



Respuestas de plantas y líquenes como bioindicadores

Cecilia Estrabou

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables.

Resumen

En el presente trabajo se exponen conceptos generales sobre contaminación, atmósfera, tipo y efecto de los contaminantes y sus ciclos. Se describen particularidades relevantes de la ciudad de Córdoba con relación a la contaminación. Se detalla la acción de los contaminantes más comunes en la atmósfera urbana sobre vegetales y líquenes para poder interpretar el concepto de bioindicación, su dinámica y criterios para selección de bioindicadores. Finalmente se presenta una escala cualitativa y sencilla de presencia y cobertura de líquenes para una estimación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes.

Abstract

General concepts about air pollution, atmosphere and types and effects of pollutants are presented in this paper, with special focus on the case of the city of Córdoba (Argentina). Detailed descriptions of the most common pollutant actions in urban atmosphere on plants and lichens are given. Finally, a simple qualitative scale (based on coverage and presence of lichens) to estimate air quality is presented.

La atmósfera

La atmósfera es un reservorio de gases cuya composición normal está dada por Oxígeno en un 21%, Nitrógeno en un 78% y otros gases como Argón, Dióxido de Carbono, Neón y Helio que representan el 1% restante. Esta fina capa que envuelve La Tierra cumple una serie de funciones vitales para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, por un lado protege de la llegada de los rayos X, ultravioletas y de los rayos cósmicos provenientes del espacio. La interacción entre la atmósfera y la energía solar se manifiesta también en el control de la entrada de rayos infrarrojos que calientan la tierra y de luz visible creando las condiciones globales del clima.

De los compuestos presentes en la atmósfera, el O₂ y el CO₂ son los elementos fundamentales que utilizan los seres vivos. Por el proceso de fotosíntesis, las plantas, algas y algunas bacterias usan el CO₂ para generar azúcares y otras moléculas orgánicas para el metabolismo y también utilizan el O₂ para la obtención de la energía química de la célula.

La contaminación

La contaminación del aire consiste en gases, líquidos o sólidos, presentes en la atmósfera en niveles suficientemente elevados como para generar daños en humanos, otros animales, plantas o materiales. Altos niveles de contaminantes pueden provenir de fuentes naturales, como por ejemplo la erupción de un volcán, o de fuentes generadas por la actividad humana, que es la contribución más importante. Esta última contribución se torna crítica para la salud humana en las grandes concentraciones urbanas.

Los contaminantes aerodispersantes se dividen en dos categorías: Primarios y Secundarios

Contaminantes Primarios:

Son los emitidos a la atmósfera en forma directa por una fuente identificable. Los más representativos son los óxidos del carbono, dióxido de azufre, óxidos del nitrógeno, partículas e hidrocarburos.

Contaminantes Secundarios:

Son los que se forman en la atmósfera por interacción física o química entre dos o más contaminantes primarios o entre uno de ellos y algún componente normal, con o sin interacción de la radiación solar. Algunos ejemplos son el ozono, trióxidos de azufre y aldehídos.

Las dos fuentes antrópicas más importantes que generan contaminantes aerodispersantes son la industria y el tránsito.

Las **partículas** son de origen sólido o líquido, provienen de polvo, ácido sulfúrico, hierro, asbestos, etc., y debido a su pequeño tamaño permanecen suspendidas en el aire. Algunas de tamaño inferior a 0,1 mm. dispersan y absorben parte de la luz solar, se las denomina genéricamente "aerosoles"; esta propiedad es lo que ocasiona que las zonas urbanas reciban menos luz solar y por lo tanto, menos calor además de reducir la visibilidad. Las partículas pueden corroer metales, edificios y esculturas, sobre todo cuando el aire es húmedo y las partículas forman un "spray". Fácilmente son inhaladas por las vías respiratorias de los animales, produciendo problemas en las mismas siendo de alta peligrosidad cuando provienen de asbestos y hierro.

Oxidos del Nitrógeno, son gases producidos por la interacción química entre en nitrógeno y el oxígeno como el óxido nítrico que es emitido por automotores o por fuentes estacionarias de combustión y el dióxido de nitrógeno (NO₂) que es producto de industrias químicas. Su presencia, en general, inhibe el crecimiento de las plantas, y en los animales puede ser inhalado con consecuencias para la salud. Participan en los procesos de formación de **smog fotoquímico, calentamiento global y lluvia ácida**, de los que brevemente se hablará más adelante.

