

Utilidad económica y étnica de las briófitas*

Janice M. Glime

Introducción

La generalizada carencia de valor comercial, el pequeño tamaño, y su inconspicuo rol en los ecosistemas, son la causa de que las briófitas parezcan no tener utilidad para la mayoría de las personas. Sin embargo, hombres de la Edad de Piedra que vivían en la actual Alemania, ya recolectaban el musgo *Neckera crispa* (G. Grosse-Brauckmann 1979). Otros cuantos fragmentos de evidencia sugieren una variedad de usos por varias culturas alrededor del mundo (J. M. Glime & D. Saxena 1991). En la actualidad, los botánicos contemporáneos están considerando a las briófitas como fuentes de genes para la modificación de plantas agrícolas para poder enfrentar los variados estreses fisiológicos del mundo moderno. Esto resulta irónico, puesto que los numerosos compuestos secundarios presentes en las briófitas las hacen desagradables incluso para los paladares menos exigentes, y su valor nutricional es cuestionable.

Utilidad ecológica

Especies indicadoras

Los musgos y hepáticas suelen ser buenos indicadores de las condiciones ambientales. En Finlandia, A. K. Cajander (1926) ya utilizaba briófitas terrestres y otras plantas para caracterizar los tipos de bosques. Su valor como bioindicadores fue prontamente respaldado por A. H. Brinkman (1929) y P. W. Richards (1932). Pero las briófitas tienen un lugar algo diferente en los ecosistemas que sus pares vasculares.

*Título original y fuente:

Glime, J. M. 2007. Economic and Ethnic Uses of Bryophytes. In: Flora of North America Editorial Committee, eds. 1993+. Flora of North America North of Mexico. 15+ vols. New York & Oxford. Vol. 27, pp. 14-41.
Traducción de Juan Larrain, Departamento de Botánica, Universidad de Concepción, Chile. Agosto de 2010. Edición 24 Febrero 2011.

Varios intentos han sido realizados para persuadir a los geólogos que utilicen briófitas para la prospección de minerales. R. R. Brooks (1972) recomendaba briófitas como guías para la mineralización, y D. C. Smith (1976) consecuentemente encontró una buena correlación entre la distribución de metales en las briófitas y en los sedimentos de los arroyos donde crecían. Smith sentía que el uso de las briófitas podía resolver tres dificultades que suelen asociarse con el muestreo de sedimentos en arroyos: escasez de sedimentos, escasez de humedad para tamizar en húmedo, y escasez de tiempo para el muestreo adecuado de áreas de difícil acceso. Mediante el uso de briófitas como concentradores de minerales, podrían ser adicionadas muestras de numerosos pequeños riachuelos en un área para proveer material suficiente para la realización de análisis. Consecuentemente, H. T. Shacklette (1984) sugirió el uso de briófitas para prospecciones acuáticas. Con la excepción de los “musgos del cobre” (K. G. Limpricht 1895), existe poca evidencia de que hayan ciertas especies que sirvan como buenos indicadores para minerales específicos. Los “musgos del cobre” crecen casi exclusivamente en áreas con alto contenido de cobre, particularmente sobre sulfato de cobre. O. Mårtensson & A. Berggren (1954) y H. Persson (1956) han reportado valores de cobre en el sustrato de 30-770 ppm para algunos taxones del grupo de los “musgos del cobre”, como *Mielichhoferia elongata*, *M. mielichhoferi*, y *Scopelophila*.

Aunque ninguna briófitas parece restringida a sustratos que contienen hierro, durante la fotosíntesis las briófitas tienen la capacidad de transformar hierro reducido disuelto a su forma indisoluble oxidada, haciendo esta molécula visible. A. Taylor (1919) descubrió que los compuestos de hierro penetraban los tejidos de *Brachythecium rivulare* formando una dura toba; J. M. Glime & R. E. Keen (1984) encontraron una respuesta similar en *Fontinalis*, donde el óxido de hierro envolvía completamente al musgo con una cubierta dura. M. Shiikawa (1956, 1959, 1960, 1962) encontró que la hepática *Jungermannia vulcanicola* y los musgos *Sphagnum* y *Polytrichum* juegan un rol activo en la depositación de minerales de hierro. Como en Japón existen pocas fuentes de hierro utilizable, S. Ijiri & M. Minato (1965) sugirieron la producción artificial de mineral de limonita mediante el cultivo de briófitas en campos cercanos a vertientes de aguas ricas en hierro.

Una de las formas mediante las cuales las briófitas secuestran tanto metales como nutrientes es ligándolos mediante intercambio catiónico a las paredes celulares de las hojas. En este proceso, *Sphagnum* intercambia iones de hidrógeno del agua por cationes como calcio, magnesio y sodio (R. S. Clymo 1963). Los iones hidrógeno hacen el agua más ácida, y la mayoría de los ecólogos de turberas argumentan que este es el principal modo por el cual turberas y pantanos se acidifican.

Mientras *Sphagnum* es un indicador confiable de condiciones ácidas, K. Dierssen (1973) encontró que varias otras especies de briófitas indican exitosamente otras condiciones del suelo. Por ejemplo, *Ceratodon purpureus* sugiere un buen drenaje y altos niveles de nitrógeno, mientras *Aulacomnium palustre*, *Pleurozium schreberi*, *Pogonatum alpinum* y *Pogonatum urnigerum* indican bajo contenido de nitrógeno, por lo menos en Islandia. *Funaria hygrometrica*, *Leptobryum pyriforme* y *Pohlia cruda* muestran buena saturación de bases, mientras que *Psilopilum laevigatum* indica una pobre saturación de bases y pobres condiciones físicas del suelo.

T. Simon (1975) demostró que las briófitas podrían ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo en bosques de estepa, pero que su importante absorción de lluvia y agua atmosférica hacían a pocas de ellas buenos indicadores de pH. H. A. Crum (1973) consideraba a *Polytrichum* como un buen indicador de condiciones ácidas, siendo su capacidad de vivir en terrenos ácidos facilitada por el tejido vascular (hidroides y leptoides) en sus tallos. Los rizoides en su base probablemente

promueven la obtención de agua y nutrientes del suelo. Asimismo, *Leucobryum* indica suelos ácidos, usualmente combinado con humus estéril y profundo (T. A. Spies & B. V. Barnes 1985). Recientemente, las briófitas han sido utilizadas como indicadores del clima del pasado. Aunque las turberas y su flora e incluso su fauna preservada han sido ampliamente utilizadas para revelar el pasado, podemos hoy día utilizar la composición de comunidades de briófitas para determinar regímenes climáticos e hidrológicos del pasado. El entender cómo los niveles de evaporación y precipitación determinan las comunidades de *Sphagnum*, nos permite utilizar subfósiles de *Sphagnum* y otros ensambles de musgos para identificar los climas del pasado (E. A. Romanova 1965; J. A. Janssens 1988). En otro ejemplo, la presencia de subfósiles de especies tolerantes a la desecación como *Tortella flavovirens*, indican condiciones secas en el pasado en algunas regiones de Holanda (H. Nichols 1969; J. Wieggers & B. Van Geel 1983).

De igual modo, nuestra comprensión de la vegetación del pasado es promovida por la información acerca de los ensambles de briófitas del pasado. L. F. Klinger et al. (1990) han sugerido que en el Holoceno, la sucesión fue desde bosques a turberas, con la turba sirviendo como una mecha para arrastrar agua hacia la superficie, subiendo el nivel de las napas de agua, causando que las raíces de los árboles del bosque queden saturadas de agua. En Nueva Inglaterra, N. G. Miller (1993) utilizó briófitas para sustentar conclusiones de que en el Ártico la flora de hace 13500 a 11500 años era del tipo tundra, similar a la flora actual.

Control de la erosión

Aunque las plantas leguminosas, con sus simbioses fijadores de nitrógeno, son frecuentemente plantadas para asegurar áreas desprovistas de suelo superficial, H. S. Conard (1935) sugirió que “sembrar” esporas y fragmentos vegetativos de briófitas en suelos desnudos podría ayudar a prevenir la erosión. En Iowa, su estado de residencia, Conard encontró que *Barbula*, *Bryum* y *Weissia* eran importantes colonizadores de nuevos cortes de caminos, ayudando a controlar la erosión antes de que plantas más grandes se establecieran. Los protonemas que se desarrollan tanto de los fragmentos de hojas como de las esporas, forman matas que cubren y sujetan sustratos expuestos (W. H. Welch 1948). En Japón, *Atrichum*, *Pogonatum*, *Pohlia*, *Trematodon*, *Blasia* y *Nardia* juegan un rol en la prevención de la erosión de riberas (H. Ando 1957). Incluso áreas sujetas a pisoteo, como los senderos, pueden ser protegidos de la erosión por taxones de briófitas resistentes al pisoteo, y por aquellas con alta capacidad de regeneración (S. M. Studlar 1980).

Por otra parte, cuando briófitas tales como *Sphagnum* alcanzan la saturación de agua, pueden liberar una gran cantidad de agua en momentos inesperados. Debido a su tremenda capacidad de contener agua, *Sphagnum*, junto con *Calliergon sarmentosum*, controlan el agua durante el secado de vertientes en el Ártico (W. C. Oechel & B. Sveinbjornsson 1978). Cuando *Sphagnum* se satura y la capa sobre el permafrost se derrite, los musgos repentinamente permiten que un gran volumen de agua sea liberada de una sola vez, creando problemas para ingenieros en construcción de caminos.

Fijación de nitrógeno

El nitrógeno suele ser un nutriente limitante para el crecimiento de las plantas, especialmente en plantaciones agrícolas. Las costras de briófitas, dotadas de cianobacterias fijadoras de nitrógeno, pueden contribuir con considerables cantidades de nitrógeno al suelo, particularmente en tierras secas de pastoreo. Algunas de estas cianobacterias se comportan de modo simbiote en *Anthoceros*



Figura 1. *Polytrichum juniperinum* es un musgo alto, ubicuo, que sostiene el suelo en su lugar, luce como un pequeño arbolito en un jardín en miniatura, y es lo suficientemente fuerte como para hacer escobas, canastos y choapinos con sus tallos. Foto de Janice Glime.

(D. K. Saxena 1981), tomando nitrógeno atmosférico y convirtiéndolo en amonio y aminoácidos. El exceso de nitrógeno fijado es liberado hacia el sustrato, donde puede ser utilizado por otros organismos. K. T. Harper & J. R. Marble (1988) encontraron que las costras de briófitas no solo ayudan a proteger los suelos de la erosión producida por el viento y el agua, y proveyendo hogar para organismos fijadores de nitrógeno, sino que también absorben y retienen agua.

U. Granhall & T. Lindberg (1978) reportaron altas tasas de fijación de nitrógeno ($0,8-3,8 \text{ gm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en comunidades de *Sphagnum* en un bosque mixto de *Pinus* y *Picea* en el centro de Suecia; por lo tanto las briófitas, como sustrato para organismos fijadores de nitrógeno, son importantes en la industria forestal. En *Sphagnum*, y probablemente también en otros taxones, tres tipos de asociaciones fijadoras de nitrógeno existen: cianobacterias epífitas, cianobacterias intracelulares, y bacterias fijadoras de nitrógeno (U. Granhall & H. Selander 1973; U. Granhall & A. V. Hofston 1976). Las cianobacterias fijadoras de nitrógeno de las briófitas aumentan el crecimiento de raps (*Brassica napus*), la planta fuente del aceite de colza o aceite de canola (D. L. N. Rao & R. G. Burns 1990).

Estudios de polución

Las briófitas han jugado un importante rol en el monitoreo de cambios en la atmósfera terrestre. Trabajando en Japón, H. Taoda (1973, 1975, 1976) desarrolló un “briómetro”, una bolsa de musgos que respondía de manera predecible a varios niveles de contaminación del aire. Mediante la exposición de una variedad de musgos a varios niveles de SO₂, él determinó que la mayoría de las especies sufrían daños tras 10–40 horas de exposición a 0,8 ppm de SO₂, ó a 0,4 ppm por 20–80 horas. Desde ese tiempo, el uso del “briómetro” se ha esparcido por el mundo, pero ha sido de especial utilidad en Europa, donde es también conocido como “bolsa de musgo”. En Finlandia, A. Makinen (no publicado) utilizó bolsas de *Hylocomium splendens* para monitorear metales pesados alrededor de una planta industrial a carbón. D. R. Crump & P. J. Barlow (1980) también han utilizado el método para evaluar la absorción de plomo.

SO₂ y lluvia ácida

Mientras que los norteamericanos no han adoptado el “briómetro” *per se*, han comenzado a utilizar briófitas para monitoreo relativamente temprano. En 1963, A. G. Gordon & E. Gorham publicaron lo que parece ser el primer estudio norteamericano sobre los efectos de los contaminantes en musgos, examinando un sitio afectado por emisiones de SO₂ del orden de las 100000 toneladas por año desde 1949 hasta 1960. Utilizando transectos radiales desde la fuente, encontraron que los primeros musgos en aparecer a medida que aumentaba la distancia de la fuente, los tolerantes *Dicranella heteromalla* y *Pohlia nutans*, se encontraban en las bases de los troncos.

La apreciación de los musgos como indicadores confiables ha crecido (T. H. Nash & E. H. Nash 1974; O. L. Gilbert 1989). Gilbert (1967, 1968) encontró que el SO₂ podría limitar la distribución, éxito reproductivo, y la formación de cápsulas en los musgos. En 1969, publicó el exitoso uso de *Grimmia pulvinata* como un indicador de SO₂ en Inglaterra. Otros lo siguieron con similares aplicaciones para otras briófitas en Europa (S. Winkler 1976) y en Norteamérica (M. B. Stefan & E. D. Rudolph 1979).

A medida que los estudios de monitoreo continuaban, los investigadores desarrollaron una lista de especie tolerantes y no tolerantes, que pueden ser utilizadas como indicadores. En Japón, H. Taoda (1972) utilizó especies epífitas para evaluar el impacto de la polución en la ciudad de Tokyo. Dividió la ciudad en cinco zonas, basándose en la intensidad de la contaminación, y listó cuatro grupos de briófitas (incluyendo musgos y hepáticas) en orden de sensibilidad creciente al SO₂: (1) *Glyphomitrium humillium*, *Hypnum yokohamae*; (2) *Entodon compressus*, *H. plumaeforme*, *Sematophyllum subhumile*, *Lejeunea punctiformis*; (3) *Aulacopilum japonicum*, *Bryum argenteum*, *Fabronia matsumurae*, *Venturiella sinensis*; (4) *Haplohymenium sieboldii*, *Herpetineuron tocceae*, *Trocholejeunea sandvicensis*, *Frullania muscicola*. Más tarde, Taoda (1980) utilizó tres hepáticas (*Conocephalum supradecompositum*, *Lunularia cruciata* y *Marchantia polymorpha*) para evaluar el grado de urbanización en la ciudad de Chiba cerca de Tokyo. En Europa, K. Tamm (1984) utilizó epífitos, y estas asociaciones naturales se popularizaron como un modo de evaluar la contaminación del aire.

Musgos expuestos a fumigación con SO₂ exhiben reducción en su cobertura. Sin embargo, es difícil determinar si el daño se debe directamente al dióxido de azufre o si es el resultado de la formación posterior de ácido sulfúrico. Cuando el SO₂ se disuelve en agua, forma en última instancia ácido

sulfúrico, el cual se disocia para formar iones hidrógeno libres, haciendo el agua ácida. En la célula, estos iones hidrógeno pueden reemplazar al magnesio en la molécula de clorofila, destruyéndola. Los musgos que son tolerantes a un ambiente ácido deben tener algún método para proteger su clorofila de esta degradación, o de prevenir la disociación. Por ejemplo, algunos musgos (por ej. *Dicranoweisia*) transforman el SO_3^{-2} en una sal de sulfato (SO_4^{-2}) no dañina (W. J. Syratt & P. J. Wanstall 1969). Una alta concentración de clorofila parece también proteger a este musgo.

Como diferentes especies tienen distintas sensibilidades a los contaminantes, un cambio en la composición de especies podría indicar cambios en las condiciones atmosféricas. En algunas áreas, la acidificación de las cortezas por la lluvia ácida ha resultado en la proliferación sobre éstas de especies que normalmente están confinadas a rocas ácidas (A. J. Sharp, com. pers.).

La lluvia ácida, resultado de las emisiones de SO_2 , puede de hecho mejorar las condiciones para *Pleurozium schreberi* en algunos bosques de *Pinus banksiana* (G. Raeymaekers 1987). *Pleurozium schreberi* crece más rápido y aumenta su cobertura cuando se rocía con agua acidificada con pH 4,5. De hecho, el hábitat de *P. schreberi* en la naturaleza tiende a ser ácido. Sin embargo, a pH 3,5, su crecimiento y contenido de clorofila se reduce y la producción de cápsulas disminuye. Del mismo modo, en bosques boreales, *Hylocomium splendens* y *Ptilium crista-castrensis* pueden reemplazar al algo sensible a la contaminación *Pleurozium schreberi* cuando el estrés por SO_2 aumenta, pero más cerca de la fuente de contaminación, estas especies también desaparecen (W. E. Winner & J. D. Bewley 1978).

Un pH tan bajo como 3,5 no es poco común en niebla ácida. Mientras la lluvia ácida puede favorecer a ciertas briófitas, la niebla ácida puede ser más dañina. En áreas como la costa de California, en el Parque Nacional Isle Royale, o en casi todas partes en Gran Bretaña, daños severos pueden ocurrir durante las frecuentes nieblas ya que pequeñas gotitas de agua pueden contener un alto contenido de azufre, generalmente resultando en un pH muy bajo. Cuando estas gotitas descansan en una hoja de briófitas, generalmente de una capa de células de espesor, el alto contenido ácido puede fácilmente afectar el interior de la célula.

Las briófitas no solo pueden servir como sistemas de advertencia, sino que pueden proteger los nutrientes y raíces bajo ellas. Al interceptar los iones de azufre, previenen la formación de ácido sulfúrico que contribuye al lavado de valiosos nutrientes del suelo (W. E. Winner et al. 1978). Esto beneficia no solo a los musgos, sino también a las plantas vasculares que dependen de los nutrientes del suelo.

Durante episodios de precipitación atmosférica, las briófitas sirven de filtros antes de que el agua alcance el suelo, atrapando los contaminantes lavados desde los árboles. Los musgos expuestos a largos períodos de sequía generalmente no son dañados por el SO_2 durante estos períodos, pero el SO_2 disuelto en la lluvia o en la neblina daña rápidamente a las briófitas mientras se rehidratan. Esto se debe a que las membranas dañadas durante este proceso admiten fácilmente el agua ácida (resultando del SO_2 disuelto), la cual fácilmente disuelve los contenidos celulares y los filtra hacia el exterior de la célula. La pérdida de los extremadamente solubles potasio y magnesio ocurre rápidamente, y el musgo se torna pálido, un síntoma de daño fácilmente observable. Sin magnesio, la clorofila dañada no puede ser reparada.

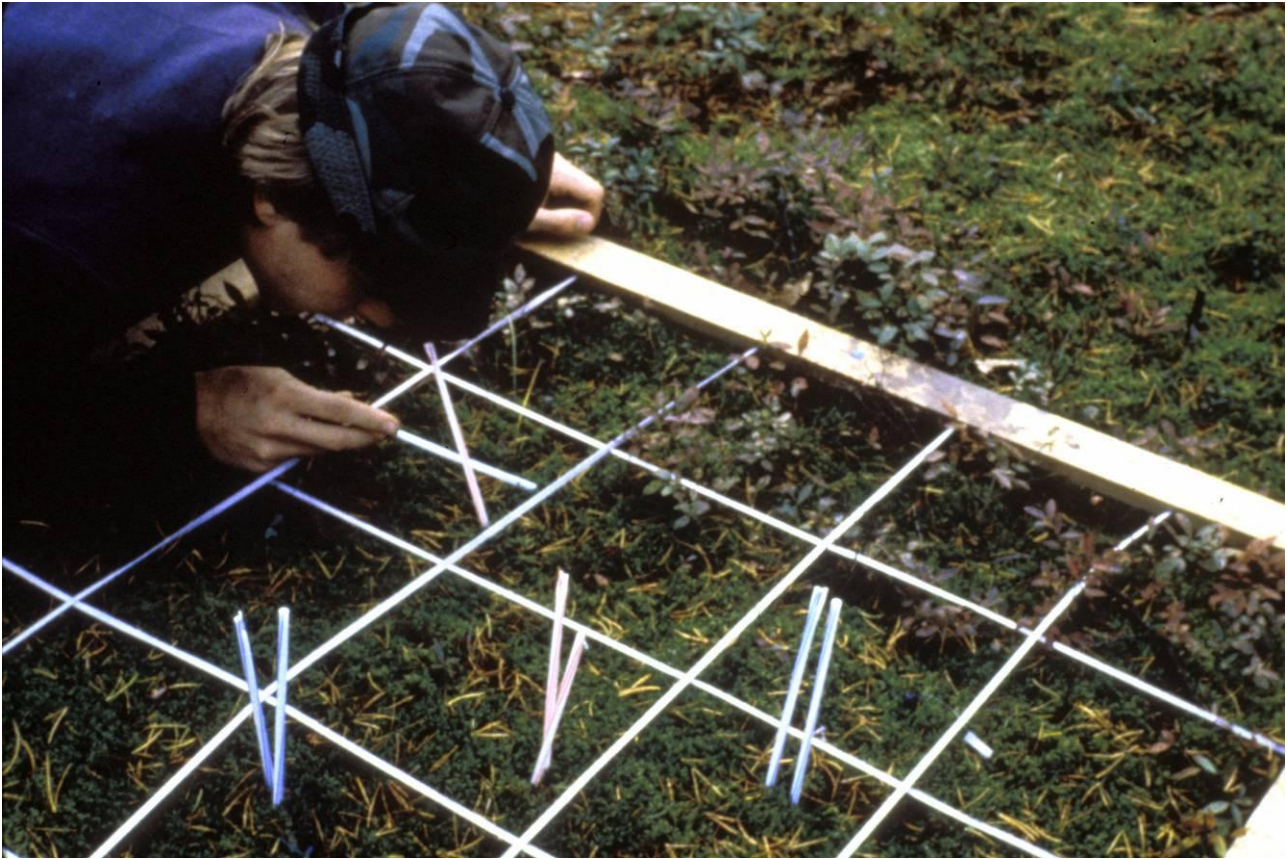


Figura 2. *Pleurozium schreberi*, un componente habitual de los bosques boreales, produce menos cápsulas cuando es tratado con una simulación de lluvia ácida (pH 2,5). Foto de Geert Raeymaeckers, Ecosystems, Bruselas.

