



Aprendiendo con Líquenes

Uso de Líquenes Epífitos como Indicadores Biológicos de Contaminación del Aire

Por Andrew Kett, Sonia Dong, Heather Andrachuk, y Brian Craig
Tradujo: Felipe Ibarra-Martinez

Puede ser todo un reto el tratar de hacer que los problemas del ambiente, como la contaminación del aire, sean concretos y significativos para los estudiantes. Ellos aprenden los conceptos generales y las causas y efectos más sobresalientes: los gases que causan el efecto invernadero, la lluvia ácida, el cambio climático: pero en muchas ocasiones, los problemas parecen tan grandes e intangibles que a los estudiantes se les dificulta comprender cómo estos problemas se conectan a sus vidas diarias. Efectivamente, tanto los instructores como los alumnos pueden correr el riesgo de 'perderse entre la maleza', de conceptualizar demasiado y no percibir los detalles. Como educadores que somos, nuestra meta es convertir estos problemas del ambiente a situaciones relevantes, locales y concretas, para mostrar a los estudiantes cómo estos problemas afectan al medio ambiente local en maneras que se pueden ver y sentir. Cuando se aprende acerca de la contaminación del aire, una forma en la que se puede lograr esta meta es poniendo a los estudiantes a monitorizar la calidad del aire usando líquenes, que actúan como indicadores biológicos.

¿Qué son los líquenes?

La primera impresión indica que los líquenes son una clase de musgo, pero una examinación más cuidadosa revela que se trata de una forma de organismo vivo único. Cada líquen está compuesto no de uno, sino de dos organismos: un hongo, y un alga o cianobacteria. Los dos organismos viven en una relación simbiótica, en la cual el alga provee a ambos miembros de la energía necesaria, mediante la fotosíntesis, mientras que el hongo le da abrigo y protección al alga.

Existen aproximadamente 20.000 especies de líquenes en todo el mundo, de los cuales 3.600 se encuentran en Norteamérica. Este grupo de organismos cubre el ocho por ciento de la superficie terrestre,

y pueden crecer casi en todos lados: sobre tierra, rocas, árboles, y hasta en superficies hechas por humanos. Viven en algunos de los hábitats más extremadamente inhospitalarios, incluyendo las cimas de montañas, desiertos y regiones polares. Aunque los líquenes crecen a menudo sobre árboles y arbustos como epífitos, no extraen nutrientes de las superficies en las que crecen, sino que absorben estos nutrientes de la atmósfera. Los líquenes tienen una amplia variación de colores, tamaños y formas. También cambian de color durante la caída de lluvia, ya que absorben agua y producen energía alimenticia. Esta es una de las cualidades asombrosas de los líquenes, y tal vez sea ésta la clave de su supervivencia en climas inhóspitos: pueden secarse completamente, volverse frágiles y quebradizos, pero se re-hidratán rápidamente en cuanto haya disponibilidad de humedad en su hábitat.

Los Líquenes como Indicadores Biológicos

Aunque los climas duros no representan un problema especial para los líquenes, los científicos han sabido por más de 140 años que éstos son extremadamente sensibles a la contaminación aérea. No tienen raíces, por lo que dependen de fuentes aéreas de nutrientes. Tampoco tienen cutícula, la capa encerada que protege a las plantas, y por lo tanto están completamente expuestos a los contaminantes presentes en el aire. A medida que absorben nutrientes, también absorben dichos contaminantes, los cuales se acumulan en sus tejidos. Además, la morfología de los líquenes (a diferencia de un árbol decíduo, por ejemplo), no cambia con el paso de las estaciones, lo cual significa que los líquenes acumulan estas sustancias durante todo el año.

