

Líquenes del Valle de La Paz como bioindicadores de contaminación atmosférica

Gary Rafael Anze Martin

Introducción

La contaminación del aire constituye un problema de vigencia actual para la humanidad. Como consecuencia de este fenómeno, la calidad del aire en los grandes centros urbanos se deteriora, principalmente por el elevado número de vehículos y la creciente actividad industrial, ocasionando daños a las plantas, animales y la salud humana.

En nuestro país, de acuerdo con Morales (1988) las principales fuentes de contaminación del aire son: el tráfico automotor, las fábricas de cemento y la quema de basura, especialmente de productos plásticos. Sin embargo, son pocas las publicaciones, como los trabajos de Brockmann (1986) y Díaz Benavente (1986), que aportan con datos cualitativos o cuantitativos sobre la calidad del aire en relación a la actividad industrial en Bolivia.

En nuestras principales ciudades, puede observarse una actitud en la población, que puede utilizarse como parámetro indicador de la magnitud del problema. Estudios como el de Bohrt et al., (1987), muestran que el 68,6% de la población en La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, se manifiestan en contra de la contaminación ambiental, porque perciben la presencia de humo, olores desagradables, ruido o sufren en algún grado los efectos de este fenómeno, que tiende a crecer en forma directamente proporcional al acelerado desarrollo urbano que experimenta nuestro país en las últimas décadas.

Frente a este problema resulta prioritario buscar métodos sencillos y económicos que permitan evaluar la calidad del aire, requisito básico para aplicar regulaciones que permitan controlar las emisiones de sustancias tóxicas al medio ambiente. En este sentido, la bioindicación parece abrir nuevas perspectivas para la obtención de información, a corto y mediano plazo, que permita plantear alternativas o soluciones prácticas.

Un ejemplo de bioindicación es la utilización de líquenes para evaluar la calidad del aire. La mayoría de los líquenes son sensibles a los polutantes atmosféricos producidos por el hombre y su crecimiento se inhibe en muchas zonas metropolitanas e industriales por lo que pueden ser utilizados para biomonitorizar niveles de dióxido de azufre (SO_2) y un número considerable de metales y gases tóxicos (Hale, 1983).

La ausencia de líquenes en áreas industriales, en las que la emisión de SO_2 es alta, ha sido observada por primera vez a fines del siglo XIX y desde entonces se han efectuado varios trabajos para correlacionar la ausencia de líquenes en áreas expuestas a contaminación con SO_2 . Hill (1971) cita entre otros a Laudon (1967), Skye (1968) y Hawksworth y Rose (1970), quienes proporcionaron evidencias de que este gas es el principal agente causal de las alteraciones en la distribución de líquenes, como consecuencia de los efectos de la contaminación ambiental, en diferentes países de Europa.

Tradicionalmente se han evaluado alteraciones morfológicas y anatómicas en los líquenes (clorosis, necrosis, otros cambios de color, pérdida de vitalidad, etc.), sin embargo estas respuestas no son siempre precisas y pueden confundirse con síntomas ocasionados por diversos agentes de naturaleza biótica y abiótica (condiciones ambientales extremas, deficiencias nutricionales, enfermedades virales, etc.), por esto en los últimos años se han efectuado investigaciones para observar respuestas fisiológicas de los líquenes, como importante contribución a la utilización de éstos como bioindicadores.

En este campo se destaca el trabajo de Fields (1988) que encontró que en los líquenes procesos fisiológicos importantes, como la fijación del nitrógeno, la fotosíntesis y/o la respiración, se ven afectados como consecuencia de la exposición a aeropolutantes como SO₂, HF (ácido fluorhídrico), O₃ (ozono), NO₂ (óxido nitroso) y PAN (peroxiacetilnitrato).

Son también importantes estudios como el de Gilbert (1968) que evidenció que talos de líquenes transplantados en áreas contaminadas sufren decremento en los niveles de clorofila; Rao y Le Blanc (1965) que apoyaron el planteamiento de que la fotosíntesis es uno de los procesos más afectado por la exposición a SO₂; Hill (1971) que observó el efecto del SO₂ en la fijación fotosintética de CO₂; y Puckett et al. (1973) que midieron la fijación neta de ¹⁴C después de exposición a sulfito y concluyeron que el incremento de la toxicidad, a pH bajo, donde la forma predominante es el dióxido de azufre, se relaciona con la destrucción de la clorofila por un proceso irreversible de oxidación.

En nuestro medio el estudio de bioindicadores es reciente y no se tiene suficiente información sobre especies de líquenes, o en general vegetales, que puedan ser utilizadas para evaluar la calidad del ambiente. En este contexto, el presente trabajo pretende contribuir a llenar el vacío que existe actualmente en lo que se refiere a datos sobre especies de líquenes que puedan ser utilizadas como bioindicadores de la calidad del aire, en relación a la actividad industrial. Este es el primer paso en lo que podría ser una verdadera "política ambiental" que a la larga produzca mejoras en la calidad del aire en nuestro medio, con la implementación de más proyectos de registro de datos y de saneamiento ambiental.

