentes fijas de contaminación.

En la distribución y los valores del I.P.A hallados los líquenes toxitolerantes son *Candelaria concolor*, *Hyperphysia* sp. y *Physcia* sp., Tanto en san Luis como en Juana Koslay ciudad control control. Y las toxisensibles fueron *Physcia tribacea*, *Physcia undulata* y *Teloschistes* spp.

(Calatayud y Sanz, 2000) sugiere que para utilizar escalas basadas en el cálculo del IPA, es importante que se adapten para cada territorio, ya que la sensibilidad de las distintas especies difieren. Según los investigadores, esta sensibilidad viene relacionada también con factores climáticos (los líquenes en estado seco son menos sensibles al SO₂) o distribución de la especie en el extremo de su área de distribución puede ser más sensible que en una zona donde esté en su óptima condición.

Otro reporte según (estrabou et al., 2011) hecho en el país de Argentina fue en la ciudad de Córdoba, donde realizaron un monitoreo de líquenes en un total de 341 parcelas, de 24x24 km². Tomando tres forofitos en cada área tomando la frecuencia y cobertura del líquen que crecen en el tronco a 1,5 m. para luego analizar cada una de las parcelas muestreadas con el cálculo del índice de pureza atmosférica (IPA) según (Herzig Urech, 1991) basada en la suma de frecuencias de líquenes epifitos en cada parcela correspondiente a los tres forofitos con la fórmula:

$$IPA = \sum_l^n F$$

Las especies encontradas en total en la ciudad de Córdoba fueron las siguientes:

Tabla 2. Lista de especies en respuesta de la contaminación de la atmósfera En Córdoba Argentina.

Species	Growth forms	Response to atmospheric pollution
Family Physciaceae		
<i>Physcia undulata</i> Moberg	Foliose	Resistant
<i>Physcia endochrysea</i> Kremp.	Foliose	Resistant
Family Candelariaceae		
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein.	Crustose	Resistant
Family Parmeliaceae		
<i>Parmotrema pilosum</i> (Stizenb.) Elix & Hale	Foliose	Tolerant
<i>Punctelia microsticta</i> (Müll. Arg.) Krog	Foliose	Tolerant
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) Hale & A. Fletcher	Foliose	Tolerant
Family Ramalinaceae		
<i>Ramalina celastri</i> (Spreng) Krog & Swinscow	Fruticulose	Sensitive
Family Teloschistaceae		
<i>Teloschistes cymbalifer</i> (Meyen) Müll.	Fruticulose	Sensitive
Family Collemataceae		
<i>Leptogium cyanescens</i> (Ach.) Körb	Foliose	Sensitive

Fuente (estrabou et al., 2011)

De las 341 parcelas muestreadas en 18 no se encontró presencia de líquenes, en 102 parcelas solo una especie de líquen y en 14 parcelas alrededor de 6, 7 u 8 especies. Dando un valor menor de tres de IAP en 302 parcelas mostrando una

calidad del aire regular y malo. Y solo en las 39 parcelas restantes dieron valor de IAP tres o mayor mostrando una calidad de aire bueno y muy bueno mostrado en la siguiente tabla

Tabla 3. Números de parcelas, Calidad de aire, Rangos del IAP

Sampled plots	IAP range	Air quality
65	$0 \leq \text{IAP} < 1$	Poor
237	$1 \leq \text{IAP} < 3$	Fair
34	$3 \leq \text{IAP} < 5$	Good
5	$5 \leq \text{IAP} < 7$	Very good

Fuente (estrabou et al., 2011)

Mostrando que *Physcia Undulata* de mayor cobertura y *Physcia endochysdea* la segunda en abundancia, especies nitrofilas demostraron ser resistentes y altamente frecuente en la zona pero teniendo un bajo índice (IAP) siendo mala la calidad del aire por la presencia de oxidos de nitrógeno (estrabou 1998). Las especies de *Ramalina celastri* y *Teloschistes cymbalifer* demuestran ser sensibles y van desapareciendo en áreas más contaminadas como el tráfico vehicular, industrias y demás emisiones, observándose su abundancia en áreas lejanas a estas emisiones por consiguiente la presencia de estas dos especies de líquenes con consideradas como buena calidad del aire (Estrabou et al., 2004).

Arrojando estudio muy similares al de (Lijteroff et al., 2009) en san luis Argentina para la especies de *Physcia Undulata* determinándola como resistente toxifóbicas y la especie *Candelaria concolor* donde la presencia de esta especie está distribuida uniformemente en todos los ambientes (urbanos y naturales).

En Italia (Conti y Cechetti, 2001) evaluaron el índice de pureza atmosférica, basado en el número, frecuencia y tolerancia presentes en cada área de estudio, la formula analizada en este reporte considero el parámetro de la frecuencia de los líquenes presentes en una red de 10 áreas, calculando el número de rectángulos de la red 30x50cm subdividido en las 10 áreas de 15x10cm esto se realiza para cada árbol en cada estación.

$$IAP = \sum f_i$$

El muestreo se realizó en Veneto al norte de Italia en 662 sitios, los valores obtenidos se analizan con el fin de evaluar la calidad del aire a través de la clasificación de (Kommission y DIM, 1995) en la siguiente tabla.