Debido a que responden tan claramente ante la presencia de contaminación y ante los cambios del ambiente, los líquenes son utilizados como indicadores biológicos. Como los canarios en las minas de carbón, éstos nos pueden dar señales de advertencia en ambientes no saludables. Varios estudios han mostrado que la abundancia y diversidad de líquenes disminuye a medida que aumenta el desarrollo urbano y la actividad industrial. El dióxido de azufre, en particular, está fuertemente asociado a disminuciones en las poblaciones de líquenes. Esta sustancia es un subproducto común durante la combustión de combustibles fósiles y al parecer, interrumpe la fotosíntesis y la transferencia de carbohidratos del alga (o cianobacteria) al hongo. El dióxido de azufre es además uno de los componentes principales de la lluvia ácida, la cual hace que la corteza de los árboles sea menos propicia para el crecimiento de los líquenes. A medida que aumenta la concentración de dióxido de azufre, disminuye la abundancia de líquenes. Sin embargo, las poblaciones de líquenes no desaparecen por completo. Diferentes especies tienen diferentes niveles de tolerancia a los contaminantes. Algunas pueden sobrevivir en ambientes que están contaminados en forma severa, mientras que otros perecen si las condiciones no son prístinas. Por lo tanto, estudios sencillos sobre la presencia o ausencia de un tipo particular de líquenes pueden permitir a una clase de estudiantes llevar a cabo una evaluación precisa y científicamente válida de la calidad general del aire en un sitio en particular.

Proyectos de Bio-monitoreo

Muchos instructores integran un proyecto de monitoreo de calidad del aire mediante el uso de líquenes en sus unidades de ecología, química o biología, o en proyectos independientes para los cursos de grado superior de escuela preparatoria o de segunda educación. Temas relacionados con dicho proyecto incluyen la ecología, la contaminación, el cambio climático, y la diversidad biológica. Incluso, estos proyectos de monitoreo pueden asociarse con temas de geografía (elaboración de mapas, el sistema GPS de localización global, temas del medio ambiente), matemáticas (análisis de datos), educación cívica (conciencia cívica sobre el medio ambiente, influencia sobre el proceso de toma de decisiones), o clases de arte (fotografía, dibujo, escultura).

Dado que los líquenes tienen una distribución geográfica amplia, estos estudios se pueden llevar a cabo en vastas regiones, y aunque los líquenes crecen lentamente, tienen una gran longevidad, lo cual permite estudios de largo plazo. La amplitud y la profundidad de un estudio de monitoreo dependen del grado de interés y dedicación del maestro y sus estudiantes, así como de las razones para llevar a cabo el estudio. Tal vez el maestro esté interesado en un estudio inicial superficial, que solamente requiera ir al campo a identificar líquenes y a hacer una inspección sencilla, o tal vez le interese estudiar los líquenes de la zona cercana a la escuela para evaluar la calidad del aire de esa área. Tal vez quiera obtener respuestas específicas acerca de cierta fuente de contaminación, o coleccionar datos que puedan dirigirse al gobierno o colaborar con una base de datos de científicos.

Ya que los líquenes crecen durante todo el año, la monitoreo puede llevarse a cabo en cualquier época del año, pero para evitar climas difíciles, es mejor llevar a cabo estos estudios durante los meses

templados del ciclo escolar. Es buena idea planear viajes de campo con fechas alternativas en caso de que en la fecha original ocurra algún tipo de precipitación, dado que la lluvia o la nieve causan cambios fisiológicos sobre los líquenes (cambian de color y se vuelven más difíciles de identificar).

Preguntas Frecuentes sobre los Líquenes

¿Qué son los líquenes?

- Líquen – hongo (proporciona la estructura) + alga o cianobacteria (proporciona la energía a través de la fotosíntesis)
- Los líquenes se clasifican como hongos, aunque posean organismos de dos reinos diferentes
- Los tipos que crecen sobre árboles se conocen como líquenes epifitos (*epi* – sobre; *fito* – planta)

¿Cómo son los líquenes?

Los líquenes tienen tres formas principales: forma costrosa, forma foliada, y forma ramificada. Para ver fotografías y una discusión detallada de la biología de los líquenes, busque el sitio web <www.lichen.com/vocabulary> que se publicó como apéndice para el libro “Lichens of North America” de Brodo, Sharnoff y Sharnoff.

¿Qué ‘comen’ los líquenes, cómo y en dónde crecen?