Específicamente se pretende contribuir estableciendo las bases para la estandarización de una metodología para trabajos de bioindicación con líquenes para evaluar la calidad del aire, adaptando a nuestras condiciones de trabajo criterios y métodos utilizados en otros países.

Material y Métodos

El estudio comprendió el diseño y desarrollo de etapas importantes para la estandarización de una metodología para el uso de líquenes del valle de La Paz como indicadores de contaminación atmosférica (Fig. 1).

Se utilizó como lugar para la colección de muestras de líquen las orillas de la Laguna Viscachani en el valle de Zongo porque en este lugar se encontró una flora de líquenes abundante y diversa, con suficiente cantidad de biomasa por especie, para los ensayos preliminares, pruebas de laboratorio y ensayos de biomonitorio. Se obtuvieron muestras de tres especies de líquenes: *Hypotrachyna physcioides* Hale, *Usnea* cf. *subfloridana* Stirt. y *Stereocaulon ramulosum* (Sw.) Räscher.

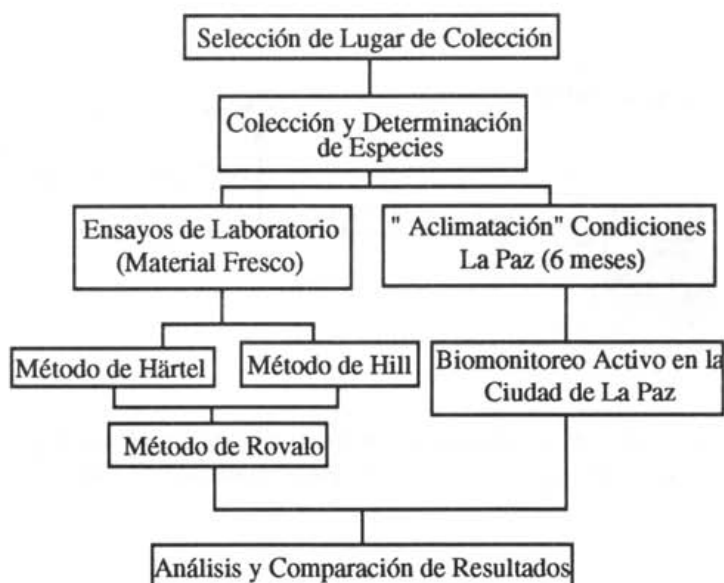


Fig.1: Esquema general de la metodología de trabajo.

Con las tres especies se estudiaron comparativamente dos métodos para exposición controlada en laboratorio: exposición gaseosa de acuerdo con lo propuesto por Härtel (Stab, 1989) (Fig. 2) y exposición líquida, modificando procedimientos descritos por Hill (1971) (Fig. 3). En ambos casos se observaron las variaciones en la respiración, de acuerdo con el método de Rovalo y Rojas (1982), como consecuencia de la exposición controlada a soluciones de sulfito de sodio (Fig. 4). Para todos los ensayos de laboratorio se utilizaron muestras recién coleccionadas (frescas) de líquenes.

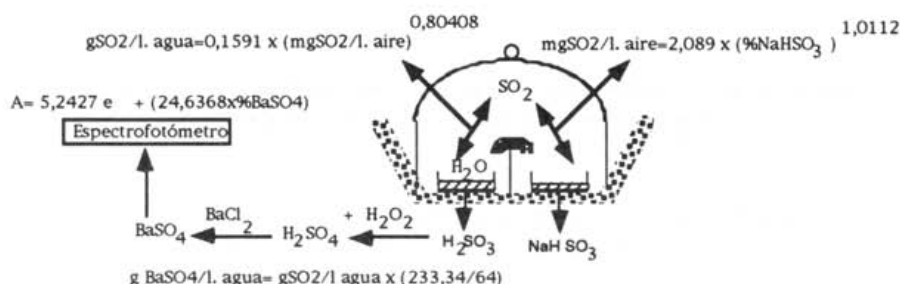


Fig. 2: Método de Härtel. Tomado de Steubing (Traducido por Stab, 1989) Esquematizado y modificado.

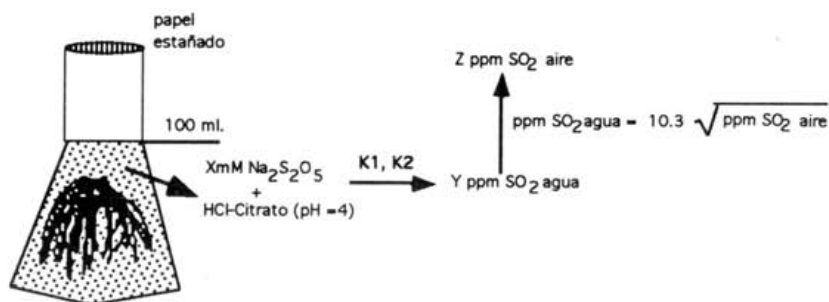


Fig. 3: Método de Hill para exposición líquida de talos de líquenes a soluciones de sulfito de sodio. Esquematizado de Hill (1971).