Tabla 4 Niveles de indice de Pureza Atmosferica

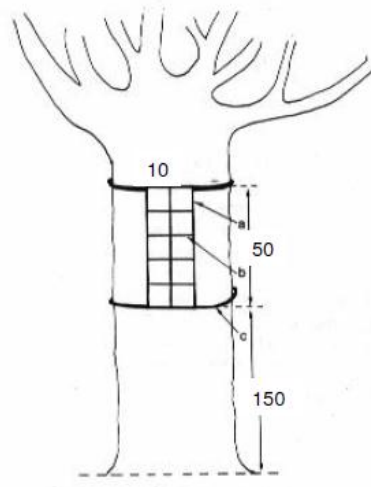
Level A	$0 \leq IAP \leq 12.5$	Very high level of pollution
Level B	$12.5 < IAP \leq 25$	High level of pollution
Level C	$25 < IAP \leq 37.5$	Moderate level of pollution
Level D	$37.5 < IAP \leq 50$	Low level of pollution
Level E	$IAP > 50$	Very low level of pollution

Fuente (Conti y Cechetti, 2001)

Demostrando que *Phycia tenella* se encuentra dentro de las más comunes alrededor de los sitios montañosos, considerada toxitolerante aunque algunos experto están en desacuerdo por su sensibilidad al dióxido de azufre, en ambientes urbanos y áreas cultivadas. Las especies mas tolerantes fueron *Pheophyscia orbicularis* y *Candelaria concolor* encontrándose presentes en desierto de líquenes.

En Bolivia en la ciudad de la Paz (Conseco et al., 2006) se hizo un estudio en 21 lugares de muestreo de líquenes como indicadores igualmente calculando del Índice IAP, de acuerdo a lo propuesto por (García y Rubiano, 1984) y reformulado por (Steubing y Fangmeier, 1992) teniendo en cuenta la selección del forofito, zonas con contaminación y sin contaminación, utilizando la norma VDI-3799 (cartografía de líquenes) a cada forófito seleccionado tal como se muestra en la figura 9. La altura de muestreo modificada entre 1,50 hasta 2 m, por el calado de los árboles que alcanza más de 1 m de altura. Con parámetros de frecuencia, cobertura y presencia de líquenes.

Figura 9 norma VDI-3799 de la rejilla en el forofito



Fuente (Conseco et al., 2006)

Reportando 17 especies de líquenes encontradas de las cuales 12 especies son foliosas: *Candelaria concolor*, *Candelariella reflexa*, *Flavopunctelia flaventior*, *Josefpoeltia boliviensis*, *Phaeophyscia adiastrata*, *Physciella chloantha*, *Physcia undulata*, *Physcia sp 1.*, *Physcia sp 2.*, *Punctelia subrudecta*, *Xanthoria mendozae*, *Xanthoria parietina*. 4 son costrosas: *Caloplaca sp 1.*, *Caloplaca sp 2.*, *Lepraria sp 1.*, *Lepraria sp 2.* y 1 fruticosa: *Teloschistes chrysophthalmus*.

Las de mayor presencia fueron las foliosas tolerantes a la intensidad media del tráfico vehicular *Candelaria concolor*, *Physcia undulata* y *Physciella chloantha*, y *Candelariella reflexa*. Entre las especies más sensibles se han registrado a *Punctelia subrudecta*, *Lepraria sp2*, *Phaeophyscia adiastrata* y *Teloschistes chrysophthalmus*. Estas especies parecen tener un comportamiento más influenciado por el stress generado por la contaminación.

En general la ciudad de la Paz en Bolivia presenta zonas con niveles bajos de contaminación, presentando una diversidad media en líquenes entre 5 a 8 especies teniendo tolerancia alta y media a los contaminantes eso debido al tráfico vehicular liviano, y fuentes fijas como chimeneas de restaurantes. En otras no presentan contaminación caracterizado por poco tráfico vehicular, ausencias de industrias y grandes superficies con vegetación.

5.1.2 Índice de Contaminación Atmosférica En Colombia:

En Colombia el biólogo (Rubiano Luis , 1998) en las industrias de Betania y Termoeléctrica en Zipaquirá Cundinamarca realizo un trabajo de líquenes como indicadores de contaminación debido a que estas industrias sus principales emisiones son partículas sólidas y óxidos de Azufre y Nitrógeno generando aspersiones "in situ", decidió registrar las especies tomando como criterio la presencia del forofito, dirección del viento, cercanía de la industria y la termo eléctrica y la lejanía de la fuente de los contaminantes, realizando así 22 muestreos . para luego tener una relación con el índice de Pureza Atmosférica de (Le Blanc y Sloover, 1970) a través de la formula

$$IPA_j = \sum_n \frac{Q_i \times f}{10} \text{ donde:}$$

IPA_j. Índice de pureza atmosférica de la estación j

Q_i: factor de resistencia de la especie i

F: frecuencia- cobertura de la especie i expresada en una escala de 1 a 5 (Braun Blanquet).

En el presente trabajo se se modificó la escala de Braun Blanquet a valores mas reales y cuantitativos a través de la cobertura relativa que se expresa mediante el cociente entre el valor de cobertura total de la especie. Quedando así:

$$IPA_j = \frac{Q_i \times f_i}{n} \times C_i$$

Dando como conclusiones a través del IPA que la contaminación no siempre limita sino que en algunos casos favorece la propagación de la especie, desaparecen la especies sensibles y sobreviven las tolerantes como es el caso de de *Heterodermia c.f albicans*, *Parmotrema perlatum*, *Teloschistes exilis* y *Ramalia celastri*. En comparación con las especies mas sensibles *Heterodermia hypoluccia*, *Heterodermia flabellata*, *Usnea s.p.*, *Parmotrema Sp.*, *Lobaria s.p.*, la presencia de estos últimos líquenes en mayor cantidad nos indican una zona de baja o ninguna contaminación. Demostrandose ausencia de estas cercanas a la industria y la Termoeléctrica.

Según (Rubiano y Chaparro , 2006) reporte hecho en el campus de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, fue la Isocontaminacion atmosférica mediante la evaluación de la presencia, frecuencia, abundancia y

diversidad de los líquenes presentes en los siguientes forofitos urapán o fresno (*Fraxinus chinensis*), álamo temblón (*Populus tremuloides*) y a la yuca (*Yucca elephantipes*) presentes en el área.