Óxidos de Azufre, son gases producidos por interacción química entre azufre y oxígeno. El SO₂ es un contaminante primario y se produce como resultado de la quema de carbón, coque o petróleo ya que estos combustibles tienen azufre como componente. El SO₃ es secundario; éste, al reaccionar con agua en la atmósfe-

ra produce ácido sulfúrico, otro contaminante secundario que participa en la lluvia ácida. En general tienen un alto poder corrosivo y son altamente nocivos para la salud de plantas y animales.

Óxidos del Carbono, son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). El CO proviene fundamentalmente del tránsito vehicular y en menor proporción de procesos químicos de combustión incompleta de materiales carbonosos. Es tóxico para plantas y animales. El CO₂ es un componente normal de la atmósfera, sin embargo se produce en concentraciones muy elevadas en los centros urbanos y sus partículas atrapan calor, participando en el cambio global del clima.

Ozono, es una forma de oxígeno (O₃) que en la alta atmósfera es un componente esencial pero en la baja atmósfera se transforma en un contaminante. Se forma naturalmente, de la reacción del O₂ con la radiación ultravioleta proveniente del sol, mientras que el ozono de la baja atmósfera es un producto humano. Este último reduce la visibilidad, y causa problemas en la salud humana y la de los animales, como así también en las plantas.

Oxidantes Fotoquímicos, son compuestos variados y complejos que se producen por reacciones químicas en presencia de la luz solar. Incluye el ozono, peroxiacilnitratos (PAN), aldehídos y otros. La fuente más importante del **smog** fotoquímico es el automóvil.

Cuando el ambiente está cargado de humedad o bien llueve y el aire contaminado presenta partículas de diversos compuestos como: SO₃ y nitrógeno en sus diversas formas fundamentalmente, aunque también otros compuestos pueden participar, éstos sufren reacciones químicas con el agua (como convertirse en ácido sulfúrico) y se depositan con la lluvia sobre la tierra. Este fenómeno se conoce como **lluvia ácida** y es altamente corrosivo sobre materiales y por cierto sobre seres vivos.

El **calentamiento global** del clima es hoy atribuido a la presencia en la atmósfera de una elevada concentración de partículas que retie-

nen el calor de los rayos del sol, estas partículas son provenientes especialmente de los centros urbanos. La más importante de ellas es el CO₂.

Ciclo de los contaminantes aerodispersantes

Cuando un contaminante ingresa a la atmósfera los mecanismos de la misma se encargan de transportarlo a distancias variables de su fuente de emisión. Participan entonces dos factores principales:

1. El viento, este dará la dirección del desplazamiento y el alcance.
2. El grado de estabilidad del aire, que implica la capacidad que tiene la atmósfera para permitir movimientos verticales. A una menor intensidad del viento el contaminante quedará más cerca de su fuente, el mismo efecto se produce a una mayor estabilidad vertical del aire, condiciones estas que son las más desfavorables para concentrar contaminantes en el lugar de emisión, como podría ser un espacio urbano.

La rugosidad del terreno, que en ambientes rurales podrían tratarse de montañas y en ambiente urbano, de edificios, actúan como un freno de los contaminantes, pudiendo generarse un "pozo" donde quedan atrapados y se concentran aumentando su peligrosidad. El tiempo que un contaminante permanece en la atmósfera varía según su naturaleza, la forma en que se difunde y de su sinergismo (reacción química con otros elementos) en la atmósfera, pudiendo variar de minutos hasta años.

En algún momento se deposita, en forma de lluvia ácida, acoplado a partículas de agua o por su propio peso, siendo inhalado por los animales, depositado sobre los vegetales o sobre materiales e incluso sobre la tierra.

Algunos contaminantes que son incorporados en animales y vegetales adquieren una mayor concentración en ese organismo, por lo que al ser ingerido por otro le genera problemas de salud de mayor importancia que al primero y

así a lo largo de la cadena alimentaria aumentará su potencial.