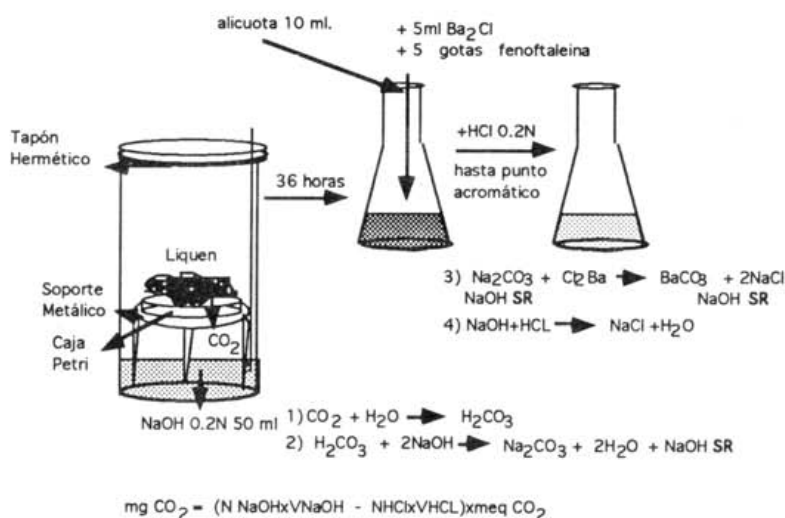


Fig. 4: Representación esquemática de la determinación de respiración de líquenes por el método de Rovalo y Rojas (1982).

Con las mismas especies se hizo un ensayo de biomonitorio activo en la ciudad de La Paz, de acuerdo con Hale, (1983) y modificando las especificaciones técnicas del *Verein Deutscher Ingenieure* para evaluación de calidad del aire con exposición controlada de líquenes (VDI, 1991) (Figura 5). Se trabajó con muestras de líquenes "aclimatadas" seis meses en el Campus Universitario de la UMSA en La Paz (Cota Cota). Se establecieron tres estaciones de biomonitorio en el eje troncal de la ciudad de La Paz: Plaza PerezVelasco (Casa de la Cultura), Plaza Isabel la Católica y Seguencoma (Predios Min.Agricultura). Durante un mes se efectuó el ensayo de biomonitorio activo, evaluando cada semana los parámetros de reacción:

síntomas visibles y variaciones en la respiración medida con el método de Rovalo y Rojas (1982).

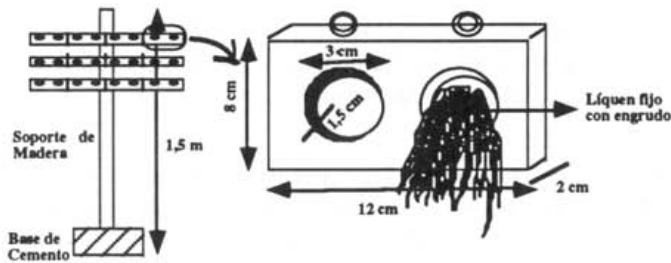


Fig. 5: Representación esquemática de una estación de biomonitorio para evaluar calidad del aire con líquenes. Modificado de la VDI, (1991)

Resultados

Método de Härtel

En la siguiente tabla se tiene un resumen de los resultados de las pruebas preliminares para observar el desarrollo de presiones de dióxido de azufre a partir de soluciones de sulfito:

Tabla 1: Valores de presión parcial de SO₂ obtenidos experimentalmente de acuerdo con el método de Härtel.

% Sulf.	ppm SO ₂ teórico*	prom. ppm SO ₂ práctico **	Max.	Min.	Var.	DS
1	1 203,7	303,068	420,25	139,98	15 314,26	123,751
0,1	117,3	33,231	43,7	10,11	97,657	9,882
0,01	11,43	2,344	5,6	0,11	4,1	2,025

* En función a las gráficas y ecuaciones de Steubing, modificadas por Stab (1989)
** Determinados experimentalmente en función a concentraciones de sulfato medidas por espectrofotometría.
Sulf. = Sulfito; Max. = Valor máximo registrado; Min. = Valor mínimo registrado ;
Var. = Varianza ; DS = Desviación Estándar .

En estas pruebas, aún sin material vegetal, existe una variación muy grande en los datos obtenidos. Por ejemplo, para la concentración de 0,01% de sulfito se calcularon presiones parciales de SO_2 que oscilan entre 0,11 y 5,6 ppm con una desviación estandar de 2,025.

Estos resultados condujeron a la eliminación de este método para los ensayos con líquenes en los que se necesitaban presiones que oscilaran entre 0,1 y 0,7 ppm, valores establecidos en función a normas de calidad del aire en Alemania.