- Los líquenes no “comen”, dañan o descomponen a los árboles; atrapan nutrientes directamente del aire.
- Los líquenes crecen de 1 a 10 mm por año, y pueden vivir hasta 1,000 años.
- Los líquenes son oportunistas: se encuentran activos mientras haya humedad, pero se encuentran en estado latente durante los períodos cálidos y secos.
- Los líquenes pueden sobrevivir en condiciones severas. En la Antártida, hay 350 especies diferentes de líquenes, mientras que solamente hay dos especies de plantas vasculares.

¿Cómo se reproducen los líquenes?

Los líquenes se reproducen en tres maneras diferentes: sexualmente, a través de la liberación de esporas que se forman dentro de una estructura que parece una pequeña taza llamada apotecio; asexualmente a través de otro tipo de esporas que se forman comúnmente dentro de pequeñas “manchas” negras en la superficie del líquen, llamadas picnidio; y vegetativamente por medio de la fragmentación y dispersión de excrecencias, como lóbulos, isidios, y soredios, siempre conteniendo células de hongos y de algas.



Estudiante de Brock University aprendiendo a identificar líquenes, como parte del curso de entrenamiento para “jóvenes mentores de jóvenes”, conducido por la Red de Monitoreo y Evaluación Ecológicas (Ecological Monitoring and Assessment Network) de Environment Canada.

Selección de Especies

Al comenzar el proyecto, las consideraciones más importantes son probablemente las relacionadas con escoger qué especies monitorear y cómo. Para fines de llevar a cabo la bio-monitoreo, los especialistas en líquenes han identificado grupos de especies indicadoras para diferentes tipos de bosques y han desarrollado guías de campo que contienen fotografías o dibujos de dichas especies, así como explicaciones de sus características únicas¹. Los líquenes en cada grupo tienen un intervalo de tolerancia a la contaminación que van de muy tolerantes a muy intolerantes. A menudo, los diferentes líquenes de cada grupo requieren metodologías o protocolos particulares de monitoreo. La mayoría de los grupos contienen 15 ó 20 especies, pero si estudiar tantas especies es una tarea demasiado compleja para una clase de estudiantes, los científicos han desarrollado grupos de hasta cuatro especies que también pueden ser efectivos. Referencias como el gran libro *Lichens of North America*² puede actuar como guías para que instructores y alumnos identifiquen los líquenes que no se incluyen en tales grupos de bio-monitoreo.

Protocolos

Los instructores que estén interesados en llevar a cabo un proyecto de monitoreo usando líquenes deberían dedicar tiempo a leer y reflexionar sobre los diferentes protocolos de monitoreo. Generalmente, se dividen en dos tipos, que se enfocan en líquenes que crecen sobre árboles. El primer tipo requiere el exámen de todo el tronco del árbol hasta una altura aproximadamente igual a la altura del pecho humano, anotando cada especie de líquenes presente y estimando su abundancia. Este método es particularmente útil en áreas que tienen poca abundancia y diversidad de líquenes, como en áreas muy contaminadas o áreas urbanas. El segundo tipo de protocolo toma en cuenta solamente una parte del tronco del árbol, que se marca usualmente con una pequeña cuadrícula o “escalera”. Este tipo de estudio se usa extensivamente

en Europa y en áreas donde la diversidad y abundancia de líquenes es alta. Escoger el tipo de protocolo más adecuado puede ser difícil, ya que ambos tienen ventajas y desventajas. El método de la escalera permite a los estudiantes evaluar la abundancia rápida y fácilmente, y tiene la ventaja de que puede ser repetido y de ser más objetivo que las estimaciones de abundancia que requieren todo el tronco. Sin embargo, a los estudiantes que usan el método de la escalera se les pueden escapar algunas de las especies presentes en el sitio dado, a menos de que repitan el muestreo muchas veces³.