Bioindicadores de metales pesados en el aire contaminado

El “Primer Congreso Europeo sobre la Influencia de la Contaminación del Aire en Plantas y Animales” recomendaba enérgicamente la utilización de criptógamas epífitas como indicadores biológicos de contaminación (O. L. Gilbert 1969). Los europeos fueron de los primeros en seguir esta recomendación. En Europa, las briófitas han sido utilizadas para monitorear la contaminación atmosférica causada por las emisiones de las industrias. En 1981, J. Maschke citaba países a lo largo de todo el mundo industrializado donde las briófitas fueron utilizadas como especies indicadoras. Existe evidencia que respalda la controversia de que la ausencia de especies epífitas de musgos, líquenes y la mayoría de las hepáticas en zonas urbanas, está fuertemente correlacionada con la polución del aire (J. J. Barkman 1958; E. Skye 1965; Gilbert 1967, 1968; H. Lundstrom 1968; D. L. Hawksworth & F. Rose 1970; F. Arnold 1982). Por ejemplo Barkman (1969) encontró que el 15% de la flora briofítica de Holanda ya había desaparecido en el tiempo de su publicación.

Otras investigaciones realizadas en ciudades de Europa o América del Norte demostraban que los contaminantes del aire afectan el crecimiento y reproducción de briófitas y líquenes (D. N. Rao & F. LeBlanc 1967; Lundstrom 1968; LeBlanc 1969; Hawksworth & Rose 1970; U. Kirschbaum et al. 1971; LeBlanc et al. 1971; S. Winkler 1976; Rao et al. 1977; W. E. Winner & J. D. Bewley 1978;

Winner et al. 1978; P. Ferguson & J. A. Lee 1978; Rao 1982).

La falta de una cutícula significativa o epidermis, y las hojas de solo una capa de células, hacen a musgos y hepáticas particularmente buenos bioindicadores o biomonitores. Debido a esta arquitectura, y a la falta de un verdadero sistema de conducción bien desarrollado, la mayoría de las briófitas absorben tanto nutrientes como contaminantes directamente desde la atmósfera. Es por esto que los efectos no son aminorados por el suelo como es el caso en las plantas vasculares. Además, el hábito perenne de la mayoría de las briófitas permite la acumulación en períodos en que la mayoría de las plantas vasculares se encuentran inactivas.

Las briófitas absorben rápidamente metales pesados sin la regulación característica de su absorción de nutrientes. La capacidad de muchas briófitas de secuestrar metales pesados sin sufrir daños las convierten en buenos biomonitores. Por ejemplo, *Marchantia polymorpha* acumula plomo (D. Briggs 1972) y *Calymperes delessertii* es un buen biomonitor para plomo en suspensión en el aire y en menor medida para cobre (K. S. Low et al. 1985). *Pottia truncata*, *Polytrichum ohioense*, *Dicranella heteromalla* y *Bryum argenteum* son muy tolerantes a altos niveles tisulares de cadmio (610 ppm), cobre (2700 ppm) y zinc (55000 ppm) (E. H. Nash 1972). *Hypnum cupressiforme* acumula tres veces más zinc, cobre y cadmio que lo registrado para líquenes o plantas vasculares (W. Thomas 1983). Una ventaja de utilizar briófitas sobre otros métodos analíticos es que éstas son fácilmente guardadas en un herbario y analizadas posteriormente; de hecho, registros históricos pueden ser obtenidos utilizando especímenes antiguos de herbario, debido al hábito de la mayoría de los curadores de herbario de guardar las briófitas en sobres que las protegen de contaminación adicional que podría estar presente en el propio herbario.

Tabla 1. Ganancia de peso por absorción de agua, medida como la razón entre peso húmedo y seco de algunas briófitas seleccionadas (Horikawa 1952).

<i>Atrichum</i>	6.9
<i>Barbula</i>	8.3
<i>Bazzania pompeana</i>	4.0
<i>Haplomitrium mnioides</i>	12.0
<i>Hylocomium cavifolium</i>	9.8
<i>Plagiomnium maximovieczii</i>	6.7
<i>Rhodobryum</i>	10.0
<i>Sphagnum</i>	12.4
<i>Trachycystis microphylla</i>	3.2

Diferencias en la incorporación de metales por musgos entre distintos sitios dependerá de la disponibilidad de metales presentes y refleja diferencias en afinidades de adsorción: adsorción de cobre y plomo es mayor que la de níquel, que es a su vez mayor que la de cobalto, mientras que el zinc y el manganeso experimentan la menor adsorción entre éstos (A. Rühling & G. Tyler 1970). Altas concentraciones de cobre de hecho pueden bloquear la adsorción de manganeso y hierro, a tal punto que los musgos pueden sufrir deficiencia de estos nutrientes.

Las briófitas poseen una variedad de medios por los cuales pueden secuestrar sustancias que son tóxicas para muchas plantas superiores y animales (K. Satake et al. 1989b). Estos pueden ser ligados a las paredes celulares a través de intercambio catiónico, ligados dentro de las células en vesículas que protegen al metabolismo celular de una eventual interferencia, localizadas en partículas con alta densidad de electrones en células o paredes celulares, o combinadas con otros elementos como compuestos insolubles, transformándolos en compuestos inocuos.

Para algunos musgos terrestres, las concentraciones varían notablemente con las estaciones. B. Markert & V. Weckert (1989) encontraron que las concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en *Polytrichum formosum* disminuían en primavera debido a la mayor productividad y el efecto disolutivo del crecimiento mismo. Las más altas concentraciones de cobre ocurrieron en invierno. Ellos recomendaban septiembre¹ como la mejor época para las mediciones.

En Alemania, Canadá y otros países, algunas briófitas han sido trasplantadas desde áreas libres de contaminación hacia áreas sospechosas de haber sido dañadas por contaminación, y observadas (F. LeBlanc & D. N. Rao 1973). Este método es especialmente apropiado para briófitas epífitas (L. Rasmussen 1977) y acuáticas (J. Martínez-A. et al. 1993). H. C. Greven (1992) defendía el retener los tejados de paja cubiertos de musgos en vez de limpios para similares propósitos de monitoreo.

Otros contaminantes atmosféricos

Aunque la mayor parte del trabajo en briófitas se ha concentrado en metales pesados, dióxido de azufre y lluvia ácida, las briófitas son también útiles para el monitoreo de otros tipos de contaminantes atmosféricos. Entre éstos se cuentan los fluoruros y el ozono. *Orthotrichum obtusifolium* es sensible al fluoruro de hidrógeno (F. LeBlanc et al. 1971, 1972), mientras que *Polytrichum commune*, *Polytrichum strictum* y *Racomitrium* son tolerantes a los gases fluorados (B. A. Roberts et al. 1979).

Pocos estudios sobre el ozono han incluido briófitas. Recientemente, sin embargo, Z. E. Gagnon & D. F. Karnosky (1992) han demostrado que las especies de *Sphagnum* son especialmente susceptibles al ozono, reduciendo su fotosíntesis, crecimiento, perdiendo color, y presentando síntomas de desecación, pero que hay algunas diferencias importantes en cuanto a la reacción de las distintas especies a este elemento. L. Potter et al. (1996) encontró que de cuatro especies de *Sphagnum* estudiadas, solo *S. recurvum* sufrió daño a 150 ppb, midiendo tanto la pérdida de permeabilidad de las membranas como la pérdida de la asimilación de CO₂. En otro estudio se observó que *Sphagnum angustifolium* igualmente sufría aumento de la permeabilidad de las membranas, mientras que *Sphagnum magellanicum* no presentó ni pérdida de permeabilidad de membranas, ni pérdida de pigmentos, a concentraciones mayores que 150 ppb (R. Niemi et al. 2002). J. A. Lee et al. (1998) concluyeron que las briófitas estando bien hidratadas no serían particularmente sensibles al ozono a concentraciones naturalmente encontradas en la atmósfera. Concentraciones elevadas de ozono no tuvieron efecto en la germinación de esporas de *Polytrichum commune* a concentraciones de 11, 50, 100, y 150 ppb (A. Bosley et al. 1998), pero estimularon el crecimiento de protonemas a 50 ppb, mientras que el área de gametofito se vió incrementada en un 189, 173 y 125% en los tratamientos a 50, 100 y 150 ppb respectivamente, comparando con los controles sujetos a concentraciones ambientales normales (R. L. Petersen et al. 1999).

¹ Equivale a marzo en el Hemisferio Sur (N. del T.)

Radiación UV-B

El musgo *Bryum argenteum* está siendo usado para monitorear el grosor de la capa de ozono sobre la Antártica (L. Hedenäs 1991). A medida que la capa de ozono disminuye, la creciente exposición a la radiación UV-B estimula la producción de flavonoides en esta especie. Pero, como con la exposición al ozono, las respuestas varían considerablemente entre las especies. En *Sphagnum magellanicum* no se observaron diferencias en las concentraciones de clorofila o carotenoides luego de la exposición a UV-B; sin embargo, la exposición aumentó su crecimiento en altura sin un correspondiente aumento de su densidad volumétrica, resultando sin un efecto en la biomasa total (P. S. Searles et al. 2002). Al contrario de *S. magellanicum*, *Syntrichia ruralis* var. *arenicola* experimentó una significativa reducción en la elongación tanto del tallo principal como de los laterales, pero no presentó un aumento en los compuestos absorbentes de radiación UV-B ante un aumento del UV-B equivalente al que ocurriría con una reducción del 15% de la capa de ozono (N. V. J. de Bakker et al., no publicado). Bajo las mismas condiciones de UV-B, *Sphagnum fuscum* experimentó un descenso del 20% en su crecimiento el primer año y un 31% el segundo año, pero a diferencia de las especies anteriores, aumentó el peso seco de sus tallos por unidad de longitud en un 21% y 17% respectivamente (C. Gehrke 1998). Curiosamente, su respiración durante la fase oscura de la fotosíntesis tuvo un descenso significativo del 31%.

S. J. Wilson et al. (1998) reportaron que, en presencia de una adecuada cantidad de agua, el crecimiento de *Hylocomium splendens* en Noruega fue notoriamente estimulado por una UV-B correspondiente al 15% en la reducción de la capa de ozono, aunque C. Gehrke (1999), también trabajando en Noruega, encontró que la elongación de los tallos de *H. splendens* era suprimida durante la segunda temporada de crecimiento. En este último estudio, la disminución en la elongación en *Polytrichum commune* no fue aparente sino hasta la tercera temporada de crecimiento. No obstante, un descenso en la producción de masa seca fue evidente durante cada uno de los tres años en *H. splendens*, mientras que la densidad de hojas a lo largo de los tallos de *P. commune* aumentó, atrofiando los tallos. *Polytrichum commune* también demostró una disminución en la concentración de los compuestos absorbentes de UV-B después del tercer año. T. M. Dale et al. (1999) sugirieron que la variación genética observada en *Hennediella heimii* en la Tierra de Victoria, Antártica, podría ser producto de mutaciones genéticas como resultado de los altos niveles de UV-B.

Indicadores de radiactividad

Debido a su capacidad de secuestrar minerales y permanecer indemnes, las briófitas son buenos indicadores de radiactividad acumulada (I. A. Poliakov et al. 1962; G. K. Svensson & K. Liden 1965; N. E. Whitehead & R. R. Brooks 1969; J. Y. Hébrard et al. 1972; D. H. S. Richardson et al. 1979; T. J. Summerling 1984). N. V. Kulikov et al. (1976) encontraron que la absorción de radioisótopos por musgos del suelo ocurre no tanto por absorción desde el sustrato sino por lluvia radiactiva. Debido a su actividad de intercambio catiónico, W. Fischer et al. (1968) sugirieron que *Sphagnum* podría usarse como purificador de aguas que contienen materiales radiactivos.

Bioindicadores acuáticos

Las briófitas son particularmente útiles como monitores en hábitats acuáticos. Su mayor ventaja es su habilidad de integrar polución a lo largo del tiempo y mantener un registro que no puede ser

obtenido a través de pruebas químicas del agua, dado que su contenido de contaminantes es más constante que aquel de los sedimentos. J. A. Erdman & P. J. Modreski (1984) encontraron que *Warnstorfia (Drepanocladus) fluitans* concentraba hasta 35000 $\mu\text{g g}^{-1}$ de cobre, comparado con los 1700 $\mu\text{g g}^{-1}$ del sedimento. Además, su muerte es lenta, como lo es la liberación de las sustancias acumuladas, permitiendo a las briófitas retener su carga tóxica largo tiempo después de su muerte (P. Pakarinen 1977). Son fáciles de recolectar y trasplantar, pueden ser cosechadas en cualquier época del año, y las muestras pueden ser almacenadas durante muchos años para posteriores análisis. Especies adecuadas incluyen *Fontinalis* spp., *Leptodictyum riparium*, *Platyhypnidium riparioides* y *Scapania undulata*. K. Satake et al. (1989a) han identificado a *S. undulata* sobreviviendo a un pH tan bajo como 3,9, además de ser un buen acumulador de zinc, plomo y cadmio (H. T. Shacklette 1965a, 1965b; R. F. Prigg & G. B. J. Dussart 1980) en agua pobres en nutrientes.

La acumulación difiere en las distintas partes de las plantas. M. Soma et al. (1988) encontraron que el aluminio, manganeso, cobre, zinc y plomo se encontraban en mayores concentraciones 1–3 cm bajo los ápices de crecimiento que en las puntas de *Pohlia lindwigii*, pero el sodio, fósforo, calcio y hierro diferían muy poco entre el ápice y las partes bajas. La mayor concentración de ciertos minerales en las partes viejas podría deberse a capas de óxidos de hierro y manganeso en hojas y tallos, aumentando así la adsorción de otros metales (G. D. Robinson 1981), a un mayor tiempo de exposición de las hojas más viejas, o a una mayor permeabilidad de las mismas, proveyendo acceso a sitios de unión en las paredes celulares interiores. Otras diferencias pueden estar relacionadas a la habilidad de transportar metales desde una parte de la planta hacia otra, particularmente en *Sphagnum* y en otros musgos de crecimiento erecto.

Una de las más grandes ventajas que ofrecen los musgos es su capacidad de ayudar en la limpieza de ciertos contaminantes. A bajas concentraciones de fenol (50 mg dm^{-3}), *Fontinalis antipyretica* puede descomponer del 32 al 43% del fenol, y *Platyhypnidium riparioides* entre 20–27% (A. Samecka-Cymerman 1983). La capacidad de descomponer fenol disminuye a medida que las concentraciones aumentan, y a 50 mg dm^{-3} , el crecimiento apical del musgo disminuye. J.-P. Frahm (1976) encontró que *Fontinalis antipyretica* es intolerante a cuatro semanas de exposición a 0,02 mg l^{-1} de fenol, mientras que *Leskea polycarpa*, *Leptodictyum riparium* y *Fissidens crassipes* son tolerantes a 0,08 mg l^{-1} durante el mismo período de tiempo, sugiriendo que estos pueden ser incluso mejores “organismos limpiadores”. La briófita acuática *Cinclidotus danubicus* es un buen acumulador de bifenilos policlorados (PCBs) (C. Mouvet et al. 1985).

Las briófitas no son siempre sensibles a contaminantes a niveles que pueden ser dañinos para otros organismos. J. M. Glime & R. E. Keen (1984) encontraron que *Fontinalis* puede sobrevivir a 35 μg de cadmio por litro de agua, mientras que las pulgas de agua² y los peces de la familia de los salmonídeos mueren a 1,2 $\mu\text{g l}^{-1}$. Asimismo, estos musgos acuáticos pueden ser utilizados para monitorear tanto cadmio como PCB's debido a su gran capacidad para acumular estos compuestos (C. Mouvet et al. 1986).

En algunos casos, la contaminación de hecho aumenta la cobertura de briófitas. N. Takaki (1976, 1977) encontró que la flora de briófitas de un río comenzó a aparecer en una estación donde la calidad del agua del río estaba siendo deteriorada debido a la contaminación proveniente de ciudades japonesas, industrias, o minería. En un arroyo de Alaska, poblaciones de *Hygrohypnum*

² la autora se refiere al género *Daphnia* (N. del T.)

ochraceum y *H. alpestre* aumentaron extensivamente en un tramo del río fertilizado con fósforo (W. B. Bowden et al. 1994).

Tratamiento de residuos

Las briófitas muestran un promisorio futuro como limpiadores de residuos tóxicos. Los musgos de turberas (*Sphagnum*) son incluso más adecuados que otros tipos de musgos (J. L. Brown & R. S. Farnham 1976; J. A. Taylor & R. T. Smith 1980). Algunos proyectos han desviado aguas servidas hacia turberas, y otros las han usado para limpiar efluentes de industrias que contienen descargas de ácidos y metales pesados tóxicos, detergentes y tinturas (V. J. P. Poots et al. 1976). B. Coupal & J. M. Lalancette (1976) sugirieron su uso no solo para remover metales no deseados, sino para recuperar metales para ser reutilizados mediante la cosecha del musgo que ha tenido contacto con los residuos conteniendo metales, luego secando el musgo mediante presión mecánica, y finalmente quemando el musgo para recuperar el metal. Ellos argumentan que este proceso es económicamente viable en países en vías de desarrollo.

Incluso microorganismos han sido limpiados por *Sphagnum* (A. Rozmej & A. Kwiatkowski 1976), quizás mediante las propiedades antibióticas de la turba. C. K. Lee & K. S. Low (1987) también encontraron que el musgo *Calymperes delessertii* es un eficiente adsorbente de tinturas, con la tasa siendo determinada por una combinación de adsorción superficial y difusión por el interior del musgo. La turba es especialmente eficaz en la remoción de nitrógeno (96%) y fósforo (97%) aplicado a partir de aguas eutrofizadas de ríos o aguas servidas (H. A. Crum 1988).

Incluso grandes derrames de petróleo han sido contenidos con un cerco flotante de turba (F. D'Hennezel & B. Coupal 1972); la turba ha sido asimismo utilizada para limpiar residuos de agua que contienen aceites (D. Asplund et al. 1976). En Canadá y Finlandia, investigadores están explorando la posibilidad de utilizar turba como un agente filtrador para residuos aceitosos en fábricas de aceites vegetales (M. Ruel et al. 1977). Una ventaja de utilizar musgos para la limpieza de aceites, especialmente en ambientes terrestres, es que al menos algunos musgos son capaces de vivir en presencia de aceite. J. Belsky (1982) encontró que en una pradera subalpina, *Racomitrium sudeticum* sobrevivía en un lugar donde había ocurrido un derrame de petróleo diésel y que en última instancia hacía al lugar reverdecer.

El altamente tóxico pentaclorofenol (PCP) es fácilmente absorbido por la turba de *Sphagnum*. Experimentos muestran que a concentraciones de 1 mg l⁻¹, el 91% del PCP es removido en cinco horas a un pH óptimo de 3–3,5. La adsorción es esencialmente irreversible, haciendo a la turba una efectiva y barata forma de remover tales residuos tóxicos (T. Viraraghavan & S. Tanjore 1994).

En Polonia, la turba ha demostrado tener un efecto favorable en la reutilización agrícola de tierras contaminadas con cenizas residuales de la combustión del carbón, resultando en un elevado contenido de microorganismos y alta disponibilidad de nutrientes, produciendo una alta cosecha de los cultivos (E. Biernacka 1976). *Sphagnum* también está siendo vendido para recuperar tierras que han sufrido minería a cielo abierto en franjas.

La turba ha sido considerada un material adecuado para filtrar agua para ser nuevamente utilizada durante viajes espaciales (H. A. Crum, com. pers.). Podría ser cultivada de modo que la ya utilizada podría ser reemplazada por nuevo crecimiento. Aunque es capaz de crecer solo unos pocos

centímetros por mes, sus tremendas propiedades absorbentes podrían compensar la limitación que significa su lento crecimiento.

Utilización en horticultura

La horticultura goza de una larga tradición de utilización de briófitas (F. Perin 1962; C. B. Arzeni 1963; L. Adderley 1964) como enriquecedores del suelo, cubresuelos, plantas enanas, cultivos en invernaderos, plantas ornamentales en macetas, y para camas de semillas (H. Sjors 1980). *Sphagnum* es utilizado para hacer guías de apoyo para sostener plantas trepadoras (ver Mossers Lee Plant, suministros para horticultura, en www.mosserlee.com) y coronas de flores rellenas de musgos, populares en el sureste de los Estados Unidos. Otros usos en horticultura decorativa incluyen la confección de canastos y cubiertas de macetas para arreglos florales (J. H. Thomason 1994), y una compañía ofrece un pedestal de corteza de abedul coronada por una esfera de musgos.

Los viveristas comúnmente utilizan *Sphagnum* húmedo para enviar plantas vivas. Un uso menos conocido de *Sphagnum* en horticultura es el de quemarlo para producir una cortina de humo para proteger las plantas de las heladas (J. W. Thieret 1954).

Acondicionamiento de suelos

Los musgos son frecuentemente utilizados para acondicionar la tierra. Los musgos de consistencia dura aumentan la capacidad de retención de agua del suelo, mientras que los de consistencia delicada proveen espacios de aire (I. Ishikawa 1974). Los musgos mejoran la disponibilidad de nutrientes de los suelos al retenerlos, especialmente aquellos que vienen en el polvo o en las aguas lluvia, y liberan los nutrientes lentamente por un período de tiempo mucho más largo que los nutrientes que se encuentran normalmente cerca de la superficie del suelo (J. M. Stewart 1977; J. O. Rieley et al. 1979). V. R. Timmer (1970) argumentaba que los musgos acumulan potasio, magnesio y calcio de la lluvia, pero que no compiten por el fósforo presente en el suelo. Estos nutrientes atrapados pueden ser entonces liberados lentamente desde los musgos hacia el suelo. Cuando los musgos se secan, sus membranas celulares sufren daños, entonces cuando el musgo se rehidrata, pierde la permeabilidad de sus membranas (J. D. Bewley 1974, 1979; R. K. Gupta 1977). Generalmente les toma alrededor de un día reparar este daño, y durante ese tiempo, el musgo puede perder algunos de sus contenidos más solubles (como el potasio), poniendo a disposición de las raíces de las plantas algunos de estos nutrientes durante el comienzo de una lluvia (W. L. Peterson & J. M. Mayo 1975; T. J. K. Dilks & M. C. F. Proctor 1976; Proctor 1981).