No se encontraron las causas de esta gran variación en los resultados, que se produjo a pesar de que siempre se controló la temperatura, que osciló entre 20 y 22°C, y se trabajó con reactivos nuevos, cuidando que el sistema se mantuviera hermético.

Método de Hill

Un resumen de los resultados de los ensayos con líquenes, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2: Producción de CO_2 (mg) en la cuantificación de la respiración de especies de líquenes expuestos a diferentes concentraciones de sulfito de acuerdo con el método de Hill.

ESPECIE	Conc. de Sulfito (mM)				
	0	4,4	7,6	9,8	11,6
<i>Usnea subfloridana</i>	29,9	6,9	7,6	14,5	7,6
<i>Stereocaulon ramulosum</i>	42,55	23,7	7,6	3,8	16,1
<i>Hypotrachyna physcioides</i>	37,95	17,6	3,8	4,6	12,3

En la figura 6 se observa que, aunque no se tiene total uniformidad, existe disminución de la respiración a medida que se incrementa la concentración, especialmente con las tres primeras concentraciones de sulfito del experimento.

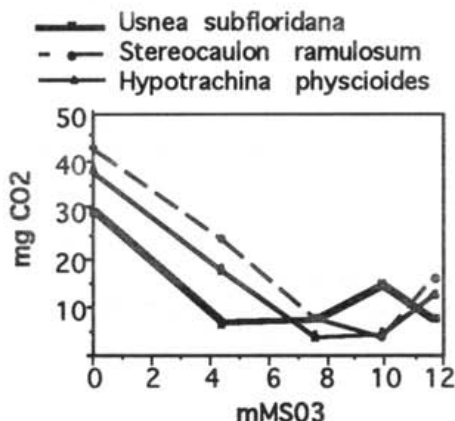


Fig. 6: Variación en la producción de CO₂ como consecuencia de diferentes concentraciones de sulfito.

Stereocaulon ramulosum (Sw.) Räscher. es la especie con comportamiento más regular que muestra una relación inversa, casi lineal. Es la especie, aparentemente, más resistente, pero experimenta una reducción en la producción de CO₂ de alrededor del 44,3% con la concentración más diluida, 82% con la segunda y 91% con la tercera concentración del experimento.

Hypotrachyna physcioides Hale es la segunda especie con regularidad en su comportamiento, pero su tendencia es menos lineal y se estabiliza con una concentración de sulfito de 8mM.

Usnea cf. subfloridana Stirt. es la especie con comportamiento más variable e impredecible. Si bien experimenta la mayor reducción en la producción de CO con la concentración más diluida (alrededor de 76%), muestra una tendencia al incremento² en la producción en las dos siguientes concentraciones, para volver a disminuir con la solución más concentrada de sulfito.

Biomonitoreo activo

Los resultados del ensayo de biomonitoreo se analizan por zonas de exposición, de acuerdo al siguiente detalle:

Zona Central: Casa de la Cultura-San Francisco:

En la figura 7 se observan las variaciones respiratorias de las tres especies estudiadas, como consecuencia de la exposición en la zona central de la Ciudad de La Paz.

La especie más "resistente" es *Hypotrachyna physcioides* que a pesar de experimentar una reducción del orden del 66% en la primera semana, muestra una tendencia a la estabilización e inclusive va mejorando las dos últimas semanas alcanzando valores de producción de CQ de alrededor de 20 mg. en las primeras 36 horas de la prueba.

La especie más impredecible es *Stereocaulon ramulosum* que experimenta cerca a 100% de reducción en la respiración en las dos primeras semanas y variaciones grandes en las dos últimas.

Usnea subfloridana es la especie con comportamiento más regular muestra una tendencia casi lineal en la disminución de la respiración, en el orden del 88%, en las primeras dos semanas de exposición, para luego manifestar una tendencia definida hacia el incremento hasta alcanzar valores de producción de CO₂ de alrededor de 11 mg. en las 36 horas de prueba.

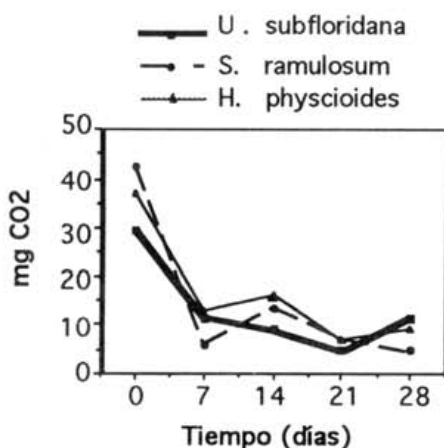


Fig. 7: Cambios en la respiración de tres especies de líquenes expuestos en la Zona Central de la Ciudad de La Paz.

Zona media: Plaza Isabel La Católica:

En la figura 8 se observan las variaciones respiratorias de las tres especies estudiadas, como consecuencia de la exposición en la zona media de la Ciudad de La Paz. La especie aparentemente más "resistente" es nuevamente *Hypotrachyna physcioides* que experimenta una reducción del orden del 57% en la primera semana, pero muestra una tendencia clara a la recuperación alcanzando niveles muy cercanos a los iniciales (36,8 mg. CQ) en la última semana de exposición.