Para su evaluación tomaron en cuenta el índice de pureza atmosférica (IPA) diseñado por (Blanc y De Sloover, 1970) correspondiente en los niveles de límites (6,10,22):

IPAs 0 a 6 = Contaminación máxima

IPAs 6 a 10 = Contaminación alta

IPAs 10 a 22 = Contaminación moderada

IPAs >22 = Contaminación baja o sin contaminación

Reportando de las 21 estaciones en 4 zonas muestreadas 19 líquenes:

- *Flavopunctelia flaventior*
- *Parmotrema perlatum*
- *Lecidea* sp.
- *Protococcus* sp.
- *Heterodermia albicans*
- *Physia* sp
- *Candelaria concolor*
- *Lecanora* sp.
- *Usnea* sp.
- *Thelotremataceae*
- *Lepraria* sp.
- *Heterodermia obscurata*
- *Parmotrema* sp.
- *Ochrolechia* sp.
- *Ramalina celastri*
- *Parmotrema crinitum*
- *Pertusaria* cf. *subpertusa*
- *Rhizoplaca* sp.
- *Peltigera* sp.

Donde las zona 1 resulto con contaminación máxima, la 2 contaminación alta, la 3 contaminación moderada, y la 4 zona de contaminación baja. La zonas con más contaminación se debe a los lugares donde se encuentras las fuentes móviles y fuentes fijas como chimeneas, exhostos, calderas, extractores de laboratorios y los parqueaderos. Contrario a la zona baja en contaminación ubicados en el centro del sector de la universidad ya que se encuentra muy arbolizada y sus escasas edificaciones siendo un protector que bloquea las emisiones externas.

Otro reporte fue hecho en Medellín en el valle del aburra (Jaramillo y Botero, 2010) profundizando en la diversidad, morfología, y desarrollo de la comunidad líquénica en cuatro especies arbóreas que son *Terminalia catappa* Linneaus (almendro), *Eritrina fusca* Loureiro (búcaro), *Mangifera indica* Linneaus (mango) y *Fraxinus chinensis* Roxb. (urapán) como alternativa para evaluar la potencialidad de los líquenes como bioindicadores. Utilizando el índice de pureza atmosférica manejado en (Rubiano 1983).

Reportándose 8 especies en total siendo 5 foliosas: *Canoparmelia* sp. , *Heterodermia speciosa*, *Normandina pulchella*, *Parmotrema austrosinense*, *Sp 1* , 2 crustáceas que son *Pixine petricola*, *Candelariella solediosa* y una fructicolosa *Cladonia* sp.

En varios estudios han reportado que la presencia de la especie *Normandina pulchella* es un indicador de baja contaminación atmosférica. (Geiser y Neitlich, 2007; Munzi, et al., 2007; Castello y Skert, 2005; Gombert, et al., 2004; Loppi, et al., 2002). La presencia de *Parmotrema austrosinense* (Cañas et al.,1997) determina la potencialidad para diferenciar alta y baja contaminación en estudios ex situ. Las especies *Canoparmelia* sp. y *P. austrosinense* podrían ser usadas como bioindicadores de buena calidad del aire en el Valle de Aburrá.

5.2 Trasplante de Líquenes

Es utilizado cuando en una ciudad es escasa la presencia de líquenes debido principalmente al flujo de tráfico u otras emisiones urbanas (Carreias et al .,1998). (Brodo ,1968) fue el primero en realizar el método que consistió en coleccionar especies de *Parmelia caperata* en Long Island en New York en un sitio lejano a emisiones de azufre para luego adaptarlos en varias partes de la ciudad mostrando daños en su coloración de amarillo a blanco.

(Gonzalez y Pignata, 2000) utilizan el liquen *Canomaculina pilosa* para trasplante en 21 sitios de muestreo en Córdoba Argentina, colocándolos en espacios con flujo vehicular, industrias, y distancias de planta. Determinaron el índice de contaminación para cada sitio de muestreo, teniendo en cuenta clorofila a, b, feofitina a, proteínas solubles y acumulación de azufre. Demostrando resultados donde *C. pilosa* es sensible a la contaminación del aire, siendo relacionado con la emisión en la parte industrial ya que presenta alteraciones en feofitina a/clorofila a , la acumulación de azufre asociados a los indicadores de los daños causados por dichas emisiones sobre esta especie. La abundancia de esta especie en ambientes no contaminados en la provincia de Córdoba Argentina la hace un buen indicador de contaminación.

El estudio de (Kaffer et al ., 2011) que se realizó en la ciudad de porto alegre al sur de Brasil trasplantando en tres estaciones del sitio en un tiempo de siete meses las especies *Parmotrema tinctorum* (Nyl.) y *Teloschistes exilis* (Michx.). Con el fin de evaluar presencia de contaminantes atmosféricos detectando SO₂ .

Siendo *Parmotrema tinctorum* donde se acumula más contaminante por su sensibilidad y acumulación debido a que esta especie es foliosa en contraste con *Teloschistes exilis* que es fruticosa.

Contrarrestado con la investigación de (Ljubic et al., 2010) realizado en Eslovenia un país de Europa Central donde utiliza *Pseudevernia furfurácea* organismo epifito seleccionado como control biológico. Debido a su fácil recolección, su capacidad de crecer en sustratos ácidos y su sensibilidad a la contaminación del aire (Hawksworth y Rose 1976). Lo que se hizo fue trasplantarlos a varios sitios cerca de la planta de cemento por nueve meses con la finalidad de evaluar la concentración de Mercurio emitida por esta, dando resultados positivos con un aumento de la concentración de mercurio en los líquenes en horas de trabajo.