N. G. Miller (1981) encontró que las briófitas aumentan la capacidad tamponante del suelo, particularmente contra los cambios normalmente causados por la adición de fertilizantes. La lenta descomposición de muchas especies de briófitas las convierte en un excelente mantillo de materia orgánica de larga duración. Cuando *Sphagnum* es esparcido por el suelo y mezclado con la tierra, retiene la humedad y previene el crecimiento de malezas; igualmente dificulta la aparición de hongos descomponedores (H. Miller & N. G. Miller 1979). Los musgos de turbera (*Sphagnum*) al ser mezclados con residuos del procesamiento de pescados se convierten en un buen abono orgánico, incluso mejores conservando el nitrógeno que el aserrín y las virutas de madera, pero es a la vez más caro (P. H. Liao et al. 1995).

Utilización en cultivos

Los musgos son especialmente buenos para ciertos propósitos como el cultivo de helechos (por ej. el musgo *Octoblepharum albidum*) (C. B. Arzeni 1963) y de orquídeas (por ej. *Camptothecium arenarium*, *Hypnum imponens*, *Leucobryum* spp., *Rhytidiopsis robusta*, *Thuidium delicatulum*) (F. Perin 1962; L. Adderley 1964). En el área de Manila, *Leucobryum* es sustituido por *Sphagnum*, el cual induce la aparición de brotes de raíces en cortes de orquídeas (B. C. Tan 2003). La compañía Sungrow, Inc. ha mantenido un contrato multimillonario por años con la corporación Campbell (sopas) para producir mejores champiñones utilizando una mezcla de suelo con *Sphagnum* (N. G. Miller 1981; D. H. Vitt, com. pers.).

Sphagnum parece ser esencial en la producción de acodos aéreos. El musgo es amarrado o envuelto en plástico alrededor de los tallos de una planta para mantener la humedad, estimulando el desarrollo de raíces adventicias. G. B. Pant (1989) reporta el uso de este tipo de relleno para injertar árboles frutales. Además argumenta que plantas de *Begonia* y *Fuchsia* brotan y florecen más copiosamente si sus macetas tienen una capa de musgo para separar la tierra de arriba rica en humus, de la del fondo del macetero. En Japón, fragmentos de *Hypnum plumaeforme*, *Leucobryum bowringii*, *L. neilgherrense*, y ocasionalmente *L. scabrum* son mezclados con arena y tierra para cultivar arbustos de *Rhododendron* (H. Ando 1957).

Semilleros

Las briófitas, como semilleros, presentan tanto ventajas como problemas, a menudo promoviendo la germinación de las semillas pero inhibiendo la supervivencia de las plántulas. En Nueva Escocia, la pionera picea blanca (*Picea glauca*) germina de manera más prolífica en carpetas de *Polytrichum* (G. E. Nichols 1918a). Por otro lado, una mata de *Polytrichum* y *Cladonia* es muy densa para la penetración de las semillas del álamo (*Populus*); la germinación no se logra debido a que las matas de musgo y líquen absorben agua muy rápido para permitir la humectación necesaria de las semillas, y los frecuentes ciclos de desecación-humectación de las capas superficiales de suelo hacen que las pocas plántulas que lograron germinar se desprendan del sustrato (F. C. Gates 1930). De hecho, los musgos han sido considerados una “peste” cuando crecen en contenedores de semilleros de coníferas, donde asfixian a las pequeñas plántulas, compiten por nutrientes, e impiden que la tierra se impregne de agua (W. A. Haglund et al. 1981). Uno de los problemas parece ser que en suelos con bajo contenido de agua, la turba de *Sphagnum* tiene una alta afinidad por el agua, entregando una pobre conductancia hidráulica a las semillas (P. Y. Bernier et al. 1995); y los potenciales hídricos de los brotes son más bajos que los obtenidos en arena o arcilla arenosa (Bernier 1992). Para árboles que desarrollan raíces lentamente, como *Picea mariana*, las raíces son muy cortas para penetrar la tierra en busca de agua más allá de la capa de musgo superficial (S. C. Grossnickle & T. J. Blake 1986). Por otro lado, en suelos de praderas, las costras de criptógamas aumentan el establecimiento de las plántulas (L. L. St. Clair et al. 1984).

Los extractos de *Sphagnum* inducen la germinación de semillas del “pino de Jack” (*Pinus banksiana*) (R. L. Cox & A. H. Westing 1963) y extractos líquidos de *Polytrichum commune* y *Sphagnum* spp. estimulan el crecimiento de plántulas de *Larix* (alerce tamarack). Extractos de los mismos dos musgos, por otra parte, inhiben el crecimiento de plántulas de algunas especies de *Pinus* y *Picea*. Este control de la germinación puede ser en parte explicado por la producción de ácido indolacético (auxinas) por parte del musgo (R. L. Cox & A. H. Westing 1963), pero en

condiciones naturales es poco probable que esta hormona interna podría afectar a otras plantas. No obstante, cuando extractos de musgos del suelo son suministrados, diferentes efectos pueden ser observados en varias especies de plantas.

Los musgos más grandes, formando profundas matas, reducen el éxito de las plántulas. Por ejemplo, *Pleurozium schreberi* aumenta la germinación de semillas de coníferas, pero las plántulas apenas sobreviven al segundo año (R. T. Brown 1967). Esto parece ser el resultado de la escasa altura de las plántulas, lo que hace imposible que puedan competir con musgos más altos por luz, o porque las semillas germinan dentro de la mata muy lejos del suelo y son incapaces de obtener suficiente agua y nutrientes a través de sus raíces. Contrariamente, P. J. Keizer et al. (1985) encontraron que mientras mayor es la cubierta de briófitas, menor es la aparición de hierbas en una pradera calcárea, pero mayor la supervivencia de las mismas. B. F. van Tooren (1990) sugiere que la baja proporción del espectro de luz rojo/rojo lejano bajo la cubierta de briófitas reduce la aparición de plántulas, mientras que H. J. During (1990) sugiere que la supervivencia puede ser aumentada por la liberación de nutrientes por parte de los musgos durante el verano.

Pero existen historias menos ambiguas acerca del éxito de los musgos como semilleros. En los bosques de hayas “Killarney” en Irlanda, *Rhododendron ponticum* está invadiendo terrenos mayormente debido a un incremento en la cobertura de briófitas como resultado del exceso de pastoreo (J. R. Cross 1981). Los musgos proveen la humedad necesaria para la germinación, y las plántulas no son comidas debido al poco atractivo sabor de los musgos y a la protección que encuentran éstas entre los musgos. Una protección similar ha sido observada en praderas calcáreas en Holanda (B. F. van Tooren 1988). M. Equihua & M. B. Usher (1993) encontraron que *Calluna vulgaris* crece mejor y produce más flores cuando se desarrolla sobre camas de musgos. Sin embargo, incluso en este caso, parece existir un importante retraso en la germinación. Los musgos se han transformado en un problema tan grave para la germinación en algunas áreas, que P. L. Bogdanov (1963) sugiere agregar cal para combatirlos, un método común para eliminar los musgos del césped. En todo caso, no se ha podido encontrar un efecto inhibitorio en la germinación aplicando extractos de musgos sobre semillas de *Calluna vulgaris*. A. Matsuo et al. (1981b, 1981c; Matsuo & K. Nadaya 1987) han encontrado, en hepáticas, varios sesquiterpenos que se comportan como inhibidores del crecimiento.

Jardines de musgos

En Japón, los musgos son utilizados para crear una sensación de serenidad en los jardines. En vez de los típicos jardines occidentales compuestos por una mezcla de pasto y flores, los jardines japoneses presentan una sencilla mezcla de tonos verdes. Los jardines de musgos suelen asociarse a los templos budistas, siendo el más famoso de ellos el templo Kokedera en Kyoto, que traducido literalmente al castellano significa “templo de musgo”. En el templo Sanboin, también en Kyoto, tres parches de musgos circulares y dos con forma de guitarra simbolizan el banquete de la flor del cerezo, realizado en 1598 por Lord Hideyoshi Toyotomi (J. M. Glime & D. Saxena 1991). Algunas especies de *Pogonatum* y *Polytrichum* se encuentran entre las más utilizadas en los jardines. Especies comunes para colocar en sitios sombríos son *Dicranum scoparium*, *Leucobryum bowringii*, *L. neilgherrense*, *Rhizogonium dozyanum* y *Trachycystis microphylla*, que crecen en montículos o cojines, creando un paisaje suave y ondulado que asemeja lomas en miniatura. Japón no es el único lugar donde los jardines de musgos pueden desarrollarse con éxito. En el jardín

de líquenes y musgos en Chatsworth, Gran Bretaña, 33 especies de musgos y cuatro de hepáticas crean una atmósfera de paz. Entre los más hermosos de éstos destacan *Dicranella heteromalla*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Neckera crispa*, *Plagiomnium undulatum*, *Polytrichum commune*, *P. piliferum*, *Rhizomnium punctatum* y *Thamnobryum alopecurum*. En el jardín de la casa del poeta laureado inglés W. Wordsworth hay cojines de *Polytrichum commune* (H. Ando 1972).

Algunas revistas de horticultura están comenzando a promover el uso de musgos en los jardines. H. Massie (1996) considera este cambio hacia la jardinería con musgos como una muestra de la imaginación de los jardineros en busca de nuevos motivos para componer paisajes. Incluso jardineros de plantas silvestres han incluido musgos en su repertorio: R. B. Case (1994) argumenta a favor de los jardines pantanosos de *Sphagnum* en el área de Los Grandes Lagos, donde mantener un jardín de musgos con especies de los bosques requiere demasiados cuidados. Sin embargo, en Nueva Jersey, un antropólogo ha sido capaz de mantener un acre completo de jardines de musgo saludable y hermoso (K. Whiteside 1987).

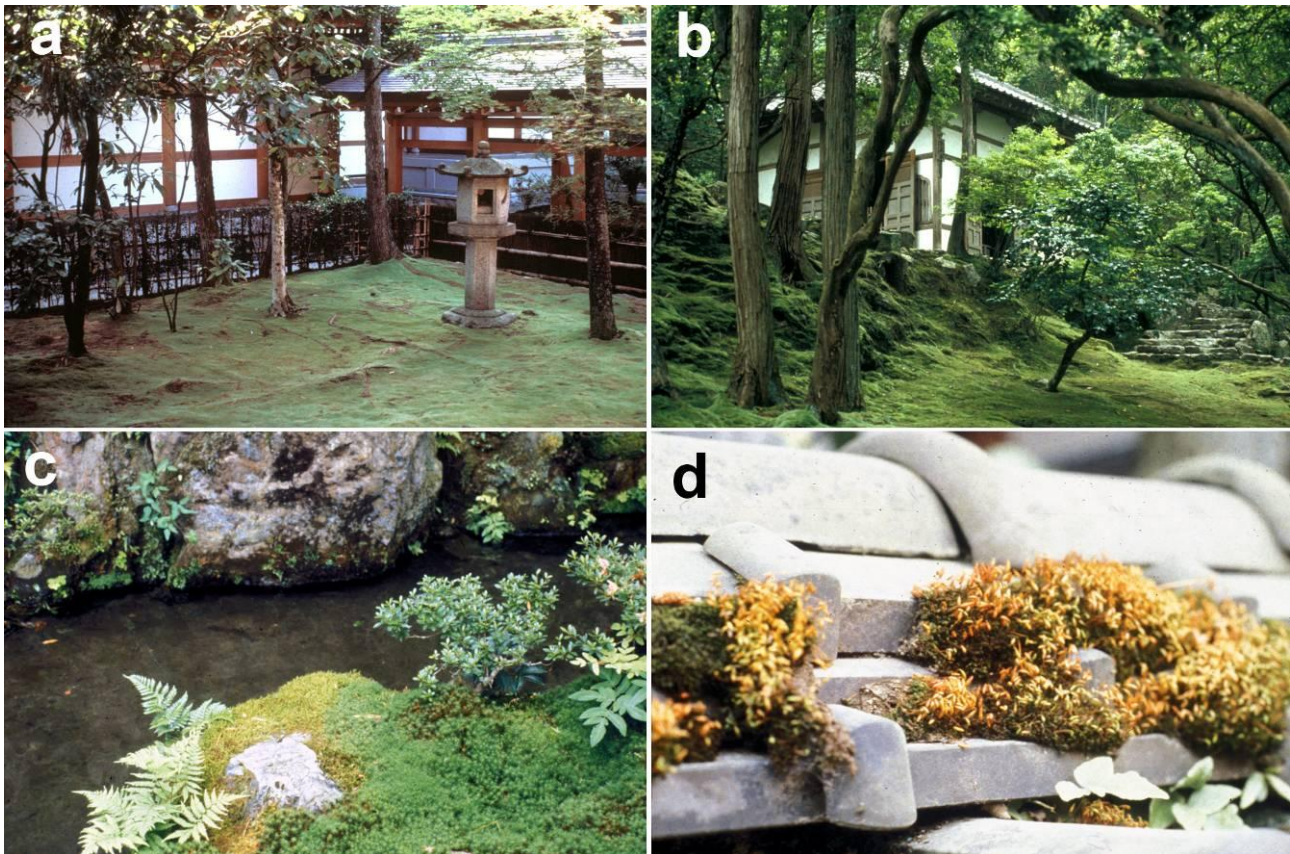


Figura 3. Los jardines de musgos en Japón están diseñados para dar descanso. **a.** Los musgos otorgan un aire de paz. **b.** Los musgos predominan en Kokedera (templo de musgos) en Kyoto. **c.** Los musgos le dan a los jardines en miniatura una ilusión de distancia; arroyos y helechos proveen la escala. **d.** Los musgos cubren las tejas sobre la pared de un jardín de musgos y han sido muy recomendados en Europa y los EE.UU. para hacer “techos verdes”. Fotos de Janice Glime.

La jardinería con musgos no es nueva en los Estados Unidos. A. J. Grout (1931), consideraba los jardines de musgos como un esfuerzo de la gente acomodada para aumentar el encanto de sus propiedades. Sin embargo, a pesar de las numerosas sugerencias aparecidas en las revistas de horticultura modernas para utilizar musgos en horticultura, un jardinero interesado se vio forzado a escribir al editor de una de ellas preguntando dónde podría conseguir suministros para cultivar musgos vivos (T. Atkinson 1990). La respuesta publicada fue de parte de Carolina Biological Supply: solo ellos los vendían! Aparentemente la proliferación de jardines de musgos no es una prioridad para los viveristas en los Estados Unidos.

Técnicas de plantado

Mucha gente ha intentado y fallado al trasplantar musgos. El problema aparentemente radica en la tendencia de las matas de musgos a encogerse y separarse del suelo o el sustrato a medida que éste se seca. J. H. Bland (1971) sugirió dar vuelta las matas de musgo lavando el sustrato de las bases para evitar el encogimiento que desencadena el secado. Otro modo de evitar este problema es inmovilizando los musgos en el suelo utilizando mondadientes o ramas pequeñas. Muchos jardineros aplican musgo para soltar la tierra, para luego pisotear los musgos una vez que se incorporaron.

Muchas técnicas de plantado aprovechan la capacidad de los musgos para crecer a partir de fragmentos vegetativos. En experimentos con *Atrichum undulatum* y *Bryum argenteum*, muchos fragmentos desarrollan brotes, mientras que generalmente no se consiguen tallos erectos a partir de protonemas generados a partir de esporas (C. J. Miles & R. E. Longton 1990). C. Gillis (1991) explicaba como preparar, plantar y mantener un jardín de musgos. Su método consistía en mezclar un puñado de musgos, una lata de cerveza y media cucharadita de azúcar en una licuadora, para luego esparcir la mezcla en el suelo, con un espesor de 0,5 cm; eso producía crecimiento de musgos a las cinco semanas. Otros han utilizado exitosamente suero de leche, claras de huevo, agua de arroz, agua de zanahoria, agua de patata, e incluso solamente agua como medio en vez de cerveza (V. L. Ellis 1992). Tales mezclas aseguran que los fragmentos de musgos se adhieran a las rocas.

En su "Fact sheet for moss gardening", la Sociedad de Horticultura Americana recomendaba el moler musgo seco esparciéndolo como polvo, advirtiendo al jardinero que nunca comprara musgo a un cultivador a no ser que se tenga la seguridad que el musgo ha sido propagado por el vendedor y no tomado de la naturaleza. Ellos recomendaban mantener el pH por debajo de 5,5 aplicando sulfuro, suero de leche, o sulfato de aluminio.

Brotes exitosos se pueden obtener de fragmentos colocados entre dos capas húmedas de tela de algodón (J. K. Whitner 1992), aunque las esporas pueden ser usadas también (J. McDowell 1968). Fragmentos de musgo parcialmente seco deben ser esparcidos sobre una tela de algodón colocada en un lugar plano con una mezcla de arena-*Sphagnum* o aserrín. Estos se cubren con una segunda tela de algodón y se mantienen húmedos nebulizando agua. Cuando las plantas están bien establecidas (al cabo de unos 4,5 meses), es fácil trasplantarlas levantando la mezcla de suelo/tela y cortándola con la forma deseada. Algunos jardineros han logrado hacer crecer musgos exclusivos de rocas utilizando este mismo método, colocando en última instancia la tela sobre rocas. Los musgos crecen a través de la tela, que eventualmente termina pudriéndose. *Brachythecium salebrosum* y *Plagiomnium cuspidatum* son relativamente fáciles de cultivar de este modo (H. A. Crum 1973).

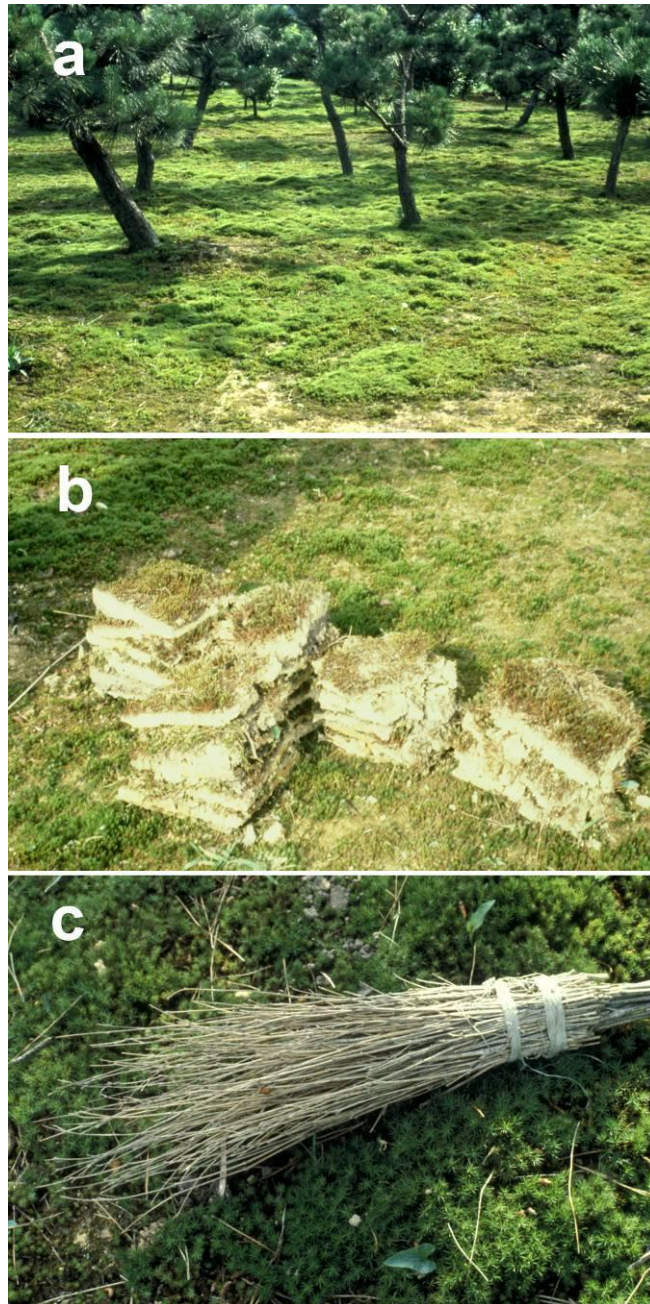


Figura 4. Las plantaciones proveen de musgos a jardines particulares y públicos cerca de Nagoya, Japón. **a.** *Pogonatum*, *Polytrichum* y *Atrichum* crecen sombreados en una plantación de musgos. **b.** *Polytrichum* apilado y listo para el transplante. **c.** Una escoba sencilla es utilizada para limpiar los jardines de musgos, especialmente para remover hojas de árboles deciduos. Fotos de Janice Glime.

En un campo de musgos cerca de Nagoya, Japón, los jardineros secan musgos de las Polytrichaceae (*Atrichum*, *Pogonatum*, *Polytrichum*), que luego fragmentan frotándolos entre sus manos (observaciones personales de Janice Glime, con traducción de N. Takaki). Los trozos resultantes son esparcidos en el suelo en los llanos al voleo, como uno sembraría las semillas de pasto. Los musgos que crecen en estos llanos son eventualmente trasplantados a un jardín exterior sombreado por pinos

y otros árboles de follaje siempreverde. Cuando un cliente quiere comprar musgos, la tierra arcillosa de las parcelas de musgo es cortada en cuadrados de alrededor de 20 cm de lado, levantados, y amontonados en ladrillos. El cliente entonces planta el cuadrado en el jardín con un patrón de tablero de ajedrez, pisoteándolos para desarmar los bloques y las plantas secas, comenzando un régimen de riego diario. La larga estación lluviosa en el Japón hace relativamente fácil el establecimiento de un jardín de musgos, pero en la mayoría del resto de los lugares del mundo se requieren de mayores cuidados para mantener la humedad suficiente. Muchos lugares de Gran Bretaña y el noroeste de los Estados Unidos y Canadá, presentan también un clima favorable.

La mayoría de los musgos requieren al menos una sombra suave, que debe ser entregada por árboles que no cubran los musgos con su hojarasca. En Japón, existe un dicho: sólo los hombres viejos y los niños pequeños pueden cuidar un jardín de musgos. Esto es porque en el jardín se requiere retirar la hojarasca, pero no debe parecer tan cuidado que parezca poco natural. Una escoba suave hecha de pastos es mejor para barrer la hojarasca. M. Mizutani (1975, 1976) y T. Fukushima (1979a, 1979b, 1980) aconsejaban el preservar las características del hábitat original, retirar malezas constantemente, un riego moderado, cuidado continuo en retirar las hojas caídas y las fecas de animales, y la eliminación de animales dañinos como topos, babosas, grillos y hormigas. Z. Iwatsuki & T. Kodama (1961) recomiendan no utilizar nunca fertilizantes en musgos. De hecho, J. Stubbs (1973) recomendaba el uso de fertilizantes hechos a partir de sulfato de hierro como un método rápido para matar musgos. Herbicidas como el Paraquat, Simazina (T. E. T. Bond 1976), 2, 4-D, y Atrazina (D. H. Wagner, com. pers.) permiten el crecimiento del musgo, pero eliminan especies de traqueófitas invasivas (Bond, op. cit.).