Stereocaulon ramulosum es la especie más regular por mostrar una disminución gradual en las dos primeras semanas de exposición con valores de 72% y 86%, respectivamente, para luego estabilizarse y mostrar una ligera tendencia a la recuperación.

Usnea cf. subfloridana muestra un comportamiento muy irregular alternando caídas y ascensos en los niveles de respiración, disminuyendo las semanas primera y tercera, e incrementando valores la segunda y cuarta.

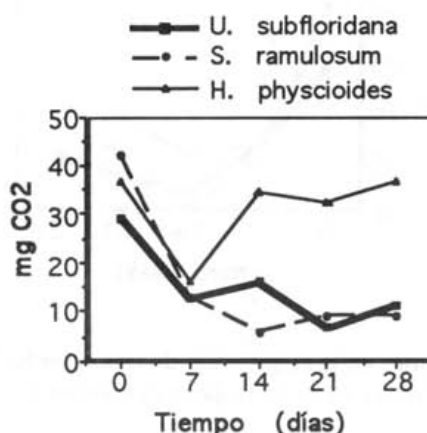


Fig. 8: Cambios en la respiración de tres especies de líquenes expuestos en la Zona Media de la Ciudad de La Paz.

Zona baja: Bajo Següencoma:

En la figura 9 se observan las variaciones respiratorias de las tres especies estudiadas, como consecuencia de la exposición en la zona baja de la Ciudad de La Paz.

Usnea cf. subfloridana es la especie más regular que muestra un decremento gradual del orden del 61%, 69% y 84% en las tres primeras semanas de exposición, respectivamente, mostrando una posible tendencia a estabilizarse en la última semana del experimento.

Stereocaulon ramulosum muestra también un comportamiento interesante; si bien experimenta el mayor decremento en la primera semana de exposición (86%), a partir de la segunda semana muestra una disminución gradual hasta el final del experimento.

Hypotrachyna physcioides, considerada como la especie más “resistente” en las otras zonas de estudio, muestra en la zona baja, aunque en forma más irregular, una tendencia a la disminución gradual de la respiración.

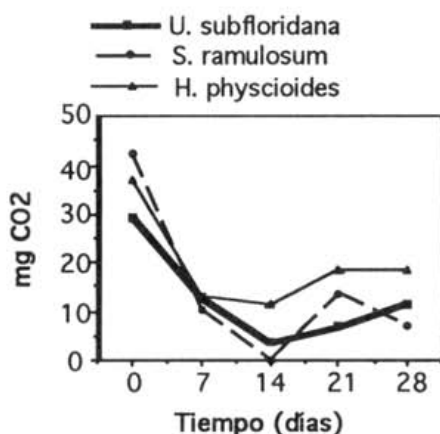


Fig. 9: Cambios en la respiración de tres especies de líquenes expuestos en la Zona Baja de la Ciudad de La Paz.

Conclusiones y Discusión

En lo que se refiere a la metodología, se ha presentado una secuencia lógica de pasos mínimos que deben seguirse para utilizar especies de líquenes como indicadores de contaminación atmosférica. En primer lugar debe contarse con un lugar donde se encuentren comunidades naturales de líquenes, de las que se puedan seleccionar las especies sensibles y tener de ellas cantidades suficientes, por lo menos hasta que se afinen los métodos de laboratorio para poder utilizar la menor cantidad posible.

Las especies, para poder ser utilizadas en el estudio, deben presentar variaciones morfológicas, fisiológicas o ambas, como consecuencia de interacción con el contaminante, para lo cual se desarrollan ensayos controlados de laboratorio. Finalmente, se exponen las especies seleccionadas en las zonas que se desea evaluar y se observa su comportamiento por un tiempo aproximado de un mes. En función a todo este proceso se pueden hacer las siguientes conclusiones, para el caso del valle de La Paz:

Se seleccionó un lugar con condiciones ecológicas similares a las de la ciudad que aunque presentó diferencias climáticas, en especial en el factor humedad, fue utilizado para el estudio porque se solucionó el problema sometiendo a los especímenes a un proceso de "aclimatación" en una zona de la ciudad que se consideró con baja incidencia de contaminación, que correspondió a un terreno cercado en el Campus Universitario de Cota Cota.

Se evidenció que durante el tiempo de aclimatación de seis meses, los especímenes no mostraron daños morfológicos ni fisiológicos.

El lugar seleccionado para la obtención de líquenes fue la laguna Viscachani, en el valle de Zongo, que es un excelente sitio para la obtención de muestras para estudios de biomonitorio, tanto en cantidad como en calidad. Constituye un hábitat ideal para el desarrollo de comunidades

de líquenes: tiene sustrato rocoso, en laderas muy expuestas al sol, pero con mucha humedad, por influencia de la laguna, y además, bajo el efecto de corrientes cálidas que ascienden desde el interior del valle.