(Loppi y Frati, 2005) utilizó este método en el centro de Italia en dos sitios del municipio de Colle di Val d'Elsa, utilizando 15 líquenes epifitos de la especie *Evernia prunastri* recolectada por su alta distribución y baja polución de metales en una zona lejana a contaminación atmosférica llamada región de Chianti lo que quisieron fue adaptarlos en lugares y clasificar en tres valores que son las especies que son: 1) sin la frecuencia de las especies nitrophytic (ILDNN), reflejan la contaminación del aire por los gases fitotóxicos, 2) frecuencia de las especies (nitrophytic ILDN), reflejan la eutrofización, y 3) frecuencia de especies estrictamente nitrophytic (ILDSN), reflejan amoníaco contaminación. Dando resultados donde indican contaminación atmosféricas de óxidos de nitrógeno y Pb posiblemente al tráfico de vehículos, industrias y que la mayor parte del área está eutrofizada debido a actividades agrícolas, ganaderas.

En Israel para determinar el impacto de una industria de combustión de fosiles en la bahía también utilizo el método de trasplante de la especie *Ramalina lacera* para estudiar sus alteraciones fisiológicas expuestos a altos grados de contaminación. Encontrándose la integridad fisiológica del liquen está determinada por la conductividad eléctrica, que se reduce al degradarse las membranas celulares del talo del liquen, por contaminación atmosférica. (Garty et al 2000).

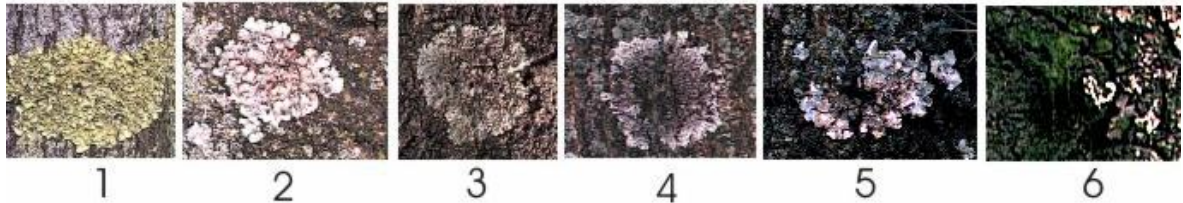
(Toscano, M. 1999) en Colombia en la ciudad de Bucaramanga seleccionó las especies de líquenes *Parmotrema* sp1, *Parmelia flaventor*, *Usnea* sp1. para realizar un monitoreo suministrando concentraciones de dióxido de azufre en forma gaseosa para cuantificar las concentraciones de dióxido de azufre.

Mostrando que la especie *Parmelia flaventor*, mostro una reducción en el cual su colocacion cambia a marron por efecto de la degradación de la clorofila a feofitina, demostrando efecto acumulativo de las emisiones vehiculares en forma de dióxido de azufre.

La alternativa de trasplantar especies de líquenes a lugares donde se quiera analizar contaminantes atmosféricos es una alternativa dando resultados positivos en estudios hechos anteriormente. Por lo general estos muestran degradación en la clorofila siendo eficaz con el nivel de contaminación.(Boonpragob, 2002)

5.3 Cambios Morfológicos en el líquen por Contaminación Atmosférica:

Figura 10. Desintegración y Necrosis Del líquen por Contaminación Atmosférica



Tomado de la universidad Nacional por Rubiano, J(2006)

1. Líquen normal
2. Empardecimiento del centro por contaminación
3. Muerte del centro del talo
4. Formación de un anillo presentándose necrosis en el centro
5. Se presenta formación de una media luna por muerte en la mayoría de todo el talo
6. Necrosis total por lo cual desaparece el talo. Presentándose un desierto de líquen

En un estudio reportado en Bolivia por (estrabau, et al., 2004) estudiaron efectos de la contaminación sobre los parámetros reproductivos y morfológicos de cuatro especies liquénicas en dos áreas urbanas y un sitio control. Las cuatro especies liquénicas fueron antes identificadas como resistente, tolerante y sensible a la contaminación. Las especies fueron colectadas sobre corteza de *Melia azedarach* L. (“paraíso”), situado en las ciudades de Córdoba, Río Cuarto y Río Ceballos. Se removieron 50 ejemplares para cada especie. Analizando en cada especie color del talo, cobertura , número de apotecios, soledios, necrosis del

talo, cambios en el tamaño del talo, espesor de corteza superior e inferior, número de algas y se generó un índice de fertilidad.

Dando como resultados En la especie de *Ramalina celastri* como sensible, disminución del talo hasta la mitad de lo normal, oscurecimiento, presencia de material particulado y áreas necrosadas. *Physcia endochrysea*, especie resistente, presentó sólo pequeños cambios en áreas contaminadas. En especies resistentes la tasa de fertilidad muestra disminución en áreas contaminadas. En *Canomaculina pilosa*, especie tolerante, observándose reducción del talo y oscurecimiento. En los soledios áreas necróticas. *Physcia undulata* especie resistente con menores cambios y mayor desarrollo en áreas urbanas. El espesor de corteza superior e inferior es el carácter más variable.

5.4 Condiciones Atmosféricas:

Dentro de este grupo están la temperatura del aire y sus variaciones con la altura, inversión térmica, precipitaciones, insolación.

Temperatura del aire y sus variaciones con la altura: El Gradiente Térmico Vertical (GTV). Si con la altura la temperatura va disminuyendo en suficiente proporción, los contaminantes ascenderán con el aire y según lo hagan se irán expandiendo, disminuyendo su concentración, hasta alcanzar la estratosfera, donde los vientos en altura los dispersarán totalmente.