La situación urbana: el caso Córdoba

La ciudad de Córdoba, ubicada en el faldeo oriental de Las Sierras Chicas, se extiende de este a oeste a lo largo del Río Suquía, en un pequeño valle de erosión formado por éste en medio de la llanura. Tiene un clima mediterráneo con inviernos fríos y secos y veranos muy cálidos y lluviosos. Presenta un marcado crecimiento poblacional hacia el noroeste, su población alcanza 1,2 millones de personas según el censo de 1991.

El ejido municipal es de 625 Km². Esta ciudad manifiesta un complejo espectro de situaciones urbanas derivadas de un soporte ambiental rico y de distintas modalidades de uso y formas de ocupación del espacio. Para los próximos diez años se proyecta un crecimiento poblacional de la ciudad de Córdoba de un 50%. Estudios realizados respecto al período 1973 - '83 indican un crecimiento del 30,8% de la población, al tiempo que la demanda de agua durante el mismo lapso se incrementó en un 59%, el volumen de los efluentes líquidos aumentó un 23%, el de los residuos sólidos lo hizo en un 16% y el de los contaminantes aerodispersantes en un 44%. Por ello, un desarrollo sin previsión afectará no sólo al sistema urbano cordobés, incrementando los problemas de disponibilidad hídrica y de contaminación, se verán afectadas también poblaciones vecinas, dado que el 21% de los nuevos habitantes se instalarán en localidades periféricas ubicadas a pocos kilómetros de la ciudad.

Presenta un microcentro de edificios altos e importante concentración poblacional, un área que circunda al microcentro donde alternan edificios con construcciones más bajas y extendidas áreas barriales de construcciones bajas y variada concentración poblacional. Como toda urbe, hay un deterioro en la calidad de vida en general, lo que se manifiesta en pérdida de calidad del agua y del aire, desaparición de espacios verdes, y gran cantidad de tránsito automotor, siendo este el factor principal de la

contaminación del aire y en un segundo lugar se ubica la contaminación industrial. Esta situación se ve particularmente agravada en la ciudad de Córdoba por encontrarse construida en un "pozo", en una depresión y además rodeada de montañas, esto genera un dificultoso movimiento del viento a través de la ciudad, por lo que no alcanza a "limpiar" a trasladar los contaminantes fuera del radio urbano y se produce una importante concentración de los mismos en la ciudad. Existe además una fuerte diferencia de temperatura entre el centro de la ciudad de hasta 5°C más, particularmente en la depresión, y los alrededores, que se debe al elevado uso de energía asociada a la actividad humana; en la época de primavera-verano, el asfalto y el cemento de la ciudad absorben durante el día gran cantidad de calor y por la noche, cuando debiera refrescar por evaporación de la vegetación, dado que esta última es casi inexistente, el calor se retiene.

También incide el hecho de que dentro del área deprimida donde está la ciudad, se permite la permanencia de ciertas industrias y emprendimientos con posibilidad de emisión de elementos contaminantes. Por último, la escasez de espacios verdes planificados como pulmón, así como el poco valor que se le otorga al arbolado de veredas y jardines terminan por ce-

rrar un cuadro que exige con prontitud de medidas como sanciones y controles, pero también de planificación a futuro de espacios verdes, tipo y altura de la edificación, permisos para instalar empresas, talleres etc., por parte de los organismos implicados y fundamentalmente de una fuerte educación para la toma de conciencia. En este sentido, la Municipalidad de la ciudad de Córdoba creó el Observatorio Ambiental desde mayo de 1995 y, dependiente de este último, el Sistema de Monitoreo del Aire (SiMA) para la medición de la concentración de contaminantes presentes en el aire. Se están registrando valores de CO, O₃, NO₂, NH₃, SO₂, SH₂, partículas en suspensión (PM) e Hidrocarburos, como así también radiación total y ultravioleta, presión temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, cantidad y PH de la lluvia y nivel sonoro. Los valores de lluvia ácida se toman en el observatorio del Servicio Meteorológico Nacional, cuyos datos no están disponibles al público.

Según informa el SiMA, desde el año '95 los valores de contaminantes para la ciudad de Córdoba no difieren significativamente de los establecidos para los estándares de calidad de aire vigentes en los Estados Unidos (EPA, 1996) que son los detallados en la Tabla 1.