Los ensayos de laboratorio son fundamentales para la interpretación de los resultados del biomonitoreo activo, pues proporcionan una idea muy precisa de la relación entre la presencia del contaminante y los cambios fisiológicos (a veces también morfológicos), que se detectan en los líquenes.

Aunque no se pudieron obtener resultados satisfactorios en los ensayos de exposición gaseosa, se evidenció que las pruebas de exposición líquida proporcionan resultados muy útiles que pudieron aplicarse en la interpretación de los resultados del biomonitoreo.

Comparando los dos métodos utilizados en este estudio se evidencia que el de Härtel parece estar diseñado para demostrar el fenómeno de daño producido por exposición al contaminante y no permite, experimentalmente, generar presiones parciales de dióxido de azufre bajas (en el orden de las partes por millón) que son las que se necesitan para este tipo de estudios. Se encontraron variaciones demasiado grandes que se produjeron inexplicablemente, a pesar de tener el ambiente controlado en cuanto a la temperatura y el hermetismo del recipiente.

El método de Hill es sencillo, práctico y es factible su realización sin necesidad de equipo sofisticado, ni reactivos peligrosos. La única complicación está en el cálculo de la equivalencia de esta exposición en fase gaseosa. En este estudio se utilizó la fórmula propuesta por Nieboer et al. (1976), determinada empíricamente, pero no se tiene seguridad de que en las condiciones ambientales (presión, humedad ambiental, etc.) de la ciudad de La Paz, las relaciones sean las mismas. Sin embargo se pone en evidencia que en condiciones de equilibrio, dada la solubilidad del dióxido de azufre, siempre se tiene más cantidad en solución que en fase gaseosa; esto es importante a la hora de determinar la veracidad de estudios de exposición controlada, pues parece ser que el SO_2 en solución, en el interior de las células, es el responsable directo del daño producido en los líquenes. Por esto es que si se tiene un ensayo de exposición en fase gaseosa, de todas formas debe determinarse la exposición líquida equivalente.

El método de Rovalo y Rojas (1982), propuesto por los autores para medir el CO desprendido por semillas de plantas superiores, pudo aplicarse sin problemas para los estudios en líquenes. Hasta ahora el único inconveniente es que se necesita entre 1-5g de material vegetal por prueba, con menos cantidad, el nivel de precisión del método no garantiza resultados confiables. El método tiene un bajo nivel de precisión, porque sirve para encontrar sólo cambios muy marcados, que se produjeron en los estudios de laboratorio y campo; esta situación puede convertirse en un problema mayor si los cambios son menos pronunciados o las medidas se hacen en lugares con menor índice de contaminación. Esto está compensado por el hecho de que constituye un método de muy fácil aplicación, que no necesita de reactivos ni material de laboratorio que no sea de uso común y que es fácil de conseguir en nuestro medio, en comparación con otros métodos tal vez más precisos pero que requieren de material más complejo y de reactivos no siempre disponibles o accesibles en nuestras condiciones de trabajo.

Las modificaciones efectuadas a las especificaciones del *Verein Deutscher Ingenieure* (1991) en el método estandarizado para exposición de líquenes en ensayos de biomonitoreo activo,

tuvieron éxito. Se obtuvieron buenos resultados coleccionando las muestras sin sustrato y fijándolas con engrudo durante todo el experimento. El diseño de las tablas de exposición permitió el manejo organizado de las muestras y se encontró que en general las dimensiones son adecuadas para estudios con líquenes fruticosos, pero tal vez pueden incrementarse para el caso de especies foliosas.

Se encontró que el tiempo de exposición propuesto (1 mes) fue suficiente para detectar cambios fisiológicos en todas las especies estudiadas, en los sitios de exposición propuestos. Sin embargo, en dos especies no se evidenciaron cambios morfológicos importantes por lo que el tiempo de exposición, en futuros estudios, debe ser determinado en función a los lugares de exposición y las características de las especies utilizadas para tal efecto. Dado que no se encontraron cambios morfológicos importantes es que no se incluyen las evidencias fotográficas recomendadas por el VDI.

En síntesis las etapas de la metodología propuesta tienen la posibilidad de ser aplicadas con cualquier especie de líquen y pueden ser utilizadas con otros grupos de criptógamas e inclusive plantas superiores con pequeñas modificaciones. Se utilizaron técnicas y métodos disponibles y de manipulación sin riesgos, que a pesar de tener bajo nivel de precisión, sustituyeron a otros métodos que si bien son más precisos, como la determinación de ^{14}C por cintilleo líquido, no se adecuan a nuestro medio, porque no existe toda la infraestructura adecuada para su implementación.