Por el contrario, hay dificultad para que se produzca la dispersión de los contaminantes cuando no hay corrientes ascendentes de aire. Una situación especialmente grave se da cuando hay inversión térmica (zona donde el aire asciende en altura en lugar de descender), ya que los contaminantes quedan

atrapados cerca de la superficie. Los anticiclones favorecen la formación de nieblas contaminantes. Sin vientos importantes, temperaturas bajo cero y una gran estabilidad atmosférica no hay dispersión ni dilución de contaminantes. Con anticiclones es más probable que se den situaciones de inversión térmica donde las temperaturas a nivel del suelo son inferiores a las temperaturas en altura.

Las inversiones se dan frecuentemente durante la noche, como consecuencia del enfriamiento del suelo; también por el movimiento de una masa de aire desde una zona cálida a otra fría o por el choque de dos masas de aire con humedad, presión y temperaturas diferentes (una masa polar y otra tropical).

- Velocidad del viento. Determina una mayor o menor rapidez en la dispersión de los contaminantes.

- Dirección del viento. Determina el área hacia donde se pueden desplazar los contaminantes emitidos.

- Precipitaciones. Producen un efecto de lavado sobre la atmósfera, arrastrando los contaminantes al suelo.

- Insolación. La radiación solar favorece las reacciones que dan lugar a algunos contaminantes secundarios (reacciones fotoquímicas).

6 Contaminantes Atmosféricos En los Líquenes

Los contaminantes se dividen en dos grupos los primarios aquellos que se derivan directamente de las fuentes de emisión, y los secundarios aquellos producidos por la interacción química de los contaminantes primarios y los componentes normales en la atmosfera. Los primarios son el Dioxido de azufre SO_2 , oxidos de nitrógeno NO_x , material particulado y el monóxido de carbono.

En los aspectos atmosféricos del aire se distinguen la química del aire, la meteorología, el transporte y la dispersión del contaminante.

En la química del aire se enfoca los procesos de transformación que van teniendo los contaminantes atmosféricos, la duración que llegan a tener, a través de la dispersión por los efectos del viento y movimiento de partículas.

6.1 SO_2 en la atmosfera:

Se genera en la combustión de cualquier combustible que contenga azufre, resaltando los procesos industriales, la fuentes móviles en especial transporte pesado como buses y camiones que usan combustible Diesel. En las fuentes estacionarias como el carbón bituminoso, calderas y hornos.

El SO_2 se oxida en SO_3 cuando está en presencia de aire y de la radiación solar, transformándose en ácido sulfúrico cuando el SO_3 se combina con el agua. (Harrison, 1990). En presencia de hidrocarburos y de óxidos de nitrógeno, la transformación de SO_2 a SO_3 aumenta, además la oxidación de este tipo va acompañado de aerosoles.

Debido a la contaminación atmosférica por SO₂ la vegetación ha sufrido lesiones en los procesos fisiológicos, crecimiento, productividad, y la calidad.

(Deltoro et al ., 1999) reporta que numerosos trabajo sobre los efectos del SO₂, cuando se somete los líquenes a elevada concentración de este gas por largo tiempo, se produce reducción en la fotosíntesis, alterando varios procesos. El SO₂ interfiere en el flujo de electrones al NADP+, en los cloroplastos actúan como inhibidor, entrando a competir con la ribulosa- bifosfato carboxilasa, produciendo su degeneración. En la península de Iberica la especie *Parmelia quercina*, liquen folioso resistente al SO₂ contrario a *Usnea sp* reportada como sensible a este gas, teniendo problemas en su supervivencia

La influencia del SO₂ varía dependiendo de la especie (hawksworth y rose, 1976) reporta *Lobaria pulmonaria* una de las especies más sensibles, probablemente a la presencia de isidios estructura vegetativa en la reproducción asexual, ubicada en la superficie superior del talo. Contrario a la especie *Hypogymnia physodes* siendo resistente al SO₂ (Garty et al., 1995) esta especie se ha expuesta incluso a H₂SO₄ y no ha tenido ningún efecto. Encontrándose su presencia en una planta de fertilizantes in Finlandia donde los niveles de azufre se encuentran en los 3000ppm.

El SO₂ causa en los humanos problemas de respiración, afecta las mucosas como a la ocular. se distingue a baja concentración por su mal olor a huevos podridos, procede principalmente del metabolismo anaerobio, descomposición de materia orgánica aunque también de volcanes, escapes de refinerías de petróleo y fábricas de gas.

6.2 Compuesto de Nitrógeno:

NO₂ (gas pardo rojizo, olor asfixiante, muy tóxico), N₂O (gas incoloro, no tóxico), NH₃ (amoníaco de olor irritante). Gran parte del NO se transforma en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas y el amoníaco se oxida a óxidos de nitrógeno. Óxidos de nitrógeno (NO_x) son todos excepto el amoníaco NH₃. Su origen se da en las motos, vehículos, aviones y la parte industrial en la fabricación de fertilizantes, en tormentas, erupción volcánica, en el crecimiento el NO₂ se incrementa el efecto invernadero debido al tráfico vehicular.

Cladonia portentosa es un excelente indicador para el estudio de los productos químicos de precipitación y las concentraciones de nitrógeno (Hyvarinen y Crittenden, 1998), la correlación entre el nitrógeno en deposición y el nitrógeno acumulado en los líquenes es positivo. Refiriéndose a las concentración que se encuentran en los talos.

Según (Gadsdon et al, 2010) en Londres reportan la especie *Ramalina menziesii* tener efectos negativos, cuando es trasplantada en ambientes contaminados por la deposición de partículas de NO₃ afectando la composición de la especie con gran impacto.

Siendo algunas especies totalmente opuestas a su relación positiva que puede tener con las concentraciones de NO₂, tolerando niveles altos de contaminantes nitrogenados posiblemente a su baja capacidad de intercambio catiónico de las especies de *Xanthoria* y *Physcia* reportado en Londres.