Plantas enanas

Los musgos en bonsai y bonkei ayudan a estabilizar el suelo y retienen humedad, entregando un sistema de advertencia cuando las delicadas plantas enanizadas bonsai necesitan agua. Desafortunadamente, una mata húmeda y densa de musgos inhibe el desarrollo de las raíces y puede resultar en repentinas proliferaciones de hongos; los expertos en bonsai aconsejan retirar el musgo en cada otoño (J. H. Bland 1971). Especies útiles incluyen *Atrichum undulatum*, *Barbula unguiculata*, *Bryum argenteum*, *Funaria hygrometrica*, *Leucobryum*, *Physcomitrium* y *Weissia controversa* (H. Inoue 1980).

En el noroeste de Norteamérica, *Leptobryum pyriforme*, bajo el nombre de “musgo Kyoto”, se vende para las bandejas de bonsai (J. Christy, com. pers.). En México, los musgos, especialmente *Campylopus*, son utilizados para hacer falsos bonsai, o jardines en platos. Otros utilizan *Dendropogonella rufescens*, *Hypnum* y *Thuidium* (C. Delgadillo, com. pers.).

En Japón, los musgos son utilizados para hacer paisajes en miniatura en bandejas (bonkei, bankei, saikei). Los musgos proveen de una apropiada textura y color mientras resisten la sequía (T. Kawamoto 1980). La variación en el paisaje de bandeja servía como un delicioso cambio diario para una persona hospitalizada en los Estados Unidos (W. Gerritson 1928). «Cada día los musgos han cambiado de apariencia; por eso cada día entrega una nueva dicha. Las enfermeras entran de tanto en tanto para mirar y admirar. Otros pacientes comparten su frescura y belleza. Los visitantes también fueron invitados a mirar el encanto de una “fuente de musgos”». Gerritson había arreglado dieciséis especies de musgos, incluyendo varias etapas en la madurez de las cápsulas, para asegurar el cambio constante. Musgos grandes como *Atrichum*, *Climacium*, *Dicranum*, *Polytrichum* y



Figura 5. Los musgos son comúnmente usados en jardines particulares de Japón. **a.** Musgos, rocas, lámpara de piedra y gravilla crean el efecto de distancia en este jardín de musgos particular. **b.** Los musgos bordean este sendero en un jardín de musgos particular. **c.** Un musgo fue cultivado en esta maceta. Fotos de Janice Glime.

Rhodobryum simulan bosques. Pastizales o montañas pueden ser imitados por *Bryum argenteum*, *Hypnum plumaeforme*, y *Leucobryum*. Musgos con hojas de puntas blancas como *Racomitrium canescens* parecen como si estuvieran nevados.

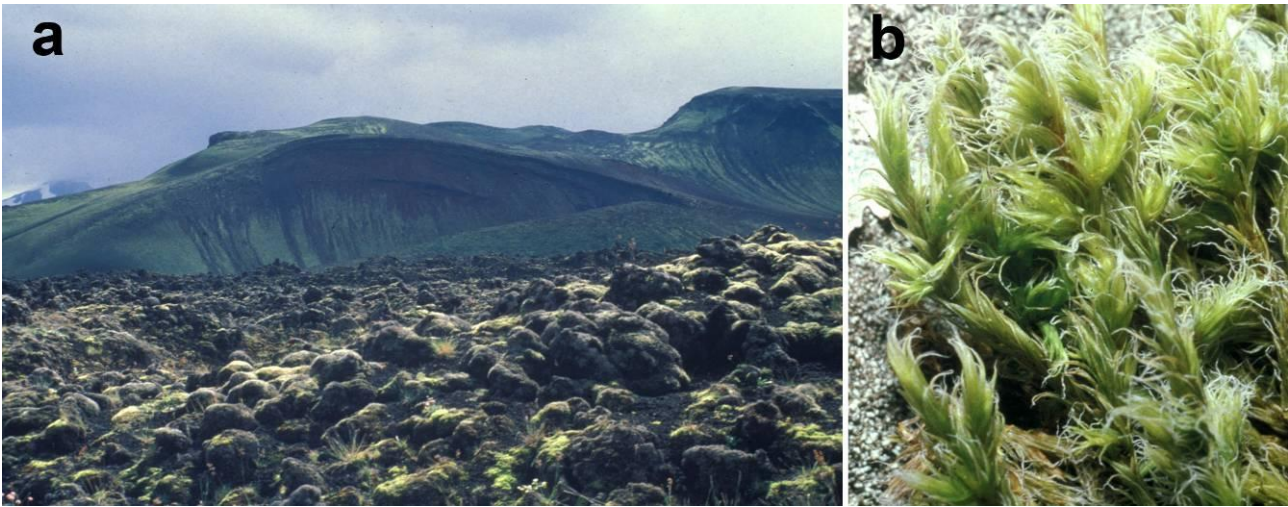


Figura 6. *Racomitrium canescens* tiene un aspecto glaseado que es atractivo para crear paisajes en miniatura. **a.** En Islandia forma grandes montículos. **b.** Sus ápices foliares blancos son usados para dar el efecto de hielo o nieve en las cimas de las montañas en jardines de musgos o en “bonkei”. Fotos de Janice Glime.

Pesticidas

Cuando las plantas traqueófitas son guardadas en un herbario, las tabletas de naftalina pueden proteger contra la proliferación de escarabajos. Sin embargo, tal protección no es necesaria para las briófitas ya que son aparentemente no vulnerables. Muchos autores han sugerido que las briófitas podrían contener pesticidas naturales (R. B. Yepsen 1984). De hecho, la hepática *Plagiochila* contiene el sesquiterpeno hemiacetil plagiochilina A (Y. Asakawa et al. 1980b), un veneno extremadamente potente en ratones (A. Matsuo, no publicado) e inhibe la alimentación de una oruga africana (Y. Asakawa et al. 1980a).

A. J. Davidson et al. (1989) encontró que brotes de *Brachythecium rutabulum* y *Mnium hornum* no son comidos por babosas, pero que las cápsulas inmaduras son comidas rápidamente. Ellos aislaron ácido felúrico y posiblemente ácido m- o p-cumárico de las paredes celulares de un brote folioso, sugiriendo que estos compuestos servirían como antialimentarios.

C. L. Liao (com. pers.) ha demostrado que los isópodos terrestres y acuáticos devoran algunos musgos fácilmente mientras que otros los evitan. L. Russell encontró que un insecto devora fácilmente *Porella navicularis* hasta que ingiera otra especie de *Porella* con sabor picante (D. H. Wagner, com. pers.). Después de comer especies con sabor picante por unos pocos minutos, deja de comer y nunca más vuelve a probar ninguna especie de *Porella*. Tal evidencia, sumada al hecho de que muchos terpenos y otros compuestos fenólicos ocurren en briófitas (Y. Asakawa 1982a, 1988, 1990, 2001; Asakawa & E. O. Campbell 1982), es suficiente para sugerir que la exploración de compuestos contra la herbivoría en este grupo de plantas podría demostrar ser bastante rentable.

Usos industriales

Combustible

Cerca de la mitad de la producción mundial de turba es utilizada como combustible, con los recursos de turba del planeta estimados en el equivalente a 100–200 millones de toneladas de petróleo, o la mitad de las reservas de gas conocidas (Naciones Unidas, datos de 1981). En Canadá, parece existir más energía en los depósitos naturales de turba que en los bosques o en las reservas naturales de gas (J. A. Taylor & R. T. Smith 1980).

En tiempos en que las guerras y los políticos amenazan el acceso a las más importantes reservas de petróleo, la turba es un prometedor sustituto para ciertos propósitos. La turba es un combustible para quemar que produce escasa contaminación. El hermoso cutis de las mujeres irlandesas y suecas ha sido atribuido a la quema limpia de turba de *Sphagnum* que es tradicional en esos países (K. Drlica 1982). Con su gran poder calórico, más de 8000 BTU por libra seca³, como nunca antes la turba está recibiendo atención como una fuente de energía alternativa. Los musgos, tradicionalmente utilizados como combustible en algunos países desarrollados y otros en vías de desarrollo, son ahora importante fuente de energía en el norte de Europa, especialmente en Finlandia, Alemania, Irlanda, Polonia, Rusia y Suecia. En la ex U.S.S.R. se quemaban unas 70 millones de toneladas de musgos por año, y en Irlanda unas 3,5, para producir electricidad (P. H. Boffey 1975). Según D. H. S. Richardson (1981), el 25% del combustible en Irlanda se obtiene a partir de musgos. Con al menos 50 países cosechando turba, D. Hinrichsen (1981) estimaba que una cantidad de turba equivalente a 60–70 millones de toneladas de petróleo estaría en uso para el año 2000.

Varios aspectos técnicos necesitan mejorarse antes que el uso masivo de combustible de turba sea posible. Muchos ecólogos de turberas se encuentran estudiando la capacidad de regeneración de varias especies de *Sphagnum*, y S. Chapman et al. (2003) indican que una extracción limitada de turba puede de hecho aumentar la diversidad biológica. Se necesitan mejores métodos para la cosecha, secado, y conversión en combustible de la turba (O. Lindstrom 1980). La turba es ideal para la producción de metano, eliminando el picado necesario en el uso del jacinto de agua⁴, y puede ser utilizada para producir etileno, hidrógeno, metanol, gas natural y sintético, y gas con bajo y mediana energía calórica. Otras ventajas incluyen el escaso cuidado necesario para su crecimiento, fácil cosecha, bajo costo de mantención, bajo contenido de sulfuros y combustión limpia, mayor poder calórico comparada con la leña pero similar al carbón mineral (lignito), y capacidad de regenerar el recurso, aunque la turba con la calidad necesaria para ser utilizada como combustible no se regenera a la tasa en que está siendo utilizada.

Los finlandeses han solucionado muchos de los problemas asociados con los combustibles derivados de la turba en su intento de ser autosuficientes energéticamente a través del uso de recursos nativos de turba y madera (N. G. Miller 1981). Ellos han desarrollado un proceso de secado del cual se obtienen pequeñas bolitas secas de turba parcialmente carbonizada (J. A. Taylor & R. T. Smith 1980). Ellos sugieren que la cosecha de turba en trozos parece ser efectiva localmente en términos económicos, y las estaciones de acopio y elaboración en las turberas reducen el costo de transporte. Sin embargo, Finlandia ha perdido el 60% de sus turberas activas desde 1950 debido a la agricultura y la industria forestal (R. Heikkilä & T. Lindholm 2000).

³ aproximadamente 4450 kcal por kg seco (N. del T.)

⁴ *Eichhornia* spp. (N. del T.)

Además de su propio consumo de turba, Finlandia está exportando turba pulverizada al norte de Suecia, donde su utilización en calefacción industrial y municipal, generación de energía, y quemadores a petróleo de las compañías de pulpa y papel está aumentando. Las compañías de pulpa y papel han comenzado ellas mismas a cosechar a gran escala y esperan aumentar esta operación (J. Summerton 1981).

Aunque en 1903 una huelga de mineros del carbón en los Estados Unidos provocó el interés en la utilización de turba como combustible, el costo de procesarla ha limitado su uso masivo (J. W. Thieret 1956). Sin embargo, varias organizaciones, incluyendo el Servicio Geológico de los Estados Unidos, mapearon los depósitos de turba estimando la cantidad de recurso disponible (N. G. Miller 1981). La crisis energética de la década de 1970 motivó un fuerte interés en la turba. En 1975, la Compañía de Gas de Minnesota postuló a una concesión de largo plazo en tierras que contenían una superficie estimada de 200000 acres de turba que la compañía esperaba utilizar para generar metano (P. H. Boffey 1975). También en 1975, la compañía “First Colony Farm” en Carolina del Norte, comenzó a cosechar turba para ser utilizada como combustible para generar electricidad y para producir metano o gas sintético (L. J. Carter 1978). Sus 372000 acres de tierra se estima contienen mas de 400 millones de toneladas de turba, suficientes para hacer funcionar una planta generadora de 400 MW durante 40 años, o una planta de gasificación de 80 millones de pies cúbicos diarios por casi 50 años.

Cosechando turba y otros musgos

En Irlanda, sólo la horticultura utiliza casi un millón de metros cúbicos de liviana y fibrosa turba recién descompuesta. Otros 7–9 millones de libras son exportadas (D. H. S. Richardson 1981). Actualmente, en los Estados Unidos, hay alrededor de 200 cultivadores de musgos (“*mossers*” o *moss growers*). Apodada “la industria invisible”, el 90% de la turba que se comercializa en el mundo proviene de Wisconsin, fundamentalmente de los condados de Jackson y Monroe (B. Epstein 1988), no obstante el hecho de que el 3% de la superficie de la Tierra, casi completamente en el Hemisferio Norte, está cubierta de turba (R. S. Clymo 1987). Cuando esta musgosa industria comenzó en Wisconsin hace 150 años, caballos y bueyes eran utilizados para sacar los carros con musgo de los pantanos. Estos animales fueron reemplazados por tractores, trenes, pesados botes de madera, y finalmente por trineos de madera tirados por tractores con orugas semejantes a las de los tanques de guerra. El alto contenido de agua de la turba hace necesarios estos métodos: antes de secarse, un solo fardo puede pesar 180 kilos.

Con una cosecha de unos 300000 fardos anuales (J. M. Glime & D. K. Saxena 1991), es afortunado que al menos algunos cosechadores de turba de Wisconsin están practicando la producción sustentable, al menos para turba destinada a la horticultura. Un método en uso hoy para estimular la regeneración de la turba es la extracción manual del musgo, el uso de carros tirados por tractores con orugas de madera, y luego permitir que el área cosechada se recupere por 10 años antes de cosechar esa área nuevamente. Los pastos y juncos que compiten deben ser retirados, y los arbustos son eliminados para hacer la cosecha más fácil. En este sentido, el *Sphagnum* que queda vuelve a crecer mediante cabezas con ramificaciones dicotómicas que llenan los espacios desocupados. La turba es secada al aire libre en el lugar de la cosecha anclada con neumáticos viejos para prevenir que el musgo seco se vuele.

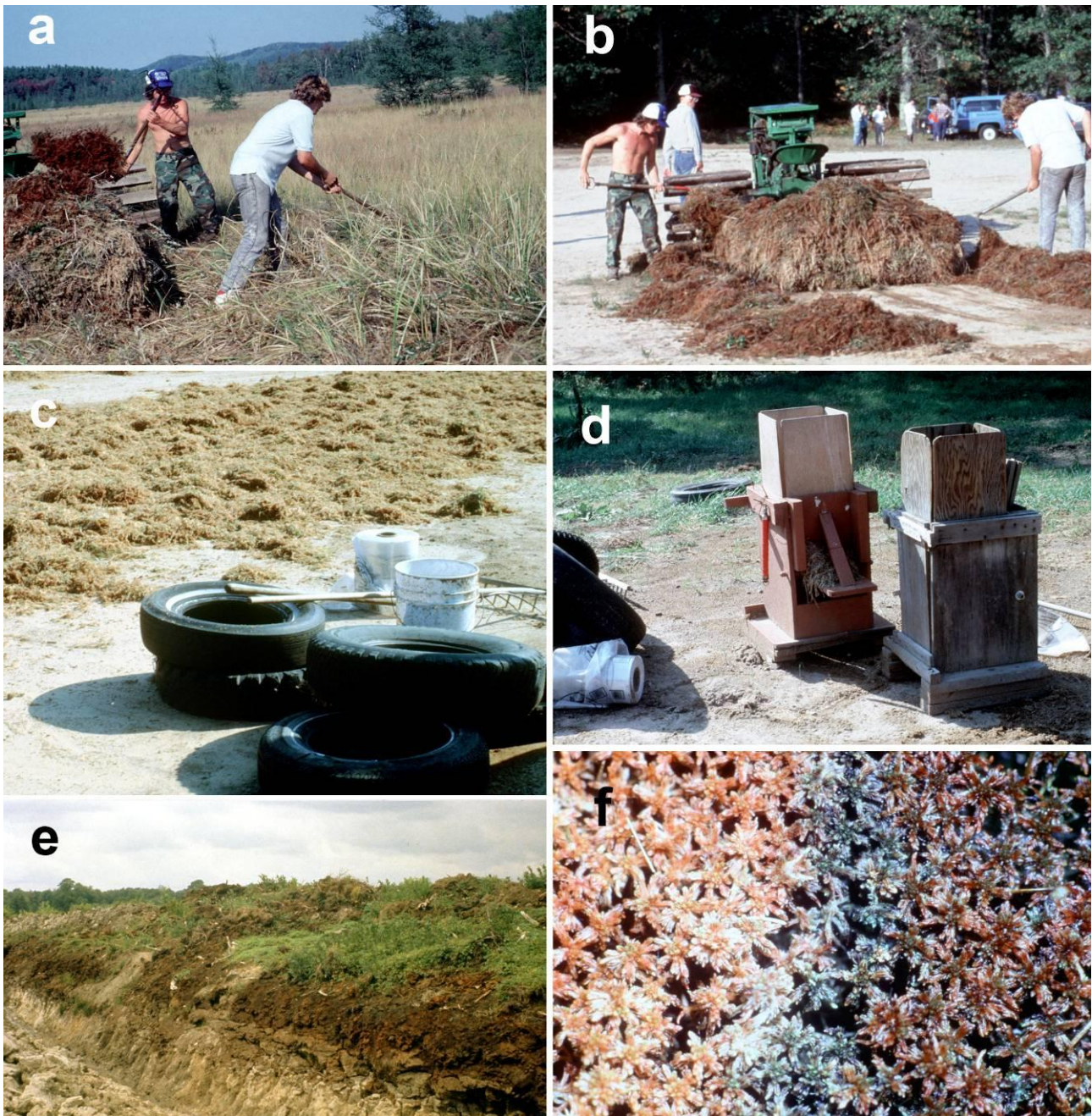


Figura 7. La cosecha de musgo es una gran industria en algunas partes de Wisconsin, EE.UU. **a.** Rastrillar el musgo con rastrillos de madera es una actividad laboriosa; un tractor con orugas de madera es usado para sacar la turba minimizando el impacto sobre el turbal. **b.** La turba es esparcida para su secado. **c.** Se usan neumáticos para anclar la turba seca. **d.** Turba empacada en el lugar y lista para la venta. **e.** Camas compactas de turba (en Maryland) pueden proveer combustible. **f.** *Sphagnum* infectado con hongos es una gran amenaza para los recolectores de musgo. Fotos de Janice Glime.

Pero para la turba utilizada como combustible, el termino “cosecha” resulta equivocado. La turba compactada que se utiliza para calefacción no se regenerará rápidamente. Las turberas finlandesas

han acumulado a una tasa de 10–40 cm por cada 1000 años, por lo que cosechas repetidas de turba profunda deben ser contempladas en escalas de tiempo geológico (H. A. Crum 1988). Incluso más alarmante es la pérdida del 87% de las turberas elevadas (“raised bogs”) en Gran Bretaña para dar paso a la agricultura y cultivos forestales (Crum, op. cit.).

La cosecha de musgos se ha convertido en una preocupación para los briólogos y ecólogos de todo el mundo. D. Knight (1991) se lamentaba de la disminución del número de turberas y de su explotación para propagación de plantas en la horticultura británica. Asimismo, en Irlanda, la turba utilizada como combustible está causando una preocupante cuenta de muerte en sus 3 millones de acres de turberas (K. Drlica 1982). La mayor parte del musgo es cosechado sin dejar nuevas zonas destinadas a la regeneración, y la cosecha parece ser particularmente fuerte en ciertas áreas del noroeste de los Estados Unidos. *Sphagnum* es el musgo más comúnmente cosechado, y en países como Australia, donde es utilizado extensivamente en horticultura pero donde no hay turberas extensas, éstas están desapareciendo rápidamente.

Otras briófitas también pueden estar en peligro de sobreexplotación. En el noroeste de los Estados Unidos, los musgos son a veces sacados del bosque en grandes camiones (P. J. Johnson, com. pers.). Debido al lento crecimiento de los musgos, puede tomar décadas para reponer la recolección de un sólo día. Además de *Sphagnum*, otros musgos muy cosechados incluyen a *Antitrichia curtipendula*, *Brachythecium*, *Hypnum cupressiforme*, *Isothecium*, *Metaneckera*, *Rhytidiadelphus* y *Thuidium* (P. J. Johnson & C. W. Smith, com. pers.). Afortunadamente, más y más cosechadores están cosechando de un modo que permitiría al musgo recuperarse por sí solo, al tiempo que las investigaciones acerca de la regeneración en Norteamérica, Europa y Nueva Zelanda continúan (A. J. Tilling 1995; L. Rochefort 2000).

Construcción

Ya en 1903, un sueco exaltaba las ventajas de moler turba junto con asfalto para producir un pavimento para calles duradero (K. Drlica 1982). En 1920, la producción de cartón y papel de embalaje a base de turba comenzó cerca de Capac, Michigan (N. G. Miller 1981). En países donde son comunes, las briófitas han sido importantes en la construcción de casas, muebles, botes y otros ítems, y son todavía utilizados el día de hoy, especialmente en la construcción de cabañas hechas de troncos.

La “casa de granito”, construída durante la última expedición antártica de Scott en 1911 en Granite Harbour, Cape Geology, todavía tiene restos de *Bryum argenteum*, *B. pseudotriquetrum* y *Henediella heimii* (= *Pottia heimii*) utilizados como relleno en las grietas de las paredes (R. Seppelt, com. pers.). En las Filipinas, las briófitas son usadas como relleno entre las tablas de las casas y las tejas del techo (B. C. Tan 2003). Algunas casas en el norte de Europa todavía tienen *Homalothecium sericeum*, *Isothecium myosuroides* y *Pleurozium schreberi* usados como relleno entre las tablas (D. H. S. Richardson 1981), y la gente de Alaska todavía utiliza *Hylocomium splendens*, *Racomitrium canescens*, *Rhytidiadelphus loreus* y *Sphagnum* para este propósito (M. Lewis 1981).