Por las pruebas realizadas podemos concluir que *Usnea subfloridana* y *Stereocaulon ramulosum* son las especies más indicadas para estudios de este tipo, pues, aunque no hay resultados totalmente homogéneos, mostraron un comportamiento más definido, con disminución gradual de la respiración y/o cambios detectables en aspecto y morfología. *Stereocaulon ramulosum* respondió mejor en condiciones controladas de laboratorio donde mostró una disminución casi lineal en la producción de CO_2 , y se mostró como la especie más tolerante al sulfito; en el biomonitoreo mantuvo su comportamiento regular con disminución gradual de la respiración en las tres zonas de estudio, pero en estas condiciones se mostró como la especie más sensible fisiológicamente, aunque no mostró cambios morfológicos significativos.

Usnea subfloridana mostró mejores resultados en el biomonitoreo. En los ensayos de laboratorio mostró un comportamiento muy irregular, pero en el biomonitoreo activo mostró un cambio de color, claramente distinguible con mayor opacidad del talo. A esto debemos añadir que ambas formas de vida son fáciles de manipular y de instalar en las tablas de biomonitoreo, pero *U. subfloridana* tiene una ventaja más que supone el hecho de que se necesita menos cantidad por muestra para los análisis (1g.).

Hypotrachyna physcioides es la especie menos recomendable porque no muestra cambios morfológicos evidentes y parece responder adecuándose a las condiciones climáticas y/o de contaminación prevalentes en el lugar donde es expuesta, de modo que se muestra como la especie más resistente y por lo tanto de poca utilidad para monitorear niveles bajos de contaminación.

Es interesante anotar que en los ensayos de laboratorio y en el biomonitoreo se evidenció una cierta "recuperación" en la producción de CO_2 , en función al tiempo de exposición o en

concentraciones más altas de sulfito. Esta situación conduce a pensar en la posibilidad de que, suponiendo que la fotosíntesis es el proceso fisiológico directamente afectado por el sulfito, como lo indica la bibliografía, podría alterarse la relación entre las tasas respiratoria y fotosintética, de modo que al disminuir la fotosíntesis, se favorecería la respiración y de este modo se explicaría el incremento en la producción de dióxido de carbono. Esta suposición, difícil de verificar totalmente, dada la complejidad de la fisiología en simbiosis, debe ser analizada y considerada en estudios futuros, pues es evidente que la respuesta fisiológica al contaminante puede ser resultado de una interacción de varios procesos fisiológicos relacionados entre sí.

Finalmente nos enfrentamos a la difícil tarea de evaluar la calidad del aire en la ciudad de La Paz, en relación a la presencia de SO_2 . Aunque el carácter preliminar de estos ensayos no permite emitir juicios totalmente determinantes sobre el particular, más aún sin datos de medidas fisicoquímicas de, por lo menos, sulfatos, que ayudarían a entender mejor el comportamiento de las especies en estas fases iniciales del estudio, se pueden rescatar las siguientes observaciones :

En las tres zonas de estudio se observó disminución de la respiración más o menos en la misma intensidad. En la Zona Central, como era de suponerse se registraron los valores de respiración más bajos, pero sorprendentemente en la zona de Següencoma se registraron también valores bajos, en algunos casos aún menores a los registrados en la Plaza Isabel La Católica. Es posible que este fenómeno, apoyado por los resultados de las medidas de algunos metales pesados, efectuadas por la Secretaría del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Desarrollo Sostenible), indique que existen problemas con la calidad del aire en esta área, posiblemente porque se trata de la zona más baja de la ciudad, que se encuentra en la base de un cañadón y que, por el régimen de vientos, puede acumular importantes concentraciones de aeropolutantes. Esta es una suposición que deberá ser estudiada con mayor detalle.

Aunque no se puede dar una afirmación categórica sobre la concentración de SO en la ciudad, tampoco se puede dejar de lado la abundante bibliografía que apoya el hecho de que este gas es el más importante aeropolutante que condiciona la distribución de líquenes; por otro lado el ensayo de laboratorio nos muestra claramente que las especies estudiadas no son la excepción a esta casi "norma" planteada por numerosas investigaciones anteriores .

En este sentido es evidente que se ha detectado influencia del complejo de inmisión en la zona de la Casa de la Cultura (San Francisco) y en Següencoma, y aunque seguramente no es el único, el SO_2 es uno de los polutantes responsables de los efectos observados.

Si bien es muy poco lo que se puede decir sobre las concentraciones de aeropolutantes, es evidente que el problema de contaminación atmosférica existe y se debe empezar a tomar medidas para que no alcance índices graves, pues si bien es posible que las concentraciones sean todavía bajas, no es menos cierto que las condiciones de vida y trabajo de gran parte de la población, especialmente en el centro de la ciudad, permite que los tiempos de exposición sean largos, por lo tanto peligrosos aún en bajas concentraciones.

Resumen

Líquenes del valle de La Paz como bioindicadores de contaminación atmosférica

Este estudio pretende contribuir al diagnóstico de la contaminación atmosférica por dióxido de azufre en la ciudad de La Paz, utilizando la bioindicación como un método sencillo, económico y accesible a nuestras condiciones de trabajo.