6.3 Óxidos de carbono.

Es el contaminante del aire más abundante porque el CO₂ no se considera contaminante propiamente dicho, por ser producido en la respiración y usado en la fotosíntesis, CO₂ se origina en la Combustión de combustibles fósiles y de biomasa genera CO₂ si hay suficiente oxígeno, si no forma CO combustión incompleta, los vehículos generan mucho CO, erupciones volcánicas e incendios forestales generan ambos óxidos de carbono.

El CO₂ se forma en la respiración celular de los seres vivos. La degradación de la clorofila, la emisión por los océanos y descomposiciones anaerobias de metano (CH₄). Efectos en la salud en el aparato respiratorio y circulatorio (CO) ya que el monóxido de carbono bloquea la capacidad de la hemoglobina para transportar el oxígeno ya que se une a la hemoglobina, puede causar muerte por asfixia incluso a muy bajas concentraciones ya que su afinidad por la hemoglobina es más de 200 veces mayor que la del oxígeno.

(Kaffer et al ., 2011) en Brasil se reporta reducción de CO en los líquenes *Parmotrema tinctorum* y *Teloschistes exilis* luego de una exposición a dos , cinco y siete meses en tres estaciones expuestas a contaminantes atmosféricos. Eso probablemente se debe a compuestos orgánicos absorbidos por partículas de PM₁₀.

6.4 Metales pesados.

Son elementos químicos de masa atómica y densidad elevadas presentes en la atmósfera como partículas y en pequeñas concentraciones. Se consideran muy peligrosos, puesto que no se degradan ni química ni biológicamente, por lo que se

acumulan en los seres vivos transfiriéndose a través de las cadenas alimentarias, entre los más nocivos destacan: Pb, Cd, Hg, Ar, Ni

Según (Garty et al 2000) en Israel recolectaron 500 especies de *Ramalina lacera* del bosque Hazorea con polución limpia en calidad del aire, para luego trasplantarlas en Israel y 10 sitios alrededor de la industria de combustión a mediados de junio a enero de 2001, se midió y analizó en el laboratorio el contenido de los elementos del Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Sr, V y Zn presentes en los líquenes expuestos a la contaminación atmosférica utilizando el método del plasma acoplado a la espectrometría de emisión atómica.

Teniendo valores para vanadio (V) en siete sitios mayor que la muestra control, para el Boro(B), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn) y Azufre (s) en cinco sitios valores mayor a la muestra control. Para el Bario (Ba), Cobre (cu), Silicio (Si), Estaño (Sn), Titanio (Ti), Zinc (Zn) no mostraron un enriquecimiento significativo en relación con los valores de control en cualquiera de los sitios. En algunos sitios, los valores obtenidos para Ca, Na, y Si mostraron valores por debajo del muestra control, finalmente para Mercurio(Hg) y Cadmio (Cd), Arsenico (As) no dio ningún resultado.

La presencia de Plomo (Pb), cromo (Cr), níquel (Ni) se encuentra relacionado con la actividad vehicular, el alto contenido de calcio (Ca) por la capa superior del suelo calcáreo, y el alto contenido de sodio (Na) se debe a los aerosoles en especial los sitios cercanos al mar mediterraneo

(Naeth y Wilkinson, 2008) reportan en Canadá líquenes como bioindicadores del

aire en una mina de diamantes en territorios del noroeste. Utilizando tres especies en la biocumulación de metales pesados, componentes de gases de efecto invernadero y orgánicos compuestos en el tejido de líquenes de *Flavocetraria nivalis*, *Flavocetraria cucullata*, y *Cladina arbuscula*.

Para el análisis del Sulfato (SO₄), nitratos (NO₃) y amonio (NH₄) se hace mediante cromatografía iónica. Los elementos como plata (Ag), aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), litio (Li), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn), estroncio (Sr), talio (Tl), vanadio (V) y zinc (Zn), se determinaron mediante espectrometría de masas de plasma acoplado.

En *Flavocetraria nivalis*, sus tejidos afectados fue por SO₄, NO₃ y NH₄, en *Flavocetraria cucullata* SO₄ y NO₃ y *Cladina arbuscula*. SO₄ y NH₄. En general las concentraciones de NO₃ fueron bajas, en cambio los niveles de SO₄ a pesar de la distancia de la mina se hallaron presencia de este gas debido a las actividades fuera de área de trabajo.

En relación con los elementos *Flavocetraria nivalis* tenían considerablemente más alto acumulaciones de Ca, Cd, Mg, Mn y Sr y la especie de *Flavocetraria* acumularon más de NH₄, Fe, P, K y Na. y *Cladina arbuscula* acumula significativamente As, Ba, Fe, Li, Mo, Tl, Sn y Si.

La morfología y la estructura desempeñan un papel importante en la acumulación de estas especies en *Cladina arbuscula* por ser una especie fruticosa por su forma

ramificada es más propensa a acumular partículas en suspensión, metales pesados. Contrario a la especie *Flavocetraria nivalis* es foliosa impide las partículas en suspensión dando lugar solo a concentraciones de elementos mayores. y la especie *Flavocetraria cucullata* combina las dos formas de crecimiento y se encoge sobre las ramas de esta manera obtiene partículas en la superficie y reduce la erosión del viento o el agua.