En países nórdicos, *Fontinalis antipyretica* ha sido usado como aislante contra fuego entre la chimenea y las paredes (J. W. Thieret 1956). En la tierras altas de los Himalayas, los pastores

utilizan *Actinothuidium hookeri*, *Anomodon minor*, *Entodon*, *Floribundaria floribunda*, *Leucodon sciurooides*, *Macrothamnium submacrocarpum*, *Philonotis*, *Thuidium delicatulum*, *Trachypodopsis crispatula*, *Herbertus*, *Plagiochila* y *Scapania* como estopa en casas de veraneo (G. B. Pant & S. D. Tewari 1989); los musgos son presionados entre los troncos con los dedos o alguna herramienta y dejados secar. Permanecen comprimidos y todavía verdes, luciendo más naturales que la fibra de vidrio comúnmente utilizada hoy en los hogares norteamericanos. Los europeos del Norte colocan *Sphagnum* a modo de estopa entre las tablas de las casas a modo de aislantes de ruido (J. W. Thieret 1954). Los rusos utilizan bloques de *Sphagnum* prensado y calentado para aislar casas y refrigeradores (M. A. Sukhanov 1972; M. Ruel et al. 1977).

Es bastante extraño que los musgos, desde hace mucho tiempo considerados una molestia cuando crecen en los techos de las casas, están siendo utilizados por toda Alemania como material para techumbres (e.g. Behrens Systemtechnik) y están ahora siendo evaluados para su debut en los Estados Unidos. Plantados junto a pastos, entre sus ventajas se cuentan el ser a prueba de incendios, limpiar la contaminación atmosférica, controlar las temperaturas extremas, establecer una barrera de sonido, ser más livianos que las pizarras, y el ser más económicos (M. A. Posth 1993). Sin embargo, cuando los techos, estatuas y paredes son adornados con musgos, la humedad y los ácidos orgánicos contribuyen a la erosión química de los mismos (D. Perry 1987).

En las tierras altas de Escocia, musgos secos son macerados en alquitrán y usados para impermeabilizar botes (H. A. Crum 1973); *Eurhynchium striatum* y *Neckera complanata* han sido utilizados para sellar juntas y grietas de botes y canoas (G. B. Pant & S. D. Tewari 1990). *Polytrichum commune* era usado para confeccionar cabos náuticos. De hecho, el uso de musgos era más que el uso casual de eso que se tiene a la mano; los musgos eran importados de Bélgica a Holanda después del siglo XVI para impermeabilizar carabelas (J. H. Dickson 1973).

El forro de un pozo en una pequeña villa romana cerca de Abingdon, Gran Bretaña, tenía musgos colocados entre y detrás de las piedras. Como los musgos encontrados correspondían a especies del bosque, se presume que fueron colocados allí (J. H. Dickson 1981). Dickson teoriza que pueden haber servido para filtrar el agua.

Hypnum plumaeforme, *Loeskeobryum brevirostre*, *Rhytidiadelphus japonicus* y *Thuidium kanedae* sirvieron para detener una fuga de agua en un dique de troncos temporal en una maniobra de cosecha de madera en Japón (H. Ando 1957). En Pennsylvania, *Fontinalis* era transplantado intacto en las rocas para estabilizar nuevas represas (trabajador forestal anónimo, com. pers.).

Recientemente, el “concreto de turba” (“peatcrete”) y la “madera de turba” (“peatwood”), utilizando *Sphagnum* con aglomerantes para su solidificación y fortalecimiento, han servido como materiales de construcción (M. Ruel et al. 1977). Para hacer “concreto de turba”, el *Sphagnum* es mezclado con concreto liviano y prensado hidráulicamente con cemento de Portland y agua. Su baja fuerza mecánica es balanceada por las ventajas de su bajo costo, facilidad para cortarlo, clavarlo, reemplazarlo y moldearlo, no es necesario secarlo, no es inflamable, y posee baja densidad (0,7–1,2 sp. gr.; 45–70 lb ft⁻³) (Ruel et al., op. cit.). Debido a su liviano peso, la construcción con turba es especialmente útil en lugares donde el transporte es un problema. La “madera de turba” (*Sphagnum* seco mezclado con resinas fenólicas y prensado en un molde caliente), presenta ventajas para la construcción (Ruel et al., op. cit.). Éstas incluyen su rápido endurecimiento, textura atractiva, buena resistencia, fácil de clavar, taladrar o pegar, y bajo peso (40–60 lb ft⁻³). La “espuma de turba”

(*peatfoam*) es un material de construcción muy liviano que corresponde a una mezcla de *Sphagnum* y resina espumosa. El “corcho de turba” (*peatcork*) se elabora a partir de la fracción de grano grueso de la turba (Ruel et al., op. cit.).

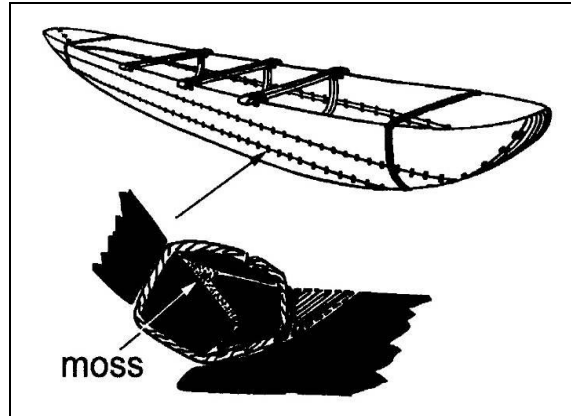


Figura 8. Vistas de un bote antiguo (arriba) y las juntas del bote (abajo) mostrando los musgos usados para permitir la flexibilidad del bote, otorgando de este modo resistencia. Dibujado a partir de un diagrama en J.H. Dickson (1973).

Usos en el hogar

Los musgos son ampliamente utilizados para decoración en vitrinas y muestrarios, para adornar árboles de navidad y líneas de trenes de juguete, para arreglos florales y arreglos navideños. Para adornar en derredor de los árboles de navidad y pesebres, los musgos son recolectados en sábanas (H. A. Miller in H. A. Crum 1973). En México, *Hypnum* y *Thuidium* son usados como alfombras para pesebres; en los Estados Unidos, *Hypnum cupressiforme* y *Ptilium crista-castrensis* son frecuentemente utilizados con estos fines. Los musgos en sábanas son recolectados en cualquier estación, pero preferiblemente en verano. Un solo mayorista proporciona artículos para la industria decorativa utilizando 14000 libras de musgo seco por año (T. C. Nelson & I. W. Carpenter 1965).

Climacium americanum es utilizado para confeccionar coronas de caridad y cruces, e *Hylocomium splendens* para hacer rosas de musgos (W. H. Welch 1948; J. W. Thieret 1956). En Japón, *Climacium japonicum* seco se utiliza para hacer flores acuáticas ornamentales que se expanden en un vaso con agua (M. Mizutani 1963), y algunas briófitas prensadas y secas son frecuentemente usadas en obras de arte enmarcadas (K. Saito 1973). Incluso los esporofitos son usados en Japón para hacer arreglos decorativos (T. Manzoku 1963). En Missouri, EE.UU., *Bryum* es recolectado para hacer arreglos florales.

Hypnum cupressiforme, *Isoetecium myosuroides*, *Pleurozium schreberi* y *Pseudoscleropodium purum* adornaban la vitrina de una tienda en Rambouillet, cerca de Paris, durante un festival de mayo en 1970 (H. Ando 1972), y yo⁵ he visto recientemente *Rhytidiadelphus* utilizado en una exposición de artesanías en un hotel de Montana. En Rennes, Francia, Ando encontró cojines de

5 la autora original del artículo (N. del T.)

Leucobryum glaucum dispuestos decorativamente en la vitrina de una sastrería. *Dicranum scoparium* es popular para vitrinas de tiendas porque forma grandes montículos verdes, e *Hylocomnium splendens*, *Rhytidiadelphus loreus* y *R. triquetrus* son populares como alfombras verdes en exhibiciones de flores (W. H. Welch 1948; J. W. Thieret 1956).

Las briófitas en acuarios proveen oxígeno, refugio, y sustrato para depositar huevos para los peces (G. Benl 1958), y son generalmente más delicados y elegantes que las plantas vasculares acuáticas. Muchas especies pueden ser utilizadas, mientras el agua no sea muy cálida para ellos: *Bryum pseudotriquetrum*, *Fontinalis antipyretica*, *Glossadelphus zollingeri*, *Leptodictyum riparium*,

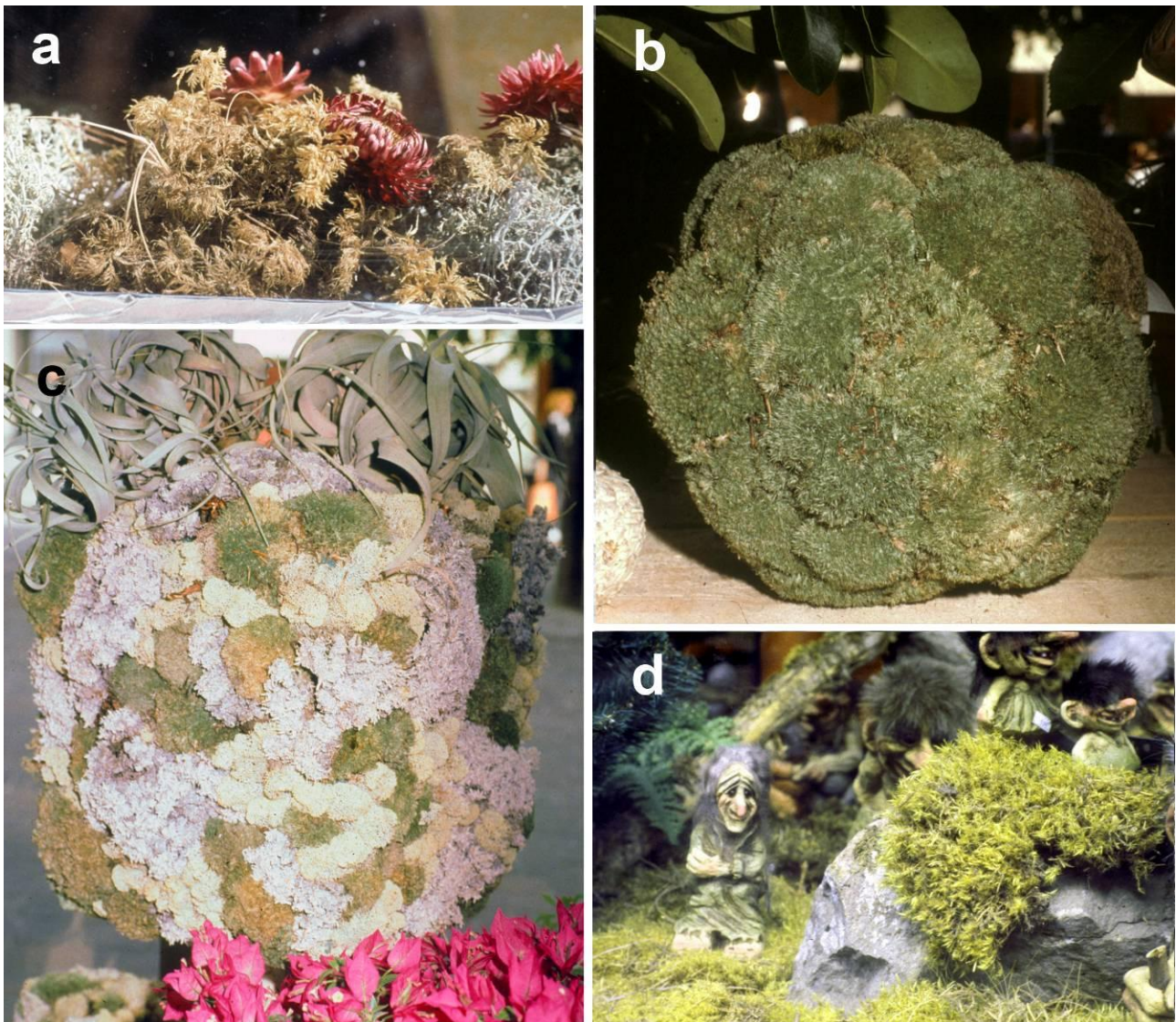


Figura 9. Las briófitas suelen utilizarse de forma decorativa. **a.** Briófitas decoran la vitrina de una tienda en Trosa, Suecia. **b.** Bolas de musgo hechas por el hombre adornan la vitrina de una tienda de valores en Paradeplatz, Zürich, Suiza. **c.** Árbol hecho de briófitas y líquenes, decorando la vitrina de una tienda de flores en Paradeplatz, Zürich, Suiza. **d.** Los musgos proveen un fondo para los trols en una tienda en Helsingborg, Suecia. Fotos de Irene Bisang, Universität, Zürich.

Platyhypnidium riparioides, *Rhacopilum aristatum*, *Taxiphyllum barbieri*, *Vesicularia dubyana*, *V. ferriei*, *Chiloscyphus polyanthos*, *Riccia fluitans* y *Ricciocarpus natans* (Benl; C. D. K. Cook et al. 1974; N. Takaki et al. 1982).

En 1990, una especie de *Polytrichum* decoraba una cara de la moneda de 50 peniques en Finlandia, con el animal nacional, un oso pardo, en la otra cara (J. Hyvönen 1990). Existe una asociación lingüística entre el oso y el musgo en la lengua finesa (*karhunsammal*). Esta asociación podría deberse al hecho de que los osos a veces entierran su alimento en bosques húmedos bajo alfombras de *Polytrichum commune*, o al hábito de utilizar matas de *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* y *Polytrichum* para rellenar sus sitios de hibernación.

Vestuario

En Alemania, *Sphagnum* es usado como relleno en botas de montaña (L. Hedenäs 1991), donde absorbe humedad y olor. Varias culturas han utilizado *Sphagnum* y *Dicranum scoparium* para rellenar pañales. Los indios chippewa de Michigan usaban *Sphagnum* para este propósito manteniendo así a los bebés limpios y abrigados (H. A. Crum 1973). Incluso los pañales modernos en los EE.UU. y Canadá pueden contener rellenos de *Sphagnum* (J. H. Bland 1971). En la actualidad, la compañía Johnson & Johnson utiliza *Sphagnum* en pañales y toallas higiénicas femeninas (L. M. Johnson Gottesfeld & D. H. Vitt 1996). Ellos han aprendido de los pueblos indígenas el evitar los esfagnos cortos, amarillentos o rojos, presumiblemente porque ellos, como el *Sphagnum capillifolium* (= *S. nemoreum*) de color rojo, causan irritación, mientras que los largos, rosados pero no rojos *Sphagnum magellanicum* son preferidos.

B. O. van Zanten (1973) fotografió a un nativo de Nueva Guinea llevando *Dawsonia grandis* en su cabello y brazalete. Esta especie es desprovista de sus hojas, colocada sobre un fuego al rojo vivo, el tallo desprovisto de sus capas externas, cortado en dos y trenzado en una cuerda que es utilizada para decorar de rojo bolsas de malla y otros objetos (van Zanten, op. cit.). Las mujeres también llevan estos tallos en sus cabellos y como decoración en brazaletes. D. H. S. Richardson (1981) reportó que los nativos de Nueva Guinea también utilizan musgos para decorar máscaras ceremoniales. En Filipinas, los nativos utilizan musgos para decorar sombreros y ropas (B. C. Tan 2003).

J. E. Beever & J. E. Gresson (1995) recientemente descubrieron tallos y hojas de *Polytrichum commune* y *Polytrichadelphus magellanicus* siendo usados en dos capas maorís en Nueva Zelanda; presumiblemente grupos de 3–5 tallos foliosos de los musgos originalmente cubrían completamente el lino del forro de la capa, y la alternancia de colores café y negro servían de decoración. No solo decorativos eran los musgos, sino que también servían como una capa adicional de aislante. En algunas partes de Alemania, la lana era entretejida con *Sphagnum* para hacer prendas buenas y baratas (J. W. Hotson 1921). En México, la lana es a veces teñida de un color oscuro con extractos de un musgo rupestre (C. Delgadillo, com. pers.). En Inglaterra, *Climacium dendroides* era teñido artificialmente y vendido en el mercado (C. H. Clarke 1902) o utilizado para decorar el sombrero de alguna dama (F. Tripp 1888). En Boston eran elaboradas trenzas hechas con *Pseudoscleropodium purum* y cordones hechos con *Neckera crispa* y *Dicranum* para decorar sombreros y capotes de dama (Clarke, op. cit.).

Las mujeres de las villas de Kumaun, en la India, utilizan musgos (*Hylocomium*, *Hypnum*, *Trachypodopsis*) para rellenar sacos de tela para hacer cojines de cabeza (sirona) que además absorben agua que chorrea mientras cargan baldes de agua (G. B. Pant & S. D. Tewari 1989). Musgos suaves, como *Hylocomium brevirostre*, fueron usados en Europa para hacer empuñaduras para las cuchillas mesolíticas de piedra, para proteger la mano del usuario (J. H. Dickson 1973).



Figura 10. *Ricciocarpus natans* es cultivada flotando en acuarios para proveer oxígeno. Foto de Janice Glime.

Artículos para el hogar

Las propiedades absorbentes de *Sphagnum* lo convierten en el musgo más utilizado entre todas las briófitas. Sirve como aislante, relleno de almohadas, colchones y cojines, para mantener la leche tibia o fría, para rellenar plantillas de zapatos para mantenerlos limpios, para tejer choapinos, y en Laponia para rellenar las cunas de los bebés, manteniéndolos limpios, secos y abrigados (R. M. Stark 1860). La durabilidad y elasticidad de los musgos pueden haber contribuido a que los japoneses rellenen balones y muñecas con *Hypnum* (G. B. Pant & S. D. Tewari 1990). Los romanos, viviendo cerca de lo que es hoy Glasgow, utilizaban musgos como papel higiénico (H. J. B. Birks 1982). Algunos musgos son muy buenos para ser usados como mecha de lámparas: *Dicranum elongatum* usado por los indios Cree, *Racomitrium lanuginosum* por los esquimales de Labrador (J. H. Bland 1971), y *Sphagnum* por otros (H. A. Crum 1988). En la India, los musgos son usados para cubiertas de puertas y filtros para fumar (Pant 1989). En Alemania, *Sphagnum* era utilizado en los hospitales como cojines reclinatorios para cuello y cabeza, para sostener caderas y espaldas, y para elevar las piernas de personas heridas (J. W. Hotson 1921). Campesinos de los Himalayas usan musgos, arbustos, pastos y cañas de bambú para hacer choapinos (*pharki*) (J. M. Glime & D. K. Saxena 1991) y los suecos del sur usan *Polytrichum commune* para hacer choapinos y cepillos (L. Hedenäs 1991). Debido a sus tallos largos y rígidos, *Polytrichum* sirve para hacer buenas escobas para desempolvar cortinas y alfombras (H. A. Crum 1973). Los tallos son desprovistos de sus hojas para hacer una escoba de 12–18 pulgadas de largo (J. W. Thieret 1954). Los romanos antiguos aparentemente usaban *Polytrichum* para hacer canastos (Bland 1971). En las Azores, *Thuidium tamariscinum*, *Pseudoscleropodium purum* y *Hypnum cupressiforme* eran utilizados para rellenar almohadas y colchones (P. Allorge 1937). De hecho, J. J. Dillenius (1741) bautizó al género

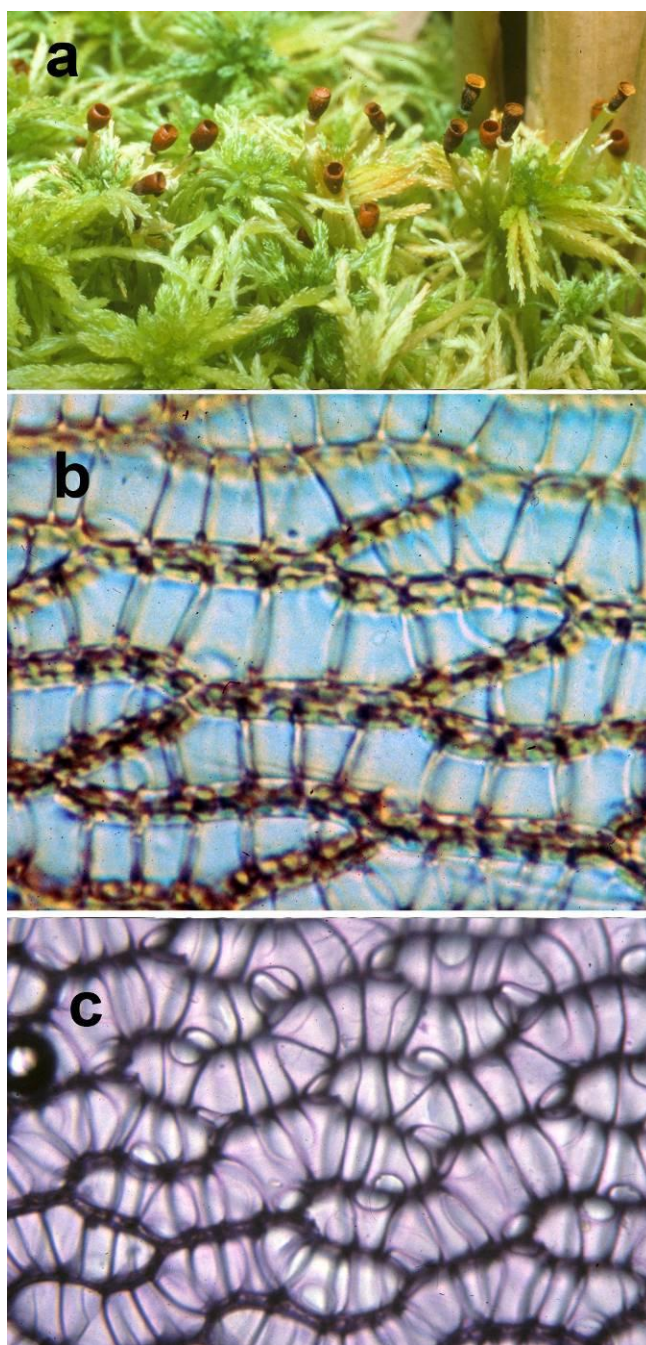


Figura 11. *Sphagnum* tiene numerosos usos por su capacidad de absorción y propiedades antibióticas. **a.** *Sphagnum* forma cápsulas en su hábitat natural. **b.** El *Sphagnum* vivo tiene células fotosintéticas verdes formando una red alrededor de las células hialinas. **c.** La tinción hace que poros y células hialinas sean más visibles. Fotos de Janice Glime.