Contaminante	tipo de promedio	Estándar
CO	1 hs	35ppm.
Pb	máximo de 4 meses	1,5 µg/m ³
NO ₂	media anual	0,053 ppm.
O ₃	1 hs.	0,120 ppm.
PM	media anual	50 µg/m ³
SO ₂	media anual	0,030 ppm.

Tabla 1: Estándares de calidad del aire de la Agencia de Protección Ambiental (E.P.A) de Estados Unidos.

Efecto de la contaminación sobre la fisiología de los vegetales

Los efectos de los contaminantes aerodispersantes sobre los vegetales constan de una amplia gama de respuestas de tipo fisiológico a

diferentes niveles del organismo, empezando por las moléculas, célula, diferentes tejidos, la hoja, la canopia en general etc. como así también respuestas a nivel de la reproducción por pérdida de frutos o flores.

A nivel molecular la contaminación afecta la estructura y por ende el funcionamiento, por ejemplo en las proteínas que participan en la función respiratoria de la célula o en la fotosintética, la incorporación de elementos contaminantes pueden reemplazar partes esenciales de la estructura de dichas proteínas por lo que dejarán de funcionar con normalidad, otras veces, como ocurre con la presencia de F (flúor) afecta la producción de ARN alterando el funcionamiento general de la célula.

Las células vegetales más directamente afectadas frente a la contaminación son las que componen los estomas. Estos aparatos vegetales son la vía principal de intercambio gaseoso de la planta y un medio de transpiración. Cuando en el ambiente hay partículas inertes, éstas obturan los estomas disminuyendo la actividad foliar, además de perjudicar la actividad fotosintética. También se ven obturados por la presencia de hidrocarburos o de sus procesos de combustión. Como las partículas en general caen en forma descendente como una lluvia, las plantas que tienen estomas en la cara inferior están más protegidas de este efecto.

Respecto de las hojas, aquellas que presentan excrescencias, pelos, alguna exudación o que tengan una superficie muy irregular serán capaces de retener mayor cantidad de polvo. La posición de la hoja es otro elemento importante, cuanto más inclinada se encuentra menos polvo juntará, en cambio una hoja horizontal tiene una superficie expuesta mucho mayor; las hojas anchas captan más que las angostas. Asimismo, la altura del vegetal también es un factor a considerar, las plantas bajas, como arbustos y herbáceas, reciben más contaminantes que las altas. Estas características son importantes a la hora de seleccionar plantas para colocar en ambiente urbano.

La acción de los contaminantes sobre los vegetales es específica, los siguientes ejemplos lo muestran.

Las **partículas** actúan por depósito sobre las hojas, aunque no sean tóxicas obturan los estomas o cubren áreas verdes y disminuyen la

capacidad fotosintética. Si las partículas son tóxicas, cuando el aire es húmedo o cuando llueve logran ingresar y provocan la caída o la necrosis de las hojas. Algunos ejemplos son las partículas de sulfuros en general, industria del mercurio, combustión de lignitos, etc. El polvo de cemento de alta alcalinidad, se disuelve con el agua de lluvia e ingresa a la célula, una vez dentro, destruye los cloroplastos, que quedan mezclados con el resto del protoplasma.

Los **Hidrocarburos** provenientes de calefacción de *fuel-oil* y de motores de automotores, como así también del alquitrán de las calles y edificios, se pegan en las hojas obturando los estomas y dificultan la fotosíntesis. El alquitrán en particular produce la plasmólisis del protoplasma (rotura del citoplasma celular).

El **SO₂**, dióxido de azufre, tiene efecto fitotóxico a bajas concentraciones. La fuente natural más importante está constituida por las erupciones volcánicas, al tiempo que la artificial es la combustión de carburantes conteniendo azufre. Las respuestas de diferentes especies son muy variadas, fundamentalmente produce necrosis entre los nervios de la hoja dejando manchas, marrón a rojizo, también altera la regulación del intercambio gaseoso y el vegetal se deseca rápidamente, ya sea por el cierre de estomas en algunas especies o por el aumento en la transpiración con estomas que permanecen abiertos en otras. El efecto se agrava notablemente cuando hay humedad ambiente, pudiendo pasar el SO₂ a SO₃. Ataca también al aparato reproductor de las plantas que se manifiesta en la disminución del peso de frutos y semillas, la deformación de los granos de polen y la caída de las flores.