En Brasil en la ciudad de porto alegre (Kaffer et al ., 2011) anteriormente mencionada en el método de trasplante para las especies de *Parmotrema tinctorum* y *Teloschistes exilis* se presenciaron alteraciones morfológicas en el talo. La absorción de S, Pb, Cr, Zn, Hg PAHs en los tejidos de especies de líquenes indica que sufre daños debidos a la presencia de estos contaminantes. Siendo *Parmotrema tinctorum* apropiada para la evaluación de la atmosfera en entornos urbanos

Otro reporte realizado en Francia por (Grangeon et al., 2012) en la ciudad de Grenoble en una planta cloroalcalina de mercurio, fue evaluar el contenido de mercurio en la especie *Xanthoria parietina* presentes alrededor de la planta. a través de espectrometría de absorción atómica arrojando resultados altos de mercurio cerca de la planta, disminuyendo el valor solo en las especies ubicadas a los 2km de distancia. Mostrando la importancia que tienen los líquenes en como indicadores de Hg, debido a que es un peligro si no es controlado estas emisiones ya que las poblaciones de los alrededores utilizan el terreno para la agricultura.

7. CONCLUSIONES

- El empleo de líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica es una herramienta fácil y de bajos costos, proporcionando información, resultados rápidos frente a las alteraciones que se van presentando en el medio, dando una relación equitativa a mayor polución en el aire mayor será la polución absorbida por el líquen.
- El índice de pureza atmosférica nos indica cuanta cobertura se encuentra en el sitio que se quiere evaluar dando resultados cuantitativos a través de rangos establecidos en la pureza del aire con los líquenes que se encuentren en los forofitos. Otra alternativa son los métodos de trasplante ofrece una facilidad tanto para seleccionar los sitios que se van a ubicar y los líquenes a utilizar dando respuesta a cambios de coloración en las especies permitiendo una respuesta rápida a la calidad del aire.
- En las zonas con calidad de aire de niveles de polución alto las especies fruticasas y foliosas son mucho más sensibles demostrando ser buenas indicadoras frente a las crustosas que son tolerante en ambientes de contaminaciones atmosférico alto.
- Los resultados han mostrado que las condiciones de calidad del aire empeoran en los sitios donde las emisiones vehiculares son mas relevantes demostrando presencia de Plomo (Pb), cromo (Cr), níquel (Ni) disminuyendo o desapareciendo completamente las especies líquenes.

- Para Colombia estudios con líquenes como indicadores son muy escasos por eso la importancia de transmitir esta información de lo importante que pueden llegar hacer para posteriores investigaciones en la calidad del aire.

8. BIBLIOGRAFIA

- Ahmadjian, V. (1995). Lichens are more important than you think. *Bioscience*. **45** (4): 124.
- Belnap, J., Lange, O.(2005) Lichens and Microfungi in Biological Soil Crusts: Community Structure, Physiology, and Ecological Functions. *Mycology*. **23** (3): 117-138.
- Blanc, L., De Sloover, J.(1970). Relation Between Industrialization and the Distribution and Growth of Epiphitic Lichens and Mosses in Montreal. *Can J Bot*. **48**(4):1486-1496.
- Boonpragob, K., (2002). Monitoring physiological change in lichens: total chlorophyll content and chlorophyll degradation. *Nato Science Series*. **7** (4): 323-326.
- Brodo, I. (1973). Substrate Ecology. *Academic New York*. **5** ():401-441
- Carreias, H. Gudino, D., Pignata, M.(1998). Comparative biomonitoring of atmospheric quality in five zones of Cordoba city (Argentina) employing the transplanted lichen *Usnea* sp. *Environmental Pollution* **103**, (2):317- 325.
- Calatayud, L., Sanz, M.(2000). *Guía de Líquenes Epífitos*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid, 185.
- Cislaghi, C., Nimis, P. (1997). Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* **387** (1): 463–464.

- Conti, M., Cecchetti G. (2001). Biological Monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment. *Environmental pollution*. **114**, (7): 471-492.
- Estrabau, C., Fillipinis, E., Soria, J., Schelotto, G., Rodriguez, J. (2011). Air Quality Monitoring System Using Lichens as Bioindicators in Central Argentina. *Environ Monit Assess*. **183** (4): 375-383.
- Estrabou, C., stiefkens L., hadid, M. (2004). Efectos de contaminación del aire sobre la morfología y reproducción en cuatro especies de líquenes. *Ecología en Bolivia*. **39** (2):33-45.
- Filho, X., Toledo, R.(1976). Manual de liquenologia brasileiro. Smithsonian Institution Libraries 436.
- Gadsdon, S., Dagley, J., Wolseley, P., Power, S. (2010). Relationships between lichen community composition and concentrations. *Environmental Pollution*. **158**(6):2553-2560
- Galun, M. (1998) Handobook of lichenology. CRC Press.
- García L. y Rubiano O. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Cont. Amb*. **8** (13): 73-90.
- García, L., Rubiano, L. (1984) . Comunidades de Líquenes como Indicadoras de niveles de Calidad de Aire en Colombia. *Cont. Amb* **8** (13):95-125.
- Garty, J., Kauppi, M., Kauppi, A.(1995). Differential reponses of certain lichen species to sulphur-containing solutions under acidic conditions as

expressed by the production of stress ethylene. *Environ. Res.* **69** (2): 132-143.