Como resultado de la investigación, se pudo establecer que en los alrededores de la ciudad de La Paz, existe una rica flora de líquenes, con un gran potencial para la realización de estudios de bioindicación. A través de las pruebas realizadas se evidenció que *Usnea* cf. *subfloridana* Stirt. y *Stereocaulon ramulosum* (Sw.) Räscher. son las especies más apropiadas para ser utilizadas como bioindicadores, pues han mostrado signos apreciables de su sensibilidad a los niveles atmosféricos de SO_2 , experimentando disminución gradual de la respiración y/o cambios detectables en aspecto y morfología.

En relación al estudio de biomonitoreo, se evidenciaron, a lo largo del eje troncal de la ciudad (San Francisco - Següencoma) problemas de calidad del aire, porque se observó disminución de la respiración en los ejemplares de líquenes utilizados, con la misma intensidad en los diferentes puntos de exposición. Aunque no se pudo establecer con precisión que el dióxido de azufre sea el único responsable, los ensayos de laboratorio apoyan la idea de que la concentración atmosférica de este compuesto tiene relación con los cambios fisiológicos observados en los líquenes de prueba.

Abstract

Lichens from the valley of La Paz as bioindicators of atmospheric pollution

This work pretends to contribute to the diagnosis of sulphur dioxide atmospheric pollution in La Paz, using bioindication as a simple, economic and accessible method considering our working environment.

The results establish that in the surroundings of the city and other valleys rich lichen communities can be found with great potential for the development of bioindication research. Through the tests executed it was found that *Usnea* cf. *subfloridana* Stirt. and *Stereocaulon ramulosum* (Sw.) Räscher. are the most suitable species to be used as bioindicators with physiological response to atmospheric sulphur dioxide.

With the active biomonitoring essay it was established that through the principal axis of the city (San Francisco - Següencoma) there are atmospheric pollution problems that can be seen by the physiological response of the exposed lichens.

Although it is very difficult to affirm that sulphur dioxide is the only responsible for the reported damage, considering the similitude of the symptoms (depression of respiration rates) with those reported in the laboratory tests, it can be established that atmospheric levels of sulphur dioxide must be related with the reported changes.

Agradecimientos

El autor desea expresar su sincero agradecimiento al Convenio GTZ-Instituto de Ecología por permitir la realización del estudio. Al personal del Laboratorio de Suelos por toda la colaboración prestada. A Cecile B. de Morales por todas las sugerencias y consejos; a Sabine Stab por la inyección de iniciativa para el estudio de líquenes y su relación con la calidad ambiental y al Dr. Javier Cerdá S.J. por su permanente colaboración y amistad.

Referencias

- Bohrt, R., C. Wilde, A. Aliaga, E. Roth y E. Salinas, 1987.
Actitudes y Patrones de Conducta Hacia el Medio Ambiente". La Paz: Centro Interdisciplinario de Estudios Comunitarios (CIEC)-LIDEMA, 187 p.
- Brockmann, C.E., (Ed.) 1986.
Perfil Ambiental de Bolivia. La Paz: USAID/IIDMA, 166 p.
- Diaz Benavente, J., 1986.
La Contaminación originada por la industria en Bolivia pp. 43-69. En: Impacto del Desarrollo en la Ecología del Trópico Boliviano, Santa Cruz.
- Fields, R.F., 1988.
Physiological responses of lichens to air pollutant fumigations. En: T. Nash et al., Lichens, Bryophytes and air quality. J. Cramer, Stuttgart. 297 p.
- Hale, M.E., 1983.
The biology of lichens (third edition). E. Arnold Publishers, Maryland, 190 p.
- Hill, D.J., 1971.
Experimental study of the effect of sulphite on lichens with reference to atmospheric pollution. In: New Phytologist 70: 831- 836.
- Le Blanc, F. & D.N. Rao, 1965.
Effects of sulphur dioxide on lichen alga, with especial reference to chlorophyll. In: The Bryologist 69: 69-75.
- Morales, C., 1990.
Bolivia: Medio Ambiente y Ecología Aplicada. La Paz: Instituto de Ecología-UMSA, 318 p.
- Puckett, K.J., E. Nieboer, W. P. Flora & D.H.S. Richardson, 1973.
Sulphur dioxide, its effect on photosynthetic ^{14}C fixation in lichens and suggested mechanism of phytotoxicity. New Phytologist 72: 141-154.
- Rovalo, M. y M. Rojas, 1982.
Fisiología vegetal experimental: Prácticas de laboratorio. Limusa, México D.E, 271 p.

Steubing, L. & Ch. Kunze, 1989.

Pflanzenökologische Experimente zur Umweltverschmutzung. Quelle und Meyer Heidelberg. 3a. ed. 124 p. Traducción no publicada de Sabine Stab.

Verein Deutscher Ingenieure, 1991.

Measurement and Evaluation of Phytotoxic Effects of Ambient Air Pollutants (Immissions) with Lichens: Method of Standardized Lichen Exposure." VDI, Dusseldorf, 14 p.

Dirección del autor

Gary Rafael Anze Martin

Casilla 11538

La Paz, Bolivia