Para las clases de alumnos que escojan proyectos de pequeña escala, cualquiera de estos protocolos será adecuado, pero para los maestros que estén interesados en llevar a cabo proyectos extensos y de varios años de duración es recomendable que se pongan en contacto con representantes locales de gobierno, universidades o grupos dedicados al ambiente para obtener consejo sobre la selección de protocolo relacionado a su área. El uso de protocolos estandarizados para coleccionar y reportar datos es una de las preocupaciones más grandes en estos proyectos de monitoreo en los que los datos se comparten con otros. La mayoría de las agencias gubernamentales tienen un protocolo de monitoreo biológico de líquenes, y muchos de ellos están disponibles en la Internet (aunque a menudo éstos no tienen un lenguaje o formato que sean fácilmente comprensibles, especialmente a los estudiantes). Es mejor que los maestros se pongan en contacto con organizaciones de educación ambiental de su región, o con grupos dedicados al monitoreo y organizaciones que han desarrollado protocolos de monitoreo científico listos para ser usados por estudiantes (favor de ver la nota adjunta). Éstos han sido escritos usualmente en lenguaje más comprensible y diseñados específicamente para ser usados en proyectos de monitoreo para estudiantes. En Canadá, hay grupos comunitarios de monitoreo, agencias de gobierno, e instituciones de educación post-secundaria que trabajan actualmente formando asociaciones para poner a prueba un protocolo semejante al que se usa en Europa. Esto permitirá que los estudiantes comparen sus datos con los de estudiantes de otras escuelas canadienses.



El Dr. Irwin Brodo, autor de "Lichens of North America", introduciendo a sus estudiantes a su tema favorito.

Selección del Sitio

Muchas escuelas tienen unos cuantos sitios adecuados para llevar a cabo el monitoreo, como parques, patios y cementerios, los cuales se encuentran suficientemente cerca como para llegar a ellos caminando. Prácticamente cualquier sitio que tenga árboles será suficientemente adecuado para llevar a cabo una inspección simple de líquenes. Si se persigue encontrar la respuesta a una pregunta específica sobre una fuente de contaminación, o si se planea colaborar con los resultados a una base de datos ya existente, sería recomendable tener varios sitios de monitoreo. Todos los sitios deben ser relativamente uniformes, ya que el crecimiento de líquenes es afectado por factores como el tipo y la densidad de los árboles, las condiciones del suelo, y las características principales de la zona. Es también recomendable pedir que los estudiantes documenten cada sitio muy bien, incluyendo la elaboración de mapas, y si es posible, fotografías.

Equipo y Recursos

El equipo necesario para monitorear líquenes no es caro y se obtiene fácilmente. Como se recomienda organizar a los estudiantes para que trabajen en grupos, solamente se requiere una pieza de equipo por grupo. Dicho equipo debe incluir:

- Lupa o lente, preferentemente de 8-20x
- guía o clave para identificar líquenes
- regla y cinta métrica larga
- compás
- hojas de cálculo para escribir información
- bitácora y lápiz

Eso es todo. Por supuesto, se puede expandir esta lista de equipo si se cuenta con recursos ilimitados, o si se quiere modificar el proyecto de monitoreo. Ciertos protocolos requieren que se defina el área de muestreo sobre la superficie de los árboles usando gis o una cuadrícula colgante de cinco cuadros de 10 cm por 10 cm, alineados verticalmente (los mismos estudiantes pueden fabricar estas “escaleras” fácilmente usando papel, hilo, o alambre de gancho para ropa y cadenas para interruptores eléctricos). Un cuchillo y algunos frascos de vidrio se pueden usar para coleccionar especímenes que se puedan estudiar más a fondo de regreso al salón de clases. Se puede utilizar una cámara para tomar nota de la información relacionada al sitio de estudio. Se puede usar equipo de GPS para ubicar los sitios de muestreo. Finalmente, lo más útil para el estudio es algún otro equipo para monitoreo de calidad de aire que pueda ser usado en conjunto con la inspección de líquenes para comparar los datos generados.