Hypnum debido a su popular uso como relleno de almohadas, las que inducen el sueño. El propio Linneo utilizaba *Polytrichum commune* como ropa de cama (Crum, op. cit.), indicando que si una frazada fuera hecha de este musgo, nada podría ser más cálido y confortable (C. Linnaeus, in D. Black [ed.] 1979). En Northumberland, Inglaterra, la evidencia arqueológica sugiere que tanto

hombres como animales domésticos dormían sobre musgos, que aportaban no sólo una superficie suave, sino que absorbente de líquidos (H. Ando & A. Matsuo 1984). Las especies más comunes eran *Hylocomium splendens* (55%), *Rhytidiadelphus squarrosus* (33%) y *Pseudoscleropodium purum* (6%). Los musgos, incluyendo *Brachythecium*, *Dicranum*, *Hypnum*, *Neckera*, *Papillaria* y *Thuidium*, además presentan la ventaja de ser repelentes de insectos y resistentes a la pudrición (Pant & Tewari 1989).

El musgo *Sphagnum* es particularmente bueno para absorber orina del ganado y mascotas. Es usado en el laboratorio para prevenir la enfermedad de “pata roja” en ranas. Su propiedad absorbente es útil para limpiar la loza en los campamentos (A. Gould, com. pers.), y el musgo sobrante puede ser usado para mantener vivos los gusanos para pescar. En la India, los campesinos limpian los utensilios del hogar con una mezcla de musgos y cenizas (G. B. Pant 1989). H. J. During (com. pers.) fue consultado para determinar musgos encontrados en cerámicas de la Edad de Piedra en Francia. Estos antiguos ceramistas habían utilizado *Neckera crispa*, *Tortula* y otros musgos, aparentemente con el mismo propósito por el que los ceramistas de hoy utilizan la arena, para hacer la cerámica menos “gorda”, mejorando la calidad de la misma.

Los musgos parecen ser útiles en mantener la integridad estructural en una gran variedad de materiales. En Siberia, los esquimales enrollan pieles y las congelan con la forma de un patín de trineo. Luego cubren éstos con una mezcla de musgo y agua para proteger las pieles. La mezcla de musgo y agua se suaviza a medida que se amoldan los patines de piel (R. Seppelt, de la serie de ABC-TV “Man on the Rim”).

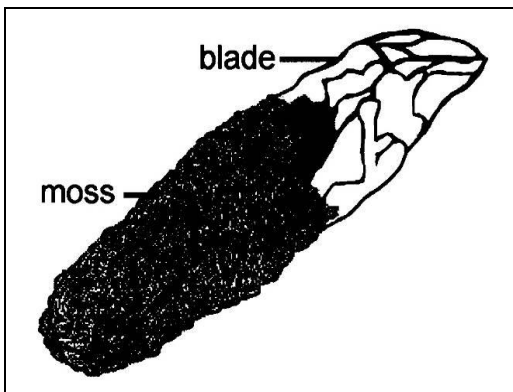


Figura 12. Las empuñaduras de cuchillas mesolíticas en Europa eran a veces recubiertas con musgo. Dibujado a partir de fotografía en Dickson (1981).



Figura 13. Las babosas comen *Hypnum*, llamado así porque se creía útil para inducir el sueño; era usado para rellenar almohadas. Foto de Janice Glime.

Empaque

Mucho antes del descubrimiento de compuestos secundarios en briófitas, los habitantes de los Himalayas las utilizaban como repelentes de insectos al guardar comida (G. B. Pant & S. D. Tewari 1989). Éstas eran secadas, transformados en un polvo grueso, y espolvoreados sobre granos y otros bienes almacenados. Las briófitas, de bajo peso relativo, pueden ser fácilmente retiradas soplándolas antes de utilizar los granos.

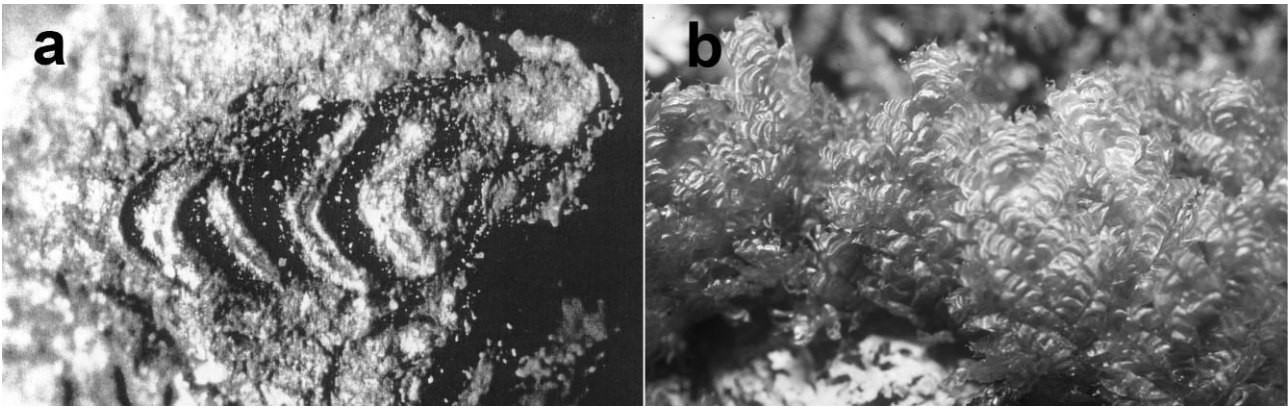


Figura 14. Las especies de *Neckera* ya eran usadas en la Edad de Piedra. **a.** Trozo de cerámica antigua con impresión de *Neckera crisper* que fue usada como mordiente. Foto cortesía de Heinjo During de la Universidad de Utrecht y Wim Kuijper de la Universidad de Leiden. **b.** *Neckera pennata*, mostrando las ondulaciones representadas en la cerámica. Foto de Janice Glime.

En algunos estados del oeste de los EE.UU., *Antitrichia californica*, *Dendroalsia abietina* y *Neckera menziesii* eran utilizadas para empacar vegetales, sirviendo asimismo para retener humedad (A. J. Grout 1902; T. C. Frye 1920), e incluso hoy, *Antitrichia curtispindula*, *Isothecium* y *Metaneckera* son usados para empacar hongos en el noroeste del Pacífico (C. W. Smith, com. pers.). En la India, *Sphagnum* es frecuentemente usado para empacar manzanas, y en los Himalayas las manzanas y ciruelas son aun envueltos con *Brachythecium salebrosum*, *Cryptolepton flexuosus*, *Hypnum cupressiforme*, *Macrothamnium submacrocarpum*, *Neckera crenulata*, *Trachypodopsis crispatula* y *Thuidium tamariscellum* (G. B. Pant & S. D. Tewari 1989). En los trópicos, las hepáticas foliosas son usadas debido a su abundancia (J. H. Bland 1971). Las tiendas de materiales biológicos usan musgos para empacar plantas y animales vivos, sacando ventaja de su retención de humedad y propiedades antibióticas. En Gran Bretaña, los musgos eran usados como relleno temporal para pieles de animales en el Museo Británico de Historia Natural (A. J. Harrington 1985). A lo largo de la historia, las briófitas han sido utilizadas para proteger artículos delicados. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Departamento de Defensa de los EE.UU. utilizaba *Sphagnum* para empacar las delicadas miras de bombas (K. Parejko, com. pers.). En Japón, *Aerobryopsis subdivergens*, *Barbella detormisii*, *Meteorium helmintocladulum* y *Neckera calcicola* han sido encontrados en cajas conteniendo antiguas prendas de seda (A. Noguchi 1952); estos musgos pendientes tienen la ventaja de no tener nada de tierra adherida. *Rhytidiadelphus triquetrus* ha sido usado para proteger artículos delicados en China (J. H. Dickson 1973). Los vikingos usaban musgos para empacar zapatillas de cuero suave. En otras partes de Europa, *Hypnum*, *Plagiomnium undulatum* y *Sphagnum* eran usados para proteger los filos de dagas y espátulas (Dickson 1967).

Pseudoscleropodium purum (J. H. Dickson 1967), *Hylocomium splendens* y *Rhytidiadelphus squarrosus* han sido dispersados alrededor del mundo debido a su frecuente uso en empaque (M. R. D. Seaward & D. Williams 1976). B. H. Allen & M. R. Crosby (1987) se refieren al viaje alrededor del mundo y establecimiento de *Pseudoscleropodium purum* como legendario, y su uso como material de empaque en cajas de árboles jóvenes que son actualmente enviados a Tristan da Cunha amenazan que esta especie se asilvestre allí también.



Figura 15. Las Meteoriaceae forman largas matas pendientes de los árboles en Japón y muchas áreas tropicales, proveyendo material de empaque limpio. Foto de Janice Glime.



Figura 16. *Pseudoscleropodium purum*, usado para empaquetar, ha sido consecuentemente introducido en diversos ecosistemas alrededor del mundo. Foto de Janice Glime.

Sepulturas

La preservación de hombres en turbales, con sus sombreros y prendas, es bien conocida (T. J. Painter 1991). La acción de aguas turbosas en cueros curtidos ha preservado estos cuerpos por siglos. Tanto los pobladores de Alaska como los japoneses han sido conocidos por usar una cama de musgos para enterrar a los muertos (J. H. Bland 1971; H. Ando & A. Matsuo 1984), y un ataúd de madera de unos 1300 años se encontró que contenía *Aerobryopsis subdivergens* y otros musgos en Ohira-cho, Tochigi-ken, Japón (Z. Iwatsuki & H. Inoue 1971). Los siberianos utilizaban musgos, incluyendo *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis* y *Rhytidium rugosum*, para ayudar a mantener juntas capas de corteza al forrar los techos de las tumbas, hoy de 2500 años de antigüedad (S. I. Rudenko 1970). La momia Guanche, de las Islas Canarias, tenía *Neckera intermedia* (un epífita) en la cavidad abdominal para su momificación; el cuerpo fue fechado con la técnica del carbono 14, presentando una edad de 1380 ± 80 años (P. Horne & R. R. Ireland 1991). Previamente hubo un reporte de una mujer esquimal congelada con musgo en sus pulmones, pero esto ha sido considerado como accidental, con el musgo inhalado cuando la mujer fue accidentalmente enterrada viva (M. R. Zimmerman & G. S. Smith 1975; Horne & Ireland, op. cit.).

Usos Medicinales

Quirúrgicos

Temprano en el Siglo XX, varios autores publicaron recuentos del uso de *Sphagnum* como vendaje quirúrgico (J. B. Porter 1917; J. W. Hotson 1918, 1919, 1921; G. E. Nichols 1918a, 1918b, 1918c, 1918d, 1920), ahorrando durante la Primera Guerra Mundial el precioso algodón utilizado para la fabricación de algodón pólvora. De acuerdo con Nichols (1918c, 1920), los vendajes de *Sphagnum* fueron extensivamente utilizados por el ejército británico, alcanzando cerca del millón de libras de vendajes por mes, ahorrando cerca de US \$200000 (J. H. Bland 1971), cerca de 200000 libras por



Figura 17. Muchas briófitas han sido utilizadas con fines medicinales, mayoritariamente sobre la base de su apariencia de acuerdo con la “doctrina de las signaturas”. **a.** La caliptra peluda de *Polytrichum* era usada para fortalecer y embellecer el cabello. **b.** *Marchantia polymorpha*, con forma de hígado e identificable por los receptáculos con yemas, ha sido usada para tratar enfermedades del hígado, pulmón, y furúnculos. Como fuente de marchantina A, puede tener reales propiedades medicinales contra las células KB involucradas en la leucemia. **c.** Apariencia de serpiente de *Conocephalum conicum*, una hepática común usada como planta medicinal junto con *Marchantia polymorpha* y aceites vegetales como antídoto para quemaduras, furúnculos, mordidas, cortes, eczema y heridas, es conocida por inhibir microorganismos. Fotos de Janice Glime.

mes por la Cruz Roja Canadiense, cerca de 500000 libras por mes por el ejército de los EE.UU. durante los últimos seis meses de esa guerra (Bland, op. cit.). Aunque el uso de *Sphagnum* como vendaje había casi completamente terminado después de la Primera Guerra Mundial, los chinos han continuado utilizándolo para este propósito (Ting H. S. 1982).

Los vendajes de *Sphagnum* son superiores a los de algodón en numerosos aspectos (J. B. Porter 1917). Absorbe tres a cuatro veces más líquido a una tasa cerca de tres veces mayor, necesitando cambios menos frecuentes. Es además más fresco, más suave, menos irritante, retarda el crecimiento de bacterias (R. D. Banerjee 1974), y es económico. Recientemente, S. J. Varley & S.

E. Barnett (1987) citaron evidencia de pruebas controladas que indicaban que el área de heridas cubierta por nueva epidermis era el doble cuando se utilizaba un vendaje de *Sphagnum* que sin vendaje alguno.

Cualquier tipo de contacto de *Sphagnum* con el cuerpo humano requiere estar alerta a la presencia de hongos entre las plantas. La esporotricosis es una amenaza para quienes trabajan con vendajes de *Sphagnum* o en la cosecha del musgo (D. J. D'Alessio et al. 1965; S. E. Tamblyn 1981), y hay un caso conocido en que un horticultor contrajo esporotricosis en el abdomen (E. H. Frankel & D. F. Frankel 1982). La Sociedad Americana de Orquídeas advierte a sus miembros acerca de este peligro ocupacional (A. A. Padhye & L. Ajello 1990). Quizás más peligrosa es la esporotricosis pulmonar, una infección del pulmón que resulta de la inhalación del hongo causal (W. H. McCain & W. F. Buell 1968). Incluso los trabajadores forestales pueden contraer esta enfermedad al trabajar en turberas (K. E. Powell et al. 1978), y la esporotricosis alcanzó en 1988 proporciones suficientes para que el Milwaukee Journal reportara a *Sphagnum* como el culpable (N. Rosenberg 1988). El Instituto Macauley en Aberdeen, Inglaterra, está investigando el uso de métodos hidropónicos para producir *Sphagnum* libre de microorganismos y otros contaminantes.

Medicinas

La “teoría de las signaturas” (donde el uso medicinal de las plantas es sugerida por la forma de éstas) ha jugado un rol importante en el uso de briófitas, especialmente el de las hepáticas, como plantas medicinales. Por ejemplo, debido a que *Polytrichum commune* tiene largos pelos en su caliptra, cubriendo la cápsula, las damas en los tiempos de Dillenius utilizaban un aceite con extracto de su caliptra para fortalecer y embellecer sus cabellos (J. J. Dillenius 1741; J. H. Bland 1971; H. A. Crum 1973).

El uso de briófitas como plantas medicinales ha sido común en China, India, y entre los nativos americanos desde tiempos inmemoriales. Numerosos compuestos, incluyendo oligosacáridos, polisacáridos, polialcoholes, aminoácidos, ácidos grasos, compuestos alifáticos, prenilquinonas, y compuestos fenólicos y aromáticos ocurren en briófitas, pero escasos vínculos han sido establecidos entre los efectos médicos y cierta especie de briófita o compuesto (G. B. Pant & S. D. Tewari 1990).

Quizás el ejemplo más conocido de la “doctrina de las signaturas” sea el uso de *Marchantia polymorpha* para tratar enfermedades hepáticas; su superficie recuerda una sección transversal de hígado (H. Miller & N. G. Miller 1979); se cree que enfría y limpia el hígado, remueve la ictericia y la inflamación (J. H. Bland 1971). En China, aún es usada para tratar la ictericia de la hepatitis y como un ungüento tópico para reducir la inflamación (Hu R. L. 1987). Los indios de los Himalayas usan *Marchantia polymorpha* o *M. palmata* para tratar furúnculos y abscesos pues el arquegonióforo joven se asemeja en esta especie a un furúnculo cuando emerge del talo (G. B. Pant & S. D. Tewari 1989). Su similaridad con el tejido pulmonar hizo que los europeos usaran *M. polymorpha* para tratar la tuberculosis pulmonar (Bland, op. cit.). Las especies de *Riccia* fueron utilizadas en los Himalayas para tratar la tiña debido a la semejanza de esa hepática con los anillos dejados por dicha infección fúngica. Pruebas recientes efectuadas en poblaciones de *Riccia fluitans* de Florida indicaron actividad nula para inhibir el crecimiento de bacterias (*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*) o levadura (*Candida albicans*) (A. L. Pates & G. C. Madsen 1955), y es poco probable que esta hepática lo haga mejor con la tiña.



Figura 18. *Rhodobryum ontariense* es un miembro de un género usado para tratar el cáncer en China. Foto de Janice Glime.

En China, unas 30–40 especies de briófitas han sido consideradas como medicinalmente efectivas (Ting H. S. 1982). El musgo *Sphagnum* seco es vendido para tratar hemorragias (J. H. Bland 1971), y *Sphagnum teres* es usado para tratar enfermedades en los ojos (Ting, op. cit.), pero J. C. Mitchell & A. Rook (1979) advierten sobre los posibles efectos alérgicos de *Sphagnum*, probablemente debido a que puede portar el hongo causante de la esporotricosis (J. E. Adams et al. 1982). *Rhodobryum giganteum* y *R. roseum* son usados para tratar enfermedades cardiovasculares o crisis nerviosas, *Polytrichum commune* para reducir la inflamación y la fiebre, como un detergente diurético, laxante, y como coagulante (Hu R. L. 1987), y *Haplocladium microphyllum* para tratar cistitis, bronquitis, amigdalitis y otitis. Una mezcla de *Conocephalum conicum* y *Marchantia polymorpha* con aceites vegetales es usado en mordeduras, furúnculos, quemaduras, cortes, eczema y heridas (Wu P. C. 1977; Ting; H. Ando 1983). *Fissidens* es utilizado como un agente antibacteriano en inflamaciones de garganta y otros síntomas de infección bacteriana. Presumiblemente en la misma lógica, *Polytrichum commune* es hervido para hacer un té para el tratamiento del resfriado común. Esta especie también se dice que ayuda a disolver piedras del riñón y glándula biliar (A. Gulabani 1974). Sorprendentemente, algunos tratamientos antiguos en China ahora tienen soporte clínico (Ting, op. cit.). En 1976 el equipo del laboratorio del “Fourth Medical School” en China fueron al este de Sezechuan, donde estudiaron musgos usados por los campesinos (Wu 1982). La investigación clínica mostró que un extracto de éter de *Rhodobryum giganteum*, usado por los campesinos para curar la angina, contenía aceites volátiles, lactonas y aminoácidos. Cuando se administraba en ratones, el extracto efectivamente reducía la resistencia al oxígeno al aumentar la tasa de flujo por la aorta por sobre un 30%.

En Montana, los Cheyenne usan *Polytrichum juniperinum* en medicinas (J. A. Hart 1981). En Utah, los indios Gasuite usan *Bryum*, *Mnium*, *Philonotis*, y varios musgos hypnoides que forman matas, moliéndolos en una pasta y aplicándola como cataplasma para reducir el dolor de las quemaduras (S. Flowers 1957). Ellos usan similares cataplasmas para moretones y heridas o como almohadillas entre tablillas para proteger huesos rotos.

En los Himalayas, los indios usan una mezcla de cenizas de musgos con grasa y miel como una pomada relajante y curativa para cortes, quemaduras y heridas (G. B. Pant et al. 1986). Ellos

afirman que tiene un efecto relajante y que cura heridas más rápido (Pant & S. D. Tewari 1989). Las propiedades antibióticas de *Sphagnum* se conocen por todo el Hemisferio Norte. En Alsaka, los indios lo mezclan con grasa para preparar un unguento (W. B. Schofield 1969; H. Miller & N. G. Miller 1979); en Gran Bretaña fue utilizado para tratar furúnculos (J. H. Bland 1971); su derivado, el esfagnol, alivia la picazón de las picaduras de mosquito (H. A. Crum 1988), y ha sido usado en baños medicinales (Crum 1973; K. Weber & G. Ploetner 1976), pero las pequeñas cantidades de sustancias activas que se ponen en un baño promedio difícilmente pueden causar algún efecto.

Antibióticos y otras sustancias activas

Además de los muchos usos medicinales dados por las culturas ancestrales, uno de los factores que ha motivado la investigación farmacéutica de las briófitas es la presencia en muchos taxones, particularmente de hepáticas, de aromas únicos. Por ejemplo, *Conocephalum conicum* huele a hongos, y especies de *Leptolejeunea* y *Moerckia* son claramente aromáticas (R. M. Schuster 1966). *Lophozia bicrenata* tiene una fragancia agradable, especies de *Solenostoma* huelen a zanahorias, y *Geocalyx graveolens* huele parecido a trementina.

Isotachis japonica tiene por lo menos tres esteres aromáticos: benzoato bencílico, cinamato bencílico, y cinamato β -feniletílico (A. Matsuo et al. 1971). S. Hayashi et al. (1977) han encontrado hidrocarburos monoterpénicos como el α -pineno, β -pineno, camfeno, sabineno, mirceno, α -terpineno, limoneno, ácidos grasos, y metil-ésteres de bajo peso molecular, y argumentan que ciertos aromas únicos son resultado de una mezcla de muchos compuestos. Dado que los musgos y hepáticas rara vez muestran signos de infección en la naturaleza, no es sorprendente que G. C. Madsen y A. L. Pates (1952) encontraran inhibición por microorganismos en productos de briófitas, incluyendo *Sphagnum portoricense*, *S. strictum*, *Conocephalum conicum* y *Dumortiera hirsuta*. J. A. McCleary et al. (1960) sugirieron que los musgos serían una fuente de antibióticos. Más tarde, F. P. Belcik & N. Wiegner (1980) encontraron actividad antimicrobiana en extractos de las hepáticas *Pallavicinia* y *Reboulia*, y S. Isoe (1983) reportó lo mismo para *Porella*. McCleary & D. L. Walkington (1966) sugirieron que ácidos grasos no ionizados y compuestos polifenólicos podrían contribuir con las propiedades antibióticas de las briófitas; ellos encontraron 18 musgos, de los cuales los más activos fueron *Atrichum*, *Dicranum*, *Mnium*, *Polytrichum* y *Sphagnum*, que inhibían claramente a bacterias gram-positivas o gram-negativas, o ambas a la vez. *Atrichum undulatum* efectivamente inhibía el crecimiento de todas las bacterias analizadas excepto *Aerobacter aerogenes* y *Escherichia coli*. Z. Pavletic & B. Stilinovic (1963) encontraron que *Dicranum scoparium* inhibía claramente todas las bacterias analizadas excepto (la gram-negativa) *Escherichia coli*. K. G. Gupta & B. Singh (1971) encontraron una alta ocurrencia de actividad antibacteriana en extractos de especies de *Barbula*, llegando a un 36,2%, mientras en especies de *Timmiella* fue de sólo un 18,8%.