El **CO**, monóxido de carbono, así como el dióxido de carbono se generan artificialmente por la combustión; tiene un efecto directo sobre la respiración celular, a partir de concentraciones mínimas inhibe la respiración. En general aún en muy altas concentraciones (95 %) el CO no es letal para las plantas pero puede producir trastornos metabólicos.

Los óxidos del nitrógeno, como el NO_2 , cuya fuente artificial es la combustión, pueden ejercer una acción inhibitoria de la fotosíntesis y del crecimiento en general a bajos niveles de concentración, a mayores niveles produce la necrosis. Los óxidos del nitrógeno tienen la capacidad de sufrir reacciones fotoquímicas, pudiendo reaccionar con el SO_2 y transformarse entre ellos mismos debido a reacciones fotooxidantes. En presencia de luz y de ciertos hidrocarburos los óxidos del Nitrógeno forman compuestos como PAN o PPN de alta toxicidad para el ser humano, en los vegetales sus efectos se distinguen por alteraciones en las hojas de color brillante metálico.

El **Ozono**, ingresa prioritariamente por los estomas y ataca tejidos parenquimáticos destruyendo el contenido celular, externamente se observan manchas difusas en las hojas que se van acentuando hasta quedar blanquecinas o rojizas.

La influencia de estos factores depende, además de la concentración en la que se encuentran, del tiempo de exposición. Puede ser de larga duración, a veces con bajas concentra-

ciones de contaminante, o de muy corta duración, pero de un nivel alto de contaminantes que determina el mismo efecto que en el caso anterior, o variaciones intermedias de ambas variables. Se suma al tiempo y a la concentración del elemento contaminante la exposición de la planta a la luz o su disponibilidad de humedad, ya que estos factores del ambiente inciden en la posibilidad de intercambio gaseoso y en el potencial hídrico de la planta.

Los vegetales como bioindicadores de contaminación

Cualquier organismo vivo que muestra cambios en su fisiología o en su composición cuando es expuesto a un contaminante o a una mezcla de ellos es un organismo sensible a la contaminación y por lo tanto puede ser un bioindicador. Este organismo podrá presentar alteraciones de tipo fisiológico, como las mencionadas en el apartado anterior y estas respuestas fisiológicas se toman como indicadores. También puede evaluarse la respuesta a la interacción antagónica de contaminantes, a un efecto aditivo de ellos y aún al sinergismo entre ellos.

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Los vegetales son excelentes receptores y colectores de partículas de polvo y de metales pesados transportados por el aire. 2. Las partículas de polvo y de metales pesados ubicadas tanto en la superficie como en el interior de las plantas pueden ser analizadas químicamente para obtener resultados cuantitativos. 3. Proporcionan un monitoreo continuo e integral. 4. Las plantas pueden ser empleadas para determinar la ubicación de fuentes de metales pesados, los patrones de distribución y de intensidades relativas de deposición. 5. Son relativamente baratas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las plantas superiores (y las briófitas) también toman metales del suelo (o del sustrato) así como del aire, dificultando la interpretación de los resultados. 2. Los resultados obtenidos frecuentemente son específicos de las especies o de las partes vegetales empleadas y no son tan precisos o exactos como las mediciones físicas o químicas de concentraciones en aire. 3. Variaciones retrospectivas a corto plazo difíciles de determinar. 4. Para una utilización estrictamente comparativa de los datos, deben emplearse las mismas especies en toda el área de estudio: es importante la selección de especies en razón de la variación en la respuesta. 5. Selección de materiales limitada a especies relativamente abundantes en el área de estudio.

6. No dependen de fuentes de energía externa durante el período de exposición. Permiten mayor flexibilidad en las cantidades y en la ubicación geográfica de puntos de muestreo.	6. No son posibles las comparaciones con los límites establecidos por la legislación (ver punto 2).
7. Los materiales biológicos proporcionan mediciones más realistas de la deposición en ecosistemas.	7. Son susceptibles a la influencia del clima, al ataque de patógenos, a otros contaminantes, etc., que pueden afectar la disponibilidad y la condición del material.
8. No son susceptibles al vandalismo.	