Diversos materiales escolares y materiales de investigación de campo pueden mejorar el grado de aprendizaje de los estudiantes. Tener disponibles diagramas de identificación de especies, hojas para la colección de datos, y los detalles sobre la metodología de monitoreo asegurarán que los datos coleccionados por el grupo de alumnos sean correctos, precisos y útiles, en comparación con los obtenidos por programas de monitoreo académicos o gubernamentales. Así mismo, se pueden utilizar manuales de enseñanza especializados para planear lecciones, llevar a cabo actividades relacionadas con el programa de estudios, obtener información antecedente, y generar ideas para proyectos estudiantiles para mejorar el medio ambiente local.⁴

Para poder asegurar la calidad de los datos obtenidos, sería buena idea que el instructor persiga entrenamiento en el ramo de la identificación de líquenes. Muchos grupos comunitarios ofrecen talleres de entrenamiento para maestros, que incluyen sesiones dentro del salón y sesiones en el campo, y recursos varios, como manuales para instructores. Como alternativas, algunas agencias gubernamentales y organizaciones comunitarias ofrecen la ayuda de estudiantes de postgrado voluntarios entrenados, quienes pueden encabezar al equipo de estudiantes de escuela preparatoria o de segunda educación, tanto en las sesiones dentro del salón de clases, como en el campo. Este modelo de jóvenes mentores de jóvenes inspira y motiva a los jóvenes para considerar la posibilidad de perseguir carreras o tareas científicas, y los atrae como voluntarios a experiencias de trabajo mientras continúan en la escuela.⁵

Ejemplo de Protocolo de Proyecto

La siguiente es una sugerencia de un protocolo a seguir para el proyecto de bio-monitoreo de líquenes.

1. *Preparación del proyecto:* Los maestros e individuos asociados (por ejemplo grupos de la comunidad local o de naturalistas, instituciones académicas, o agencias de gobierno) escogen

- sitios de monitoreo, programan sesiones de trabajo en la escuela y sesiones de trabajo en el campo, juntan los recursos y el equipo necesarios, y establecen la asistencia de voluntarios.
2. *Introducción a los líquenes*: Dos sesiones con la clase escolar de aproximadamente 75 minutos cada una, durante las que los alumnos aprenden acerca de la biología y la identificación de los líquenes, así como la manera de coleccionar datos de campo.
 3. *Trabajo de campo*: Dos a cuatro sesiones de campo de dos a tres horas de duración cada una. Una sesión de campo típica puede incluir:
 - a. preparación del sitio de estudio. Se escogen de cinco a diez árboles de la misma especie. Se registran datos de estos árboles (como la especie y el tamaño) y del sitio (se bosqueja un mapa, se anota la ubicación, la fecha y la hora, el clima, etc).
 - b. identificación de líquenes. Se identifican los líquenes presentes, y se registran los datos en una página de datos uniforme. También se puede anotar la abundancia de cada especie, dependiendo del protocolo.
 4. *Sesión de tutelaje sobre el análisis de datos*: Una sesión de aproximadamente 75 minutos, en la cual los estudiantes aprenden a analizar e interpretar los datos utilizando cálculos como el Índice de Pureza Atmosférica.⁶
 5. *Desarrollo e implementación del plan de acción, y diseminación de los resultados a la comunidad*: Esta parte del proyecto puede variar, dependiendo de los intereses y el tiempo disponible para los estudiantes y el maestro. (Vea "Entrando en Acción" más abajo.)

Este protocolo se refiere a un proyecto a fondo. Si se persigue solamente introducir a los estudiantes al tema general de los líquenes y exponerlos al medio ambiente, hay grupos comunitarios que a menudo ofrecen sesiones de entrenamiento para clases de alumnos, así como ejercicios de preparación y actividades de seguimiento que los maestros pueden incorporar en sus clases.



Una simple cuadrícula de muestreo en forma de "escalera", hecha de alambre y cadena delgada.