Incluso enfermedades causadas por virus u hongos podrían algún día ser curadas mediante extractos de musgos. Aunque L. van Hoof et al. (1981) no encontraron efecto alguno de extractos de 20 especies de musgos sobre el virus herpes, R. Klöcking et al. (1976) encontraron que por lo menos algunos ácidos húmicos de la turba poseen actividad contra el virus herpes simple tipo I y II, con la fase más sensitiva siendo durante la adsorción de los virus a las células huésped. J. Witthauer et al. (1976) caracterizaron varios ácidos húmicos antiviralmente activos en *Sphagnum*, y extractos de *Camptothecium* que pueden inhibir el crecimiento del poliovirus. Algunos hongos son inhibidos por ciertas briófitas. Sabemos de importantes actividades antifúngicas de extractos de muchos musgos contra ciertos dermatofitos estudiados (van Hoof et al., op. cit.). *Hypnum cupressiforme* tiene claros



Figura 19. Las especies de *Atrichum*, además de tener propiedades antibacterianas, son comúnmente utilizadas en jardinería por la facilidad con que se propagan por fragmentos. Foto de Janice Glime.

efectos antibacterianos y antifúngicos.

De las más de 80 especies de musgos estudiados, T. Ichikawa (1982) & Ichikawa et al. (1983) encontraron actividad antimicrobiana en casi todos ellos. Extractos de ácidos grasos acíclicos acetilénicos y ciclofentenónicos de los musgos, inhibieron completamente el crecimiento del “hongo del quemado del arroz” *Pyricularia oryzae*.

R. D. Banerjee & S. P. Sen (1979) encontraron que el grado de actividad antibiótica en una especie dada puede depender de la edad del gametofito, y A. Matsuo et al. (1982a, 1982b, 1983) demostraron que la actividad antifúngica de la hepática *Herbertus aduncaus* era dependiente de la edad. En su estudio, sus extractos inhibieron los hongos *Botrytis cinerea*, *Pythium debaryanum* y *Rhizoctonia solani*. Ellos subsecuentemente aislaron de esta hepática tres sustancias involucradas en el envejecimiento: (-)-a-herbertenol; (-)-β-herbertenol, y (-)-a-formilherbertenol. La ausencia de enfermedades fúngicas en hepáticas condujo a R. J. Pryce (1972) a sugerir que el ácido lunulárico, una hormona del envejecimiento encontrada en hepáticas pero no en musgos, podría ser la responsable de la actividad antifúngica en hepáticas. Sin embargo, las sustancias del envejecimiento no son los únicos agentes antimicrobianos en hepáticas; Y. Asakawa et al. (1982) aislaron tres prenyl bibencilos de *Radula* spp. y demostraron que pueden inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus* a concentraciones de 20,3 µg ml⁻¹.

El uso de extractos briofíticos no es todavía un hecho. Las posibilidades de utilizar briófitas en el control de enfermedades y disfunciones son excitantes, pero el trabajo exploratorio recién ha comenzado. Hace 25 años, prácticamente nada se sabía de la bioquímica de briófitas, pero ahora es seguro que la diversidad de químicos producidos por estos morfológicamente simples organismos es fenomenal. Desafortunadamente, las sustancias biológicamente activas hasta ahora obtenidas de briófitas no han demostrado ser económicas en la práctica. Si bien su valor farmacéutico parece prometedor, carecemos del entendimiento de efectos secundarios potencialmente peligrosos.

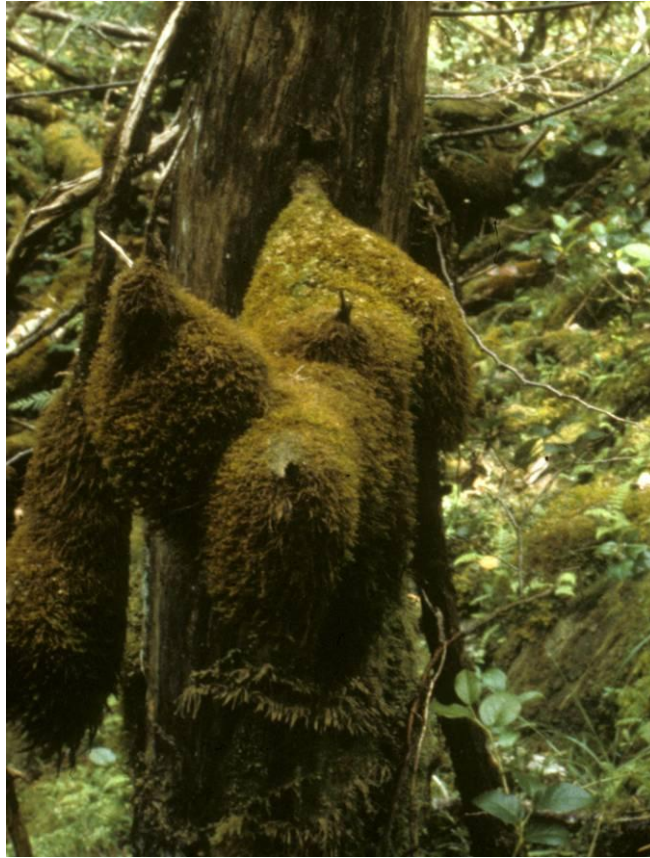


Figura 20. *Herbertus*, una hepática foliosa usada para tapar grietas, forma densos tapices en troncos de árboles en las Islas Reina Charlotte en la Columbia Británica. Foto de Janice Glime.

Propiedades antitumorales

M. Belkin et al. (1952) encontraron que extractos de *Polytrichum juniperinum* poseen actividad anticáncer contra Sarcoma 37 en ratones. Y. Ohta et al. (1977) aislaron ent-eudesmanolido, diplofilina, de *Diplophyllum albicans* y *D. taxifolium*. La diplofilina mostró actividad significativa (ED50 4–16 µg/ml) contra carcinoma epidermoide humano (cultivo celular KB). Y. Asakawa (1981, 1982b) aisló los sesquiterpenoides costunolido y tulipinolido, sustancias inhibidoras de crecimiento tumoral también conocidas en plantas vasculares, de *Conocephalum supradecompositum*, *Frullania monocera*, *F. tamarisci*, *Marchantia polymorpha*, *Porella japonica* y *Wiesnerella denudata*, a las cuales A. Matsuo et al. (1980, 1981a, 1981b, 1981c, 1981d, 1984) agregó *Lepidozia vitrea* y *Plagiochila semidecurrans*. Estas sustancias tienen actividad demostrada contra carcinoma de la nasofaringe, al menos en cultivo celular. Consecuentemente, las briófitas despertaron el interés del Instituto Nacional del Cáncer de los EE.UU., donde R. W. Spjut et al. (1986) analizaron 184 especies de musgos y 23 especies de hepáticas en busca de actividad antitumoral. Encontraron que extractos de 43 especies fueron activos, mientras que los de 75 especies fueron tóxicos para los ratones del experimento. La mayor actividad se encontró en Brachytheciaceae, Dicranaceae, Grimmiaceae, Hypnaceae, Mniaceae, Neckeraeae, Polytrichaceae y Thuidiaceae. Sin embargo, en 1988, este equipo reportó que la actividad antitumoral del musgo *Claopodium crispifolium* fue

mayor en muestras que contenían la cianobacteria *Nostoc cf. microscopicum*, y ellos sugirieron que *Nostoc* podría ser la fuente directa de la actividad observada, o que la actividad podría ser el resultado de la interacción entre las especies (Spjut et al. 1988). La interacción podría resultar de la transferencia de un precursor desde *Nostoc* hacia el musgo, con la subsecuente alteración de la sustancia activa por el musgo, o podría resultar de una respuesta alelopática del musgo a la presencia de *Nostoc*. En todo caso, esto suscita importantes e intrigantes preguntas, tanto médicas como ecológicas. Varios compuestos de hepáticas foliosas exhiben actividad antileucémica (Y. Asakawa 1981). Tanto marchantina A de *Marchantia palacea*, *M. polymorpha* y *M. tosana*, riccardina de *Riccardia multifida*, y perrottetina E de *Radula perrottetii*, todas muestran citotoxicidad contra las células KB (Asakawa et al. 1982). Preparaciones de turba se mantienen como una promesa contra ciertos tipos de cáncer humano (W. Adamek 1976).

Debe guardarse precaución respecto de los usos medicinales de las briófitas, debido al potencial de las reacciones alérgicas. *Frullania* es bien conocida por su habilidad de causar dermatitis por contacto, especialmente en trabajadores forestales (J. C. Mitchell et al. 1969), y en el sur de Europa en recolectores de aceitunas (J. Curnow, com. pers.). El compuesto activo es una lactona sesquiterpeno (Y. Asakawa 1981). D. H. Wagner (com. pers.) reporta que esta reacción puede ser causada por otras hepáticas también, incluyendo *Chiloscyphus polyanthos*; esto es especialmente un problema cuando es estrujada para remover el exceso de agua. En 1981, Asakawa y otros habían identificado 24 especies de hepáticas con lactonas sesquiterpenos potencialmente alergénicas.

Por alguna razón, el trabajo se ha concentrado en las hepáticas, quizás debido a sus peculiares aromas, pero los musgos también tienen compuestos fenólicos cuya utilidad para propósitos médicos ha sido largamente ignorada.

Fuentes de alimento

La mayoría de los ecólogos consideran a las briófitas poco importantes como fuente de alimento para los animales. En el Monte Washington, New Hampshire, los musgos tenían los valores calóricos más bajos de todas las plantas analizadas (R. T. T. Forman 1968). La ausencia de herbivoría en briófitas herborizadas fundamenta aun más esta postura. Los mismos compuestos que pueden hacer a las briófitas medicinales, les infieren un sabor desagradable. M. Mizutani (1961) se quejaba de que era necesario hacer gárgaras para librarse del sabor amargo de ciertas hepáticas, lo que no sorprende en vista de la cantidad de compuestos fenólicos presentes en una sola especie. Y. Asakawa et al. (1979) identificó y describió la fuente del sabor picante de *Porella arboris-vitae* como causada por el sesquiterpeno poligodial. No obstante, J. J. LaCroix (1996) ha demostrado que el isópodo acuático *Asellus militaris* se alimenta de *Fontinalis antipyretica* sin importar su alto contenido fenólico, al preferir poblaciones de sombra que contendrían niveles más bajos de estos compuestos.

Ocasionalmente, los ungulados ingieren musgos. Por ejemplo, los renos en Alaska ocasionalmente comen *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens* y *Polytrichum* (J. H. Bland 1971). Se han encontrado musgos en los tractos alimenticios del bisón de Mylakhchinsk (V. V. Ukraintseva et al. 1978), y un mamut lanudo prehistórico preservado en el hielo contenía *Hypnum* y *Polytrichum* en su rumen (Bland, op. cit.). En los archipiélagos del ártico canadiense, los rúmenes del caribú de Peary pueden contener hasta 58% de musgos (D. C. Thomas & J. Edmonds 1983), pero su

digestibilidad en verano es de solo un 11–35% y en invierno de un 3–11% (Thomas & P. Kroeger 1980). Es por esto poco probable que estén siendo consumidos por los animales únicamente con la finalidad de obtener nutrientes.

O. E. Jennings (1926) concluyeron que los musgos no pueden ser infectados por hongos porque éstos no poseen las enzimas necesarias para degradar las paredes celulares ni para extraer los extractos celulares; él utilizó este argumento para sugerir que una vaca no lo podría hacer mejor, puesto que los hongos son especialistas llevando a cabo estas actividades. Sin embargo hoy sabemos que existen muchos hongos que de hecho infectan briófitas (P. Döbbeler 1997; M. R. Khan et al. 1997; E. Brouwer 1999).

Las briófitas pueden ser la fuente de necesidades específicas de los animales en tiempos en que la comida fresca es escasa. Por ejemplo, *Barbella pendula* tiene un alto contenido de vitamina B12, una vitamina difícil de obtener llevando una dieta vegetariana estricta. Cuando se administra a cachorros y a pollos, no causa efectos secundarios observables (S. Sugawa 1960). Los criaderos de cerdos sacan ventaja de las propiedades únicas de *Sphagnum* para la administración de vitaminas en animales. Los lechones son frecuentemente anémicos, y se les da como alimento *Sphagnum* molido, usado como un aglutinante para hierro y vitaminas.

Dado esto, no es sorprendente que la herviboría sobre musgos aumente en los climas del norte. Un beneficio puede ser la presencia de grandes cantidades de ácido araquidónico en briófitas, especialmente a más bajas temperaturas (R. H. Al-Hasan et al. 1989). Este ácido graso tiene mayor solubilidad a bajas temperaturas (punto de fusión - 49.5° C) que otros ácidos grasos y puede ser usado para reemplazar los ácidos grasos de membrana durante el invierno para mantener las membranas flexibles. H. H. T. Prins (1981) sugirió que podrían mantener las bases de las patas de los ratones árticos y “lemmings” sin congelarse.

Uno no esperaría que un grupo de plantas con propiedades insecticidas fuera común en una feria de productos alimenticios. Los chinos consideran los musgos como un alimento de hambruna (J. H. Bland 1971). Por otra parte, el único uso directo de briófitas como alimento humano es aquel de los pobladores de Laponia que alguna vez utilizaron *Sphagnum* como un ingrediente en la elaboración de pan (Bland, op. cit.). Aunque el musgo en si mismo no es comido, *Sphagnum* contribuye en el sabor del whisky escocés. Turba y carbón de coque son quemados en hornos bajo pantallas conteniendo brotes de cebada malteada, y este sabor picante persiste a lo largo del subsecuente proceso de destilación (N. G. Miller 1981).

En los Himalayas, los indios kumaun usan briófitas esbeltas como *Anomodon*, *Entodon*, *Hypnum*, *Meteoriopsis*, *Herbertus* y *Scapania* envueltas en un cono de hojas de *Rhododendron campanulatum*, para servir como filtro para fumar tabaco (G. B. Pant & S. D. Tewari 1989).

En China las briófitas son críticas en la industria de las agallas chinas. Las agallas no sólo son una exquisitez, sino una importante medicina analgésica, antiséptica, antidiarreica, expectorante, astringente y usadas también como conservantes (Min L. Y. & R. E. Longton 1993), y en la industria, como una fuente de ácido tánico. Los áfidos de las agallas, *Schlechtendalia chinensis*, invernan en los musgos, especialmente en especies de *Plagiomnium*, antes de migrar a las hojas de *Rhus javanica* para hacer sus agallas (Y. Horikawa 1947; Wu P. C. 1982). En Japón, G. Takagi (1937) aconsejaba que un incremento en la cantidad de los musgos adecuados, aumentaría la

producción de agallas. Ahora los chinos crían los áfidos usando musgos, con métodos agrícolas (Tang C. 1976). Pero en Yunnan, el árbol huésped no crece bien en los mismos sitios que lo hace el principal musgo huésped, *P. maximoviczii*, por lo que los chinos están tratando de aumentar el crecimiento de este musgo cerca de los árboles. En ciertas áreas, se colocan macetas con los musgos bajo los árboles de *Rhus* por varias semanas mientras los áfidos que migran en otoño retornan y los localizan, para así pasar el invierno protegidos allí (Min & Longton, op. cit.). En abril, el musgo es sacado de las macetas y replantado bajo los árboles. Mientras tanto, se coloca tierra fresca en las macetas junto con restos de los musgos, cuyos fragmentos tienen la habilidad de regenerar nuevas plantas para octubre. Los áfidos dependen del musgo en cuanto es el alimento de las larvas jóvenes.

Tan delicadas interacciones ecológicas dominan en el planeta, las que incluyen tanto medicinas para el hombre y alimentos de emergencia críticos para mamíferos y aves silvestres, como sitios de protección y anidamiento para una incontable cantidad de insectos, anfibios, y otras criaturas. Seguramente muchas interesantes sorpresas esperan a la ciencia, dado que recién hoy comenzamos a entender el rol de las briófitas en este complejo mundo.

Ingeniería genética

Algunos de los más interesantes usos de los musgos están recién emergiendo. Con las habilidades de la ingeniería genética moderna, es hoy teóricamente posible manipular el genoma de las plantas para dotarlas de atributos deseables para el ser humano. Mientras las briófitas en sí mismas presentan aplicaciones limitadas, su habilidad para sobrevivir a la desecación y volver a estar funcionales en tan sólo 24 horas ha inspirado la imaginación de los agricultores (D. Comis 1992; P. Hoffman 1992). No solo eso, investigaciones actuales revelan cómo las briófitas pueden sobrellevar el congelamiento mientras permanecen hidratadas, sin perder la capacidad de recuperarse casi instantáneamente (D. Rütten & K. A. Santarius 1992). M. J. Oliver y colaboradores, trabajando en el Departamento de Agricultura de los EE.UU. en Lubbock, Texas, han aislado varios genes específicos para la recuperación de gametofitos de musgos deshidratados (H. B. Scott & M. J. Oliver 1994). Su grupo tiene la esperanza de que las hojas de plantas de cultivo puedan adquirir la

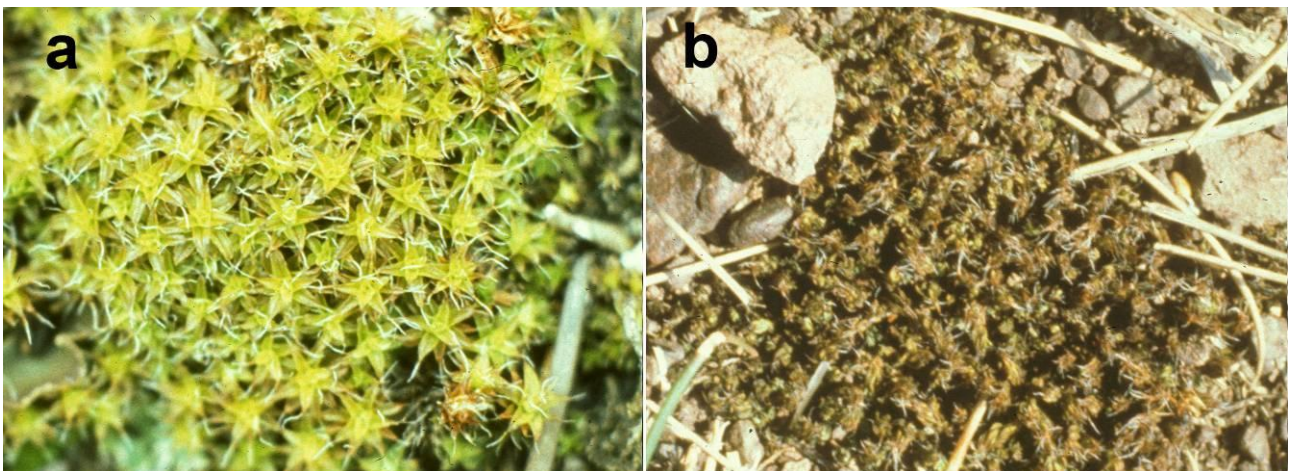


Figura 21. *Syntrichia ruralis* húmeda (a) y seca (b), un musgo usado en ingeniería genética para conferir a otras plantas resistencia a la desecación. Foto de Janice Glime.

capacidad de sobrellevar la sequía, o más particularmente, recuperarse del daño causado por la desecación. El mejor candidato para esto es el musgo tolerante a la desecación *Syntrichia ruralis*, siendo el más evidente receptor vascular la planta de tabaco (Comis, op. cit.).

Incluso más excitante es el uso del pequeño musgo *Physcomitrella patens* para producir proteínas humanas (A. Hohe et al. 2002). Los musgos, y en particular éste, tienen una alta frecuencia de recombinación homóloga. Por esto, presenta una estable integración de los genes insertados. *Physcomitrella patens* es la única planta que está siendo utilizada para producir el factor coagulante de sangre IX con fines farmacéuticos (<http://www.greenovation.com/>). Los musgos son cultivados en un biorreactor donde sólo agua, minerales, CO₂ y luz son necesarios para mantener el sistema activo. El musgo presenta la ventaja de no necesitar antibióticos durante el cultivo, evitando la contaminación del producto final. Su pequeño tamaño permite cultivarlos en el laboratorio, reduciendo la posibilidad de escape a la naturaleza de las plantas transgénicas.

A lo largo de su larga historia evolutiva, las briófitas han adquirido un arreglo fisiológico que podría un día probar ser una fuente sustancial de medicinas humanas o proveer un banco de genes para sintetizar proteínas, enzimas, azúcares, o ácidos grasos que permitan a las plantas de cultivo sobrevivir a la sequía, al frío o a las infecciones más diversas. Mientras su valor económico a la fecha ha sido limitado, hay indicios de excitantes nuevos usos para las briófitas en el futuro cercano.

Agradecimientos

Janice Glime agradece a los suscriptores de Bryonet, quienes compartieron sus experiencias en los usos de las briófitas con ella, particularmente aquellos que aportaron con fotografías. Marshall Crosby aportó con una extensiva búsqueda bibliográfica. Johannes Enroth envió un par de plantillas rellenas con *Sphagnum*. Helene Bishler aportó con algunas de las fotografías.

Juan Larraín agradece a Janice Glime la autorización para traducir su interesante artículo, y al Comité Ejecutivo de la Asociación de la Flora de Norteamérica por los permisos otorgados para traducir y distribuir este trabajo.

Literatura Citada

- Adamek, W. 1976. Introductory report on oncostatic and therapeutic nature of the peat preparation in human neoplastic disease. In: Proc. 5th Internat. Peat Congr., Poznań, Poland, Vol. 1. Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection. Pp. 417–429.
- Adams, J. E., W. M. Dion & S. Reilly. 1982. Sporotrichosis due to contact with contaminated *Sphagnum* moss. Can. Med. Assoc. J. 126: 1071–1073.
- Adderley, L. 1964. Two species of moss as culture media for orchids. Amer. Orchid Soc. Bull. 34: 967–968.
- Al-Hasan, R. H., W. E. El-Saadawi, A. M. Ali & S. S. Radwan. 1989. Arachidonic and eicosapentaenoic acids in lipids of *Bryum bicolor* Dicks. Effects of controlled temperature and illumination. Bryologist 92: 178–182.
- Allen, B. H. & M. R. Crosby. 1987. *Pseudoscleropodium purum* re-established in South America. J. Bryol. 14: 523–525.