Tabla 2: *Ventajas y desventajas comparativas de las plantas como monitores biológicos de metales pesados transportados por el aire.*

Estas características permiten considerar a los vegetales como buenos bioindicadores para estudiar una situación ambiental determinada, aunque también pueden señalarse algunas desventajas como lo muestra la Tabla 2.

Los líquenes como bioindicadores

Los líquenes son un tipo de hongo que para su nutrición están unidos en forma obligatoria con un alga y constituyen con esta una unidad morfofisiológica. Se trata de una forma de simbiosis con dos elementos:

- el alga, o ficobionte
- el hongo, o micobionte.

La mayor o menor amplitud con que sea encarado el concepto de simbiosis entre ambos trae aparejado que muchas especies se consideren o no líquenes. Algunos autores les llaman hongos liquenizados.

¿Qué formas hay?

El cuerpo del líquen se denomina *talo*. Existen tres tipos morfológicos fundamentales que se corresponden con un orden evolutivo:

a. Crustosos.

Se extienden sobre el sustrato sobre el cual crecen en forma de costra. En general es difícil de despegarlos del sustrato. Se supone que fueron los primeros en aparecer sobre el planeta (Ilustración 1).

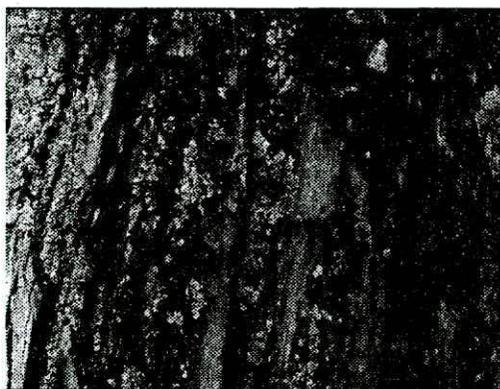


Ilustración 1: *Líquén crustoso*

b. Foliosos.

Se asemejan a una hoja o lámina. Generalmente no están fuertemente adheridos al sustrato y es sencillo despegarlos. Pueden crecer unos sobre otros, entremezclados (Ilustración 2).

c. Fruticosos.

Son los más evolucionados y presentan mayor complejidad. Ramificados a partir de un eje central, se asemejan a pequeños arbustos. Pueden adoptar una posición erecta o péndula. Se sujetan al sustrato por una base ensanchada, la placa basal. Este talo puede estar formado por una ramificación única hasta múltiple, dándole un aspecto coraloide.



Ilustración 2: *Líquen folioso*

¿Dónde están?

Los líquenes se adhieren a distintos sustratos. Algunas especies crecen en un sustrato con exclusividad; otras son más amplias en sus exigencias y crecen en varios sustratos indistintamente.

Según el sustrato donde crecen, se denominan:

<i>Folícolas</i>	sobre hojas
<i>Saxícolas</i>	en rocas o minerales
<i>Corticícolas</i>	en cortezas o madera
<i>Terrícolas</i>	en tierra
<i>Muscícolas</i>	sobre briófitas

Los líquenes como bioindicadores. ¿Por qué?

Fisiológicamente, los líquenes son autótrofos, es decir que convierten energía lumínica en energía química a través del proceso de fotosíntesis. Requieren para ello de agua y sustancias inorgánicas, además de la luz.

Al igual que las plantas superiores toman del aire oxígeno para respirar, CO₂ y otros compuestos inorgánicos para la fotosíntesis. También el agua proviene de la humedad del aire. Pero, a diferencia de dichas plantas, carecen de *estomas* (poros capaces de regular la entrada y salida de gases). Esta falta de defensas los hace muy vulnerables.

Sus talos quedan expuestos a la presencia de todos los elementos que se encuentren en el ai-

re sin poder oponer barrera alguna. Así, además de los elementos necesarios para subsistir, incorporan contaminantes presentes en el aire.

La corteza de árboles o arbustos provee abrigo para el desarrollo de nuevos individuos, sin que esto signifique daño alguno para la misma planta. Esta sensibilidad es la característica que los convierte en buenos indicadores de calidad de aire.

Por otro lado tienen un metabolismo bajo pero constante, así incorporan elementos del ambiente en forma continua a lo largo del año y a lo largo de muchos años, ya que son longevos.

Patrones ecológicos.