Entrando en Acción

Una vez que los estudiantes han aprendido acerca de los líquenes, y ya que han coleccionado y analizado sus datos, es común que pregunten: "¿Qué hacemos ahora con todos estos datos?" Dentro del salón de clases, algunas de las posibles actividades culminantes son la creación de exhibiciones, paquetes informativos, folletos y presentaciones. Si el análisis de sus datos muestra que la calidad local del aire necesita mejorar, pueden actuar diseminando sus resultados en reuniones de la comunidad, o preparando una exhibición especial y presentándola en las noches de visita de padres de familia a la escuela. Es posible que los estudiantes prefieran hacer cambios en su comportamiento para reducir el impacto de sus acciones sobre la calidad del aire local, o que usen sus datos para sonar una alarma ante gobiernos, para exhortarlos a que hagan cambios a políticas relacionadas, o tal vez quieran participar en estudios de monitoreo de escala mayor. Pueden invitar al resto de la comunidad escolar, o a estudiantes de otras escuelas a participar en bio-

monitoreo, o en plantado de árboles, o en organizar días sin automóviles.

La monitoreo de la calidad del aire usando líquenes es una manera perfecta para permitir que los estudiantes participen en la investigación científica original y para que se familiaricen mejor con su vecindario. Los estudiantes también se enfrentarán a retos y problemas similares a los que se les presentan a los científicos profesionales cuando realizan estudios científicos: las posibles fuentes de errores, el hecho de que un sólo indicador no revela todas las respuestas requeridas, el hecho de que siempre existe la posibilidad de realizar estudios posteriores, etc. Lo mejor de todo es que los estudiantes

salen del salón de clases y tienen la oportunidad de reconocer los verdaderos detalles de la ciencia biológica: los árboles, la luz del sol y el aire. Las teorías científicas, los conceptos abstractos y las ideas principales tienen su lugar, pero no debemos olvidar que cada teoría fue en alguna ocasión una simple observación. Cada bosque es en realidad una colección de árboles, y antes de que esos árboles existieran, el suelo estaba, muy probablemente, cubierto de líquenes.

Andrew Kett es el coordinador extensionista y **Sonia Dong** es la coordinadora de programas en Citizens Environment Watch (CEW) en Toronto, Ontario. CEW entrena y proporciona equipo a estudiantes y voluntarios comunitarios para monitorear la calidad del aire local, usando líquenes, y para monitorear la calidad del agua, usando macro-invertebrados bénticos. **Heather Andrachuk** es la consejera científica extensionista y **Brian Craig** es el consejero científico principal en Ecological Monitoring and Assessment Network (EMAN) de Environment Canada. EMAN coordina el desarrollo de protocolos de monitoreo y la repartición de datos a lo largo de una red de agencias gubernamentales, grupos ciudadanos, universidades, escuelas, y otros grupos involucrados en la monitoreo e investigación científicamente válidas de ecosistemas en Canadá.

Felipe Ibarra-Martinez es profesor de escuela preparatoria en Toronto, Ontario y fue empleado previamente como traductor profesional.

Protocolos de Bio-monitoreo de Líquenes en la Internet

Citizens' Environment Watch – vea “Air Quality Monitoring with Epiphytic Lichens” (Monitoreo de la Calidad del Aire con Líquenes Epifitos) para encontrar un protocolo, hojas de datos, y una guía para análisis de datos diseñada para proyectos comunitarios y escolares de bio-monitoreo de líquenes.

<www.citizensenvironmentwatch.org/cew/resourceCentre/protocols&manuals.html>

Ecological Monitoring and Assessment Network (Environment Canada) – este sitio proporciona protocolos para una variedad de estudios de monitoreo de líquenes. Estos incluyen censos de líquenes que utilizan pequeñas cuadrículas o “escaleras” para determinar la diversidad; elaboración de mapas de diversidad de líquenes y calidad regional del aire, usando un índice de pureza atmosférica (Index of Atmospheric Purity); un método fotométrico para tomar fotografías de líquenes y examinarlos digitalmente; y procedimientos de colección estandarizados que permiten el análisis de metales y contaminantes a través del uso de espectrometría de masas, entre otras técnicas.

<www.eman-rese.ca/eman/ecotools/protocols/terrestrial/lichens/intro.html>

The British Lichen Society – “La Guía Europea para Elaborar Mapas de Diversidad de Líquenes como Indicadores de Tensión Ambiental.” Con métodos europeos estandarizados para monitorizar la calidad del aire usando líquenes que crecen en la corteza de árboles.