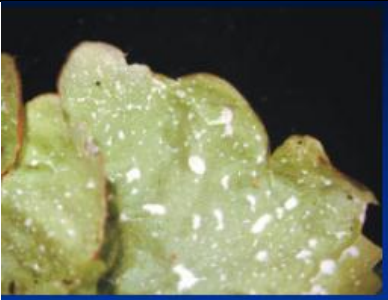

- Garty, J., Tomer, S., Levin, T., Lehra, H. (2003). Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. *Environmental Research.* **91** (2): 186-198.
- Grangeon, S., Guédron, S., Asta, J., Sarret, G., Charlet, L. (2012). Lichen and soil as indicators of an atmospheric mercury contamination in the vicinity of a chlor-alkali plant (Grenoble, France). *Ecological Indicators.* **13** (1):178-183.
- Hawksworth, D., Rose, F. (1976). *Lichens as Pollution Monitors*. London: Edward Arnold. *Studies in biology.* **66**
- Herk C. (2001). Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenol.* **33** (9): 419-441.
- Jaramillo, M., Botero, L. (2008) Lichen communities as bioindicators of the Aburrá Valley air quality. *Journal of Environmental Quality.* **37**(4):167-1684.
- Käffer, M., Lemos, A., Apel, M., Rocha, J., Martins, S., Vargas V. (2012). Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. *Environ Pollut.* **163** (3):24-31.
- Kavacs M. (1992) biological Indicators in environmental protection, Ellis Horwood in environmental management. *Science and technology.* **43** (7): 64-74.





- Lijteroff, R., Lima L., Prieri, B.(2009) uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de san Luis, argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* . **25** (2):111-120.
- Loppi, S., Frati, L. (2006). Lichen diversity and lichen transplants as monitors Of air pollution in a rural area of central Italy. *Environmental Monitoring and Assessment.* **114**(4):361–375
- Mayz, F. (2003) Biological Nitrogen Fixation. *Udo Agrícola* **4** (1): 1-20
- Nash, T., Ryan, B, Gries, C., Bugartz, F., (2001). *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region.* Tempe, AZ **1**.
- Nieboer, E., Richardson, H.(1982) Lichens as monitors of atmospheric deposition. *Atmospheric pollutants in natural waters.* *Arbor science.* 339-388.
- Nimis, P., Scheidegger, C., Wolseley, P. (2002). *Monitoring with lichens monitoring lichens.* *Nato Science* **7** (4): 408.
- Nylander, W. (1866.) *Les Lichens Du Jardin Luxembourg.* *Bot.fr.* **13** (2):364-372.
- Per, P. (2001). *The Nostoc Symbiont of Lichens. Diversity, Specificity and Cellular Modifications.* *Universitatis upsaliensis.* **6** (1) :55
- Purvis, W. (2000). *Lichens.* The Natural History Museum , London, 112 p.
- Rubiano, L., Chaparro, M. (2005) *Delimitation of Atmospheric Iso-Contamination Areas in the Universidad Nacional de Colombia Campus by Analysis of Bioindicators (Epiphitic Lichens)*





- Toscano, M. (1999). Analisis de contaminacion atmosferica por SO₂ mediante fluorescencia en liquenes. Tesis universidad industrial de Santander.

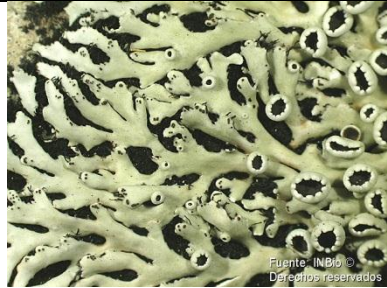

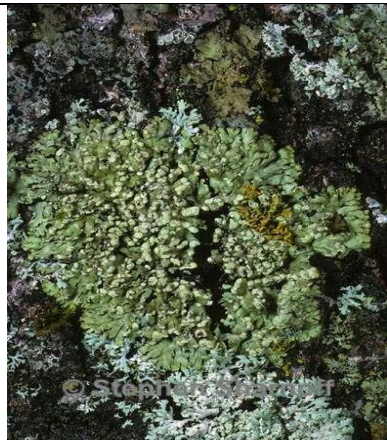
9. ANEXOS


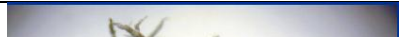



CATALOGO DE LIQUENES:


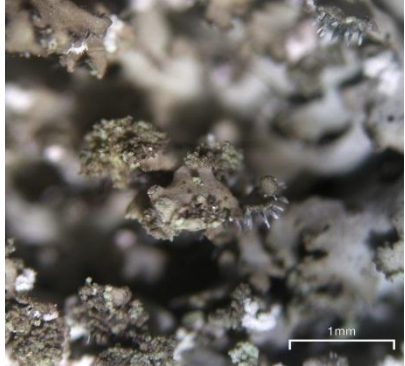


NOMBRE CIENTIFICO	IMAGEN
<i>Candelaria concolor,</i>	 <p>(Rubiano, L 2005)</p>
<i>Flavopunctelia flaventior</i>	 <p>(Rubiano, L 2005)</p>
<i>Ramalina celastri</i>	 <p>(Rubiano, L 2005)</p>

<p><i>Parmotrema perlatum</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Physcia Undulata</i></p>	
<p><i>Teloschistes exilis</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Teloschistes chrysophthalmus</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Physcia sp</i></p>	 <p>(Rubiano, L 2005)</p>

<p><i>Physcia tribacea</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Physcia undulata</i></p>	 <p>(Hollinger, J 2011)</p>
<p><i>Physcia tenella</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Heterodermia hypoleuca</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>

<p><i>Heterodermia flabellata</i></p>	 <p>(Lüking Robert)</p>
<p><i>Heterodermia c.f albicans</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Pheophyscia orbicularis</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>

<p><i>Candelariella reflexa</i></p>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<p><i>Xanthoria mendozae</i></p>	
<p><i>Usnea s.p.,</i></p>	 <p>(Rubiano, L 2005)</p>
<p><i>Parmotrema Sp</i></p>	 <p>(Charny, Vitaly)</p>
<p><i>Xanthoria parietina</i></p>	

	(Flechte, Jahres 2007)
<i>Josefpoeltia boliviensis</i>	 <p>(Poelt, S. Kondry Kärnefelt)</p>
<i>Phaeophyscia adiastrata</i>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<i>Physciella chloantha</i>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>
<i>Punctelia subrudecta</i>	 <p>(Nash, T et al,2001)</p>