El término contaminación del aire puede utilizarse para definir cualquier condición atmosférica en el que ciertas sustancias alcanzan concentraciones lo suficientemente elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto detectable en algún ser vivo.

A diferencia de un sensor mecánico, los seres vivos se ven afectados no sólo por valores elevados de uno u otro contaminante, sino más bien por el efecto combinado de dos ó más contaminantes juntos y por los tiempos obligados de exposición a los mismos.

Cualquier ser vivo que muestre signos de deterioro es sólo la cabeza visible de un *iceberg* en el que todo el resto está siendo afectado.

Sernander en 1923 utiliza por primera vez líquenes como bioindicadores de calidad de aire y desde entonces, su uso se ha extendido y se han ido seleccionando valores de importancia que muestren cada vez más certeramente su respuesta sensible. Muchas especies han mostrado diversos grados de sensibilidad a la contaminación del aire y algunas pocas, en general nitrófilas, se desarrollan mejor en ambientes urbanos con altos valores de óxidos del nitrógeno, partículas etc., que en áreas rurales.

Algunos de los patrones ecológicos más ampliamente utilizados en el mundo son:

Distribución de una especie sensible; su ausencia marca zonas de contaminación elevada.

Distribución de una especie tolerante; su ausencia indica valores críticos de contaminación.

Análisis comparativos de la comunidad líquénica en zonas no contaminadas y contaminadas. Generalmente se considera la disminución específica de algún valor de importancia.

Los líquenes, trasplantados de sectores no contaminados se utilizan como filtros absorbentes para medir la concentración de diferentes contaminantes. En Córdoba se han desarrollado algunas experiencias en estas líneas.

Dos son los valores de importancia que han resultado más sensibles en los estudios hechos en la ciudad de Córdoba:

1. La desaparición, en zonas contaminadas de especies sensibles. Éstas coinciden también con la forma del talo. Desaparecen así, en primer lugar las formas frutuosas, luego las foliosas y por último las crustosas.
2. La cobertura. El porcentaje del tronco ocupado por líquenes disminuye drásticamente en zonas contaminadas.

Luego de estudios realizados en la ciudad y comparados con los datos obtenidos en ambientes rurales pueden generalizarse cuatro posibles condiciones generales que se detallan en la Tabla 3:

A	Presencia de talos fruticosos, foliosos y crustosos. Cobertura general del tronco de más del 40 %	Aire puro
B	Presencia de talos foliosos y crustosos. Cobertura general de entre el 20 y el 40 %.	Aire desmejorado (fuente de contaminación cercana o mucho tránsito vehicular)
C	Presencia de talos crustosos. Cobertura general del tronco entre 10 y 20 %.	Aire contaminado (una o más fuentes contaminantes cercanas; contaminantes aerodispersados peligrosos; tránsito vehicular)
D	Troncos sin líquenes.	Aire con niveles de contaminación muy elevados. Incompatible con formas inferiores de vida.

Tabla 3: *Estimación cualitativa de la calidad del aire, según el tipo y cobertura de líquenes presente.*

Bibliografía Recomendada

- Bennet, R. J. y Chorley, R. J. 1978. Environmental Systems: Philosophy, Analysis and Control.
- Botkin, D. & E. Keller. 1995. "Environmental Science. Earth as a Living Planet" J. Wiley & Sons.
- Brandt, C. 1970. "Plants as indicators of air quality". Bureau of Air Quality Control, Baltimore, Maryland.
- De Lora, F. y Miró, J. 1978. Técnicas de defensa del medio ambiente. Ed. Labor.
- Heck, W. W. 1966. "The use of plants and indicators of air pollution". Int. Jr. Air Water Poll. 10: 99-101.
- Kneese, Allen. 1977. Economics and the environment. Penguin Books.
- Mellanby, K. 1977. Biología de la polución. Ed. Omega.
- Osorio, H. S. 1977. Apuntes de líquenes y claves para los géneros de líquenes de los alrededores de Buenos Aires. Notas Botánicas N° 1.
- Seoanez Calvo, M. et al. 1996. "Ingeniería del Medio Ambiente" Ed. Mundi-Prensa
- Shaw, R. W. 1987. "Air Pollution by Particles. Scientific American 257: 96-103.
- Strobbe, M. A. 1973. Orígenes y control de la contaminación ambiental. C.E.C.S.A.