<www.thebls.org.uk/eumap.pdf>

USDA Forest Service – vea “Air Quality and Lichens” A Literature Review Emphasizing the Pacific Northwest of the United States” (La Calidad del Aire y los Líquenes: Una Revisión Bibliográfica con Énfasis en la zona del Noroeste de los Estados Unidos), que es un excelente resumen sobre investigación y métodos de monitoreo de líquenes.

<www.fs.fed.us/r6/aq/lichen/almanac>

Notas:

1. Para encontrar ejemplos de grupos de líquenes, vea las guías de campo de identificación de líquenes para bosques decíduos mixtos y para bosques boreales en la página web de Ecological Monitoring and Assessment Network de Environment Canada <www.eman-rese.ca/eman/ecotools/protocols/terrestrial/> (siga las ligas bajo la sección “Lichen Diversity and Abundance”); y “Indicator Lichen Species and their Characteristics” en la página web de Citizens' Environment Watch <www.citizensenvironmentwatch.org/cew/resourceCentre/protocols&manuals.html> (siga la liga “Guide to Indicator Species” bajo la categoría “Air Quality Monitoring with Epiphytic Lichens”).
2. Irwin M. Brodo, Sylvia Duran Sharnoff y Stephen Sharnoff. *Lichens of North America*. Yale University Press, 2001.
3. Robert Cameron, ecólogo de la División de Áreas Protegidas de Nova Scotia Environment and Labour, correspondencia personal, Agosto 17, 2005.
4. Vea, por ejemplo, Margaret Peterson, “Lichens as Air Quality Indicators: A beginning lichen identification study” para grados 6-8, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, 2003, en Internet en Septiembre 27, 2005 en <<http://cires.colorado.edu/education/k12/earthworks/teachers/petersonM.html>>; y William C. Denison, “A Guide to Air Quality Monitoring with Lichens,” Lichen Technology, Inc, 1973, en la Internet en Septiembre 27, 2005 en <<http://ocid.nacse.org/classroom/lichens/denison/>>.

5. Por ejemplo, Citizens' Environment Watch en Ontario conecta a voluntarios entrenados (mentores de monitoreo) con clases de alumnos para dar asistencia a maestros en la implementación de proyectos de monitoreo. CEW también ofrece programas para jóvenes que no son parte del sistema escolar y para miembros y grupos comunitarios. Vea www.citizensenvironmentwatch.org.
6. Una buena fuente para el análisis de datos sobre líquenes es "Epiphytic Lichen Data Analysis", por Citizen's Environment Watch, 2002. Puede ser descargada como archivo tipo pdf en www.citizensenvironmentwatch.org/cew/resourceCentre/protocols&manuals.html; haga click en "Data Analysis", bajo la sección "Air Quality Monitoring with Epiphytic Lichens."

Lecturas Adicionales

Brodo, I.M., S. Sharnoff y S. Sharnoff. *Lichens of North America*. Yale University Press, 2001.

Huckaby, L.S. (Ed.) *Lichens as Bioindicators of Air Quality*. USDA Forest Service General Technical Report RM-224, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, 1993.

Manning, W.J. and W.A. Feder. *Biomonitoring of Air Pollutants with Plants*. London: Applied Science Publishers, 1980.

Nash, T.H. *Lichen Biology*. UK: Cambridge University Press, 1996.

Nash, T.H. and V. Wirth. "Lichens, Bryophytes and Air Quality." *Bibliotheca Lichenologica*, 30. J. Cramer, 1988.

Richardson, D.H.S. *Pollution Monitoring with Lichens*. Slough, England: Richmond Publishing. 1992.

United States Environmental Protection Agency, Biological Indicators of Watershed Health. Esta obra se enfoca en acuíferos más que en sistemas terrestres, pero proporciona una buena explicación del uso de indicadores biológicos en la monitoreo de la calidad del ambiente. Disponible en la Internet en www.epa.gov/bioindicators/.