- Allorge, P. 1937. Analyse bryologique de métaux. Rev. Bryol. Lichenol. 10: 93.
- Ando, H. 1957. Notes on useful bryophytes. Bull. Biol. Soc. Hiroshima Univ. 7(2): 23–26.
- Ando, H. 1972. Uses of bryophytes seen in Europe. Proc. Bryol. Soc. Jap. 1: 25.
- Ando, H. 1983. Use of bryophytes in China 2. Mosses indispensable to the production of Chinese gallnuts. Proc. Bryol. Soc. Jap. 3: 124–125.
- Ando, H. and A. Matsuo. 1984. Applied bryology. In: W. Schultze-Motel, ed. 1984. Advances in Bryology, Vol. 2. Pp. 133–224.
- Arnold, F. 1982. Zur Lichenflora von München. Ber. Bayer. Bot. Ges. 76 Pp.
- Arzeni, C. B. 1963. Octoblepharum as a seedling medium. Econ. Bot. 17: 10–15.
- Asakawa, Y. 1981. Biologically active substances obtained from bryophytes. J. Hattori Bot. Lab. 50: 123–142.
- Asakawa, Y. 1982a. Chemical constituents of the Hepaticae. Prog. Chem. Org. Natur. Prod. 42: 1–285.
- Asakawa, Y. 1982b. Terpenoids and aromatic compounds as chemosystematic indicators in Hepaticae and Anthocerotae. J. Hattori Bot. Lab. 53: 283–293.
- Asakawa, Y. 1988. Separation and isolation of terpenoids from liverworts and their analysis by thin layer and gas chromatography. In: J. M. Glime, ed. Methods in Bryology. Hattori Botanical Laboratory. Nichinan, Miyazaki, Japan. Pp. 157–163.
- Asakawa, Y. 1990. Terpenoids and aromatic compounds with pharmacological activity from bryophytes. In: H. D. Zinsmeister. and R. Mues, eds. Bryophytes, Their Chemistry and Chemical Taxonomy. Proceedings of the Phytochemical Society of Europe 29. Oxford. Pp. 369–410.
- Asakawa, Y. 2001. Recent advances in phytochemistry of bryophytes—acetogenins, terpenoids and bis(bibenzyl)s from selected Japanese, Taiwanese, New Zealand, Argentinean and European liverworts. Phytochemistry 56: 297–312.
- Asakawa, Y. & E. O. Campbell. 1982. Terpenoids and bibenzyls from some New Zealand liverworts. Phytochemistry 21: 2663–2667.
- Asakawa, Y., S. Huneck, M. Toyota, T. Takemoto & C. Suire. 1979. Mono- and sesquiterpenes from *Porella arboris-vitae*. J. Hattori Bot. Lab. 46: 163–167.
- Asakawa, Y., M. Toyota, T. Takemoto, H. Fujiki & T. Sugimura. 1980a. Biologically active substances isolated from liverworts. Planta Medica 39: 233.
- Asakawa, Y., M. Toyota, T. Takemoto, I. Kubo & K. Nakanishi. 1980b. Insect antifeedant secoaromadendrane-type sesquiterpenes from *Plagiochila* species. Phytochemistry 19: 2147–2154.
- Asakawa, Y., M. Toyota, Z. Taira & T. Takemoto. 1982. Biologically active cyclic bisbenzyls and terpenoids isolated from liverworts. 25th Symposium on Chemistry of Natural Products. Symposium Papers. Pp. 337–344.
- Asplund, D., E. Ekman & R. Thun. 1976. Counter-current peat filtration of waste water. In: Proc. 5th Internat. Peat Congr., Poznań, Poland, Vol. 1. Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection. Pp. 358–371.
- Atkinson, T. 1990. Even a rolling stone could get some moss here. Horticulture, July: 7.
- Banerjee, R. D. 1974. Studies on Antibiotic Activity of Bryophytes and Pteridophytes. Ph. D. thesis. University of Kalyani, Kalyani, India.
- Banerjee, R. D. & S. P. Sen. 1979. Antibiotic activity of bryophytes. Bryologist 82: 141–153.
- Barkman, J. J. 1958. Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes. Assen, Netherlands. 628 Pp.
- Barkman, J. J. 1969. The influence of air pollution on bryophytes and lichens. In: Air Pollution.

- Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Center for Agriculture Publishing and Documentation. Wageningen, Netherlands. Pp. 197–209.
- Beever, J. E. & J. E. Gresson. 1995. *Polytrichum commune* Hedw. and *Polytrichadelphus magellanicus* (Hedw.) Mitt. used as decorative material on New Zealand Maori cloaks. J. Bryol. 18: 819–823.
- Belcik, F. P. & N. Wiegner. 1980. Antimicrobial activities or antibiosis of certain eastern U.S. liverwort, lichen and moss extracts. J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 96: 94.
- Belkin, M., D. B. Fitzgerald & M. D. Felix. 1952–1953. Tumor-damaging capacity of plant materials. II. Plants used as diuretics. J. Nat. Cancer Inst. 13: 741–744.
- Belsky, J. 1982. Diesel oil spill in a subalpine meadow: 9 Years of recovery. Can. J. Bot. 60: 906–910.
- Benl, G. 1958. Java moss for decoration and as a spawning medium—a useful aquatic plant which has yet to be seen in Britain. Fish Keeping, Nov.: 655.
- Bernier, P. Y. 1992. Soil texture influences seedling water stress in more ways than one. Tree Planter's Notes 43: 39–42.
- Bernier, P. Y., J. D. Stewart & A. Gonzalez. 1995. Effects of the physical properties of *Sphagnum* peat on water stress in containerized *Picea mariana* seedlings under simulated field conditions. Scand. J. Forest Res. 10: 184–189.
- Bewley, J. D. 1974. Protein synthesis and polyribosome stability upon desiccation of the aquatic moss *Hygrohypnum luridum*. Can. J. Bot. 52: 423–427.
- Bewley, J. D. 1979. Physiological aspects of desiccation tolerance. Ann. Rev. Plant Physiol. 30: 195–238.
- Biernacka, E. 1976. Peat effect on the recultivation of ash dumps from brown and hard coal. In: Proc. 5th Internat. Peat Congr. Poznań, Poland, Vol. 1. Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection. Pp. 397–412.
- Birks, H. J. B. 1982. Quaternary bryophyte palaeo-ecology. In: A. J. E. Smith, ed. 1982. Bryophyte Ecology. New York. Pp. 473–490.
- Black, D., ed. 1979. Carl Linnaeus, Travels. New York. 108 Pp.
- Bland, J. 1971. Forests of Lilliput. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N. J. 210 Pp.
- Boffey, P. H. 1975. Energy: Plan to use peat as fuel stirs concern in Minnesota. Science 190: 1066–1070.
- Bogdanov, P. L. 1963. Liming as a method of combating mosses in forest stands on moss-covered felled areas and drained swamps. In: The Increase of Productivity of Swamped Forests, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 49: 116–124.
- Bond, T. E. T. 1976. *Polytrichum* spp. in an apple orchard on herbicide-treated soil. Proc. Brit. Nat. Soc. 35: 69–73.
- Bosley, A., R. Petersen & J. Rebbeck. 1998. The resistance of the moss *Polytrichum commune* to acute exposure of simulated acid rain or ozone compared to two fern species: Spore germination. Bryologist 101: 512–518.
- Bowden, W. B., J. C. Finlay & P. E. Maloney. 1994. Long-term effects of PO₄ fertilization on the distribution of bryophytes in an arctic river. Freshwat. Biol. 32: 445–454.
- Briggs, D. 1972. Population differentiation in *Marchantia polymorpha* L. in various lead pollution levels. Nature 238: 166–167.
- Brinkman, A. H. 1929. Hepatics and sites: A short study in the ecology of hepatics. Bryologist 32: 29–30.
- Brooks, R. R. 1972. Bryophytes as a guide to mineralisation. N. Zeal. J. Bot. 9: 674–677.

- Brouwer, E. 1999. Mosschijfjes (Lamprospora en Octospora): Voorkomen en verspreiding in Nederland. *Coolia* 42: 2–20.
- Brown, J. L. & R. S. Farnham. 1976. Use of peat for wastewater filtration—Principles and methods. In: Proc. 5th Internat. Peat Congr. Poznań, Poland, Vol. 1. Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection.
- Brown, R. T. 1967. Influence of naturally occurring compounds on germination and growth of Jack pine. *Ecology* 48: 542–546.
- Cajander, A. K. 1926. The theory of forest types. *Acta Forest. Fenn.* 29: 1–108.
- Carter, L. J. 1978. Peat for fuel: Development pushed by big corporate farm in Carolina. *Science* 199: 33–34.
- Case, R. 1994. A case for the Great Lakes *Sphagnum* bog garden. *Wildflower*, winter: 30.
- Chapman, S., A. Buttler, A.-J. Francez, F. Laggoun-Défarge, H. Vasander, M. Schloter, J. Combe, P. Grosvernier, H. Harms, D. Epron, D. Gilbert & E. Mitchell. 2003. Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: a conflict between economy and ecology. *Front. Ecol. Environ.* 1: 525–532.
- Clarke, C. H. 1902. Bryological millinery. *Bryologist* 5: 77–78.
- Clymo, R. S. 1963. Ion exchange in *Sphagnum* and its relation to bog ecology. *Ann. Bot. (London)*, New Ser. 27: 309–324.
- Clymo, R. S. 1987. The ecology of peatlands. *Sci. Prog. Oxford* 71: 593–614.
- Comis, D. 1992. Miracle moss: Add water and watch it grow. *Agricultural Research*, June: 10–11.
- Conard, H. S. 1935. Mosses and soil erosion. *Iowa State Coll. J. Sci.* 9: 347–351.
- Cook, C. D. K., B. J. Gut, E. M. Rix, J. Schneller & M. Seitz. 1974. *Water plants of the World. A Manual for the Identification of the Genera of Fresh Water Macrophytes.* The Hague. viii + 561 Pp.
- Coupal, B. & J. M. Lalancette. 1976. The treatment of waste water with peat moss. *Water Res.* 10: 1071–1076.
- Cox, R. L. & A. H. Westing. 1963. The effect of peat-moss extracts on seed germination. *Proc. Indiana Acad. Sci.* 73: 113–115.
- Cross, J. R. 1981. The establishment of *Rhododendron ponticum* in the Killarney Oakwoods, S. W. Ireland. *J. Ecol.* 69: 807–824.
- Crum, H. 1973. Mosses of the Great Lakes Forest. *Contributions from the University of Michigan Herbarium* 10: 404 Pp.
- Crum, H. 1988. *A focus on Peatlands and Peat mosses.* University of Michigan Press, Ann Arbor. 306 Pp.
- Crump, D. R. & P. J. Barlow. 1980. A field method of assessing lead uptake by plants. *Sci. Tot. Environ.* 15: 269–274.
- D'Alessio, D. J., L. J. Leavens, G. B. Strumpf & C. D. Smith. 1965. An outbreak of sporotrichosis in Vermont associated with *Sphagnum* moss as the source of infection. *New England J. Med.* 272: 1054–1058.
- D'Hennezel, F. & B. Coupal. 1972. Peat moss: A natural absorbant for oil spills. *CIM Bull.* 65(717): 51–53.
- Dale, T. M., M. L. Skotnicki, K. D. Adam & P. M. Selkirk. 1999. Genetic diversity in the moss *Hennediella heimii* in Miers Valley, southern Victoria Land, Antarctica. *Polar Biol.* 21: 228–233.
- Davidson, A. J., J. B. Harborne & R. E. Longton. 1989. Identification of hydroxycinnamic and phenolic acids in *Mnium hornum* and *Brachythecium rutabulum* and their possible role in protection against herbivory. *J. Hattori Bot. Lab.* 67: 415–422.

- Dickson, J. H. 1967. *Pseudoscleropodium purum* (Limpr.) Fleisch. on St. Helena and its arrival on Tristan da Cunha. *Bryologist* 70: 267–268.
- Dickson, J. H. 1973. Bryophytes of the Pleistocene. The British Record and its chorological and ecological Implications. Cambridge. Pp. 192–195.
- Dickson, J. H. 1981. Bryological Notes: Mosses from a Roman well at Abingdon. *J. Bryol.* 11: 559–562.
- Dierssen, K. 1973. Moosgesellschaften auf Isländischen torfböden und ihre abhängigkeit vom wasser- und nährstoffhaushalt. Ber. aus der Forsc. Nedri As, Hveragerdi, Island 13: 1–29.
- Dilks, T. J. K. & M. C. F. Proctor. 1976. Effects of intermittent desiccation on bryophytes. *J. Bryol.* 9: 249–264.
- Dillenius, J. J. 1741. *Historica muscorum in qua circiter sexcentae species veteres et novea ad sua genera relatae describuntur et Iconibus genuinis illustrantur: Cum appendice et indice synonymorum.* Oxonii. 578 Pp.
- Döbbeler, P. 1997. Biodiversity of bryophilous Ascomycetes. Symposium on Mycology: Past, Present and Future, at British Mycological Society Symposium Sheffield, UK, Apr 1996. *Biodiversity and Conservation* 6: 721–738.
- Drlica, K. 1982. A burning question. *Garden* 6(6): 26–29.
- During, H. J. 1990. The bryophytes of calcareous grasslands. In: S. H. Hillier et al., eds. 1990. *Calcareous Grasslands—Ecology and Management, Proceedings of a Joint British Ecological Society/Nature Conservancy Council Symposium, University of Sheffield.* Bluntisham Books. Huntingdon, UK. Pp. 35–40.
- Ellis, V. L. 1992. Mosses in the garden. *Washington Park Arboretum Bull.* 55(3): 24–25.
- Epstein, B. 1988. Inside the invisible moss industry. *Milwaukee Journal*, Jan. 4, 1988.
- Equihua, M. & M. B. Usher. 1993. Impact of carpets of the invasive moss *Campylopus introflexus* on *Calluna vulgaris* regeneration. *J. Ecol.* 81: 359–365.
- Erdman, J. A. & P. J. Modreski. 1984. Copper and cobalt in aquatic mosses and stream sediments from the Idaho Cobalt Belt. *J. Geochem. Explor.* 20: 75–84.
- Ferguson, P. & J. A. Lee. 1978. Effects of sulphur pollutants on the growth of *Sphagnum* species. *Environ. Pollut.* 16: 151–162.
- Fischer, W., G. Schlunbaum & R. Kadner. 1968. Cation exchange capacities of peat investigated by means of pH titrations, KI/KIO₃, CuSO₄ and methylene blue. In: R. A. Robertson, ed.. *Trans. Second International Peat Congress, Leningrad, 1963.* Her Majesty's Stationery Office. Edinburgh. Pp. 985–997.
- Flowers, S. 1957. Ethnobryology of the Gosuite Indians of Utah. *Bryologist* 60: 11–14.
- Forman, R. T. T. 1968. Caloric values of bryophytes. *Bryologist* 71: 344–347.
- Frahm, J.-P. 1976. Weitere Toxizitätsversuche an Wassermoosen. *Gewässer und Abwässer* 60/61: 113–123.
- Frankel, E. H. & D. F. Frankel. 1982. Sporotrichosis of the abdomen. *Cutis* 29: 189–190.
- Frye, T. C. 1920. Notes on useful and harmful mosses. *Bryologist* 23: 71.
- Fukushima, T. 1979a. Koke kwaraban (Moss Newsletters) 1(1): 6 Pp.
- Fukushima, T. 1979b. Koke kwaraban (Moss Newsletters) 1(2): 6 Pp.
- Fukushima, T. 1980. Koke kwaraban (Moss Newsletters) 2(3): 6 Pp.
- Gagnon, Z. E. & D. F. Karnosky. 1992. Physiological response of three species of *Sphagnum* to ozone exposure. *J. Bryol.* 17: 81–91.
- Gates, F. C. 1930. Aspen association in northern lower Michigan. *Bot. Gaz.* 90: 233–259.
- Gehrke, C. 1998. Effects of enhanced UV-B radiation on production-related properties of a *Sphagnum fuscum* dominated subarctic bog. *Funct. Ecol.* 12: 940–947.

- Gehrke, C. 1999. Impacts of enhanced ultraviolet-B radiation on mosses in a subarctic heath ecosystem. *Ecology* 80: 1844–1851.
- Gerritson, W. 1928. A platter of mosses. *Bryologist* 31: 106–107.
- Gilbert, O. L. 1967. Bryophytes as indicators of air pollution. Winter and Annual General Meeting of British Ecological Society. 4-6 Jan. 1977. *J. Ecol.* 55: 56–57.
- Gilbert, O. L. 1968. Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne valley. *New Phytol.* 67: 15–30.
- Gilbert, O. L. 1969. The effects of SO₂ on lichens and bryophytes around Newcastle upon Tyne. In: *Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*. Wageningen, Netherlands. Pp. 223–233.
- Gilbert, O. L. 1989. *The Ecology of Urban Habitats*. London. 369 Pp.
- Gillis, C. 1991. Making a moss garden, an innovative treatment for shady, moist sites. *Fine Gardening*, September/October: 49–51.
- Glime, J. M. & R. E. Keen. 1984. The importance of bryophytes in a man-centered world. *J. Hattori Bot. Lab* 55: 133–146.
- Glime, J. M. & D. Saxena. 1991. *Uses of Bryophytes*. New Delhi. 100 Pp.
- Gordon, A. G. & E. Gorham. 1963. Ecological aspects of air pollution from an iron-sintering plant in Wawa, Ontario. *Can. J. Bot.* 41: 1063–1078.
- Granhall, U. & A. V. Hofstom. 1976. Nitrogenase activity in relation to intracellular organisms in *Sphagnum* mosses. *Physiol. Plant.* 36: 88–94.
- Granhall, U. & T. Lindberg. 1978. Nitrogen fixation in some coniferous forest ecosystems. In: U. Granhall, ed. 1978. *Environmental Role of Nitrogen-fixing Blue-green Algae and Asymbiotic Bacteria*. *Ecol. Bull.* 26 Stockholm.
- Granhall, U. & H. Selander. 1973. Nitrogen fixation in a subarctic mire. *Oikos* 24: 8–15.
- Greenovation, revisado 24 enero 2003 en http://www.greenovation.com/Projects_Production.htm.
- Greven, H. C. 1992. Changes in the Dutch Bryophyte Flora and Air Pollution. *Dissertationes Botanicae* 194. Berlin. 237 Pp.
- Grosse-Brauckmann, G. 1979. Major plant remains of moor profiles from the area of a stone-age lakeshore settlement on Lake Duemmer, West Germany. *Phytocoenologia* 6: 106–117.
- Grossnickle, S. C. & T. J. Blake. 1986. Environmental and physiological control of needle conductance for bare-root black spruce, white spruce, and jack pine seedlings on boreal cutover sites. *Can. J. Bot.* 64: 943–949.
- Grout, A. J. 1902. Note. *Bryologist* 5: 78.
- Grout, A. J. 1931. Mosses in landscape gardening. *Bryologist* 34: 64.
- Gulabani, A. 1974. Bryophytes as economic plants. *Botanica* 14: 73–75.
- Gupta, K. G. & B. Singh. 1971. Occurrence of antibacterial activity in moss extracts. *Res. Bull. Punjab Univ.* 22: 237–239.
- Gupta, R. K. 1977. A study of photosynthesis and leakage of solutes in relation to the desiccation effects in bryophytes. *Can. J. Bot.* 55: 1186–1194.
- Haglund, W. A., K. W. Russell & R. C. Holland. 1981. Moss control in container-grown conifer seedlings. Combination of X77surfactant and Captan 50W. *Tree Planter's Notes*, United States Forest Service 32(3): 27–29.
- Harper, K. T. & J. R. Marble. 1988. Chapt. 7. A role for nonvascular plants in management of arid and semiarid rangelands. In: P. T. Tueller, ed. *Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management*. Boston. Pp. 135–169.
- Harrington, A. J. 1985. Mosses by the skinful. In: P. J. Wanstall. *Abstracts of the Exhibits at the Conversazione*. R. E. Longton and A. R. Perry, eds. BBS special vol. no. 1, p. 76.

- Hart, J. A. 1981. The ethnobotany of the northern Cheyenne Indians of Montana. *J. Ethnopharma* 4: 1–55, 8 append.
- Hawksworth, D. L. & F. Rose. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichen. *Nature* 227: 145–148.
- Hayashi, S., T. Kami, A. Matsuo, H. Ando & T. Seki. 1977. The smell of liverworts. *Proc. Bryol. Soc. Jap.* 2: 38–40.
- Hébrard, J. Y., L. Foulquier & A. Grauby. 1972. L'utilisation d'une mousse terrestre (*Grimmia orbicularis* Bruch) comme indicateur de la présence de manganèse 54, de caesium 137 et de strontium 90. *Radioprotection* 7(3): 159–177.
- Hedenäs, L. 1991. Ekonomisk bryologien översikt över mossornas praktiska användbarhet. *Svensk Bot. Tidskr.* 85: 347–354.
- Heikkilä, R. & T. Lindholm. 2000. Conservation of the biodiversity of mires in Finland. In: L. Rochefort and J. Y. Daigle, eds. *Proceedings of the 11th International Peat Congress. Vol. 2. August 6–12, 2000. Edmonton, Canada. Canadian Society of Peat and Peatlands & International Peat Society.* Pp. 1038–1043.
- Hinrichsen, D. 1981. Peat power: Back to bogs. *Ambio* 10: 240–242.
- Hoffman, P., ed. 1992. Born-again Moss. *Discover* 13(9): 12.
- Hohe, A., E. L. Decker, G. Gorr, G. Schween & R. Reski. 2002. Tight control of growth and cell differentiation in photoautotrophically growing moss (*Physcomitrella patens*) bioreactor cultures. *Plant Cell Rept.* 20: 1135–1140.
- Hoof, L. van, D. A. Vanden Berghe, E. Petit & A. J. Vlietnick. 1981. Antimicrobial and antiviral screening of Bryophyta. *Fitoterapia* 52: 223–229.
- Horikawa, Y. 1947. A study of the gallnut. *Seibutsukai* 1(3): 106–110.
- Horikawa, Y. 1952. The amount of water absorption by some mosses. *Hikobia* 1: 150.
- Horne, P. & R. R. Ireland. 1991. Moss and a Guanche mummy: An unusual utilization. *Bryologist* 94: 407–408.
- Hotson, J. W. 1918. *Sphagnum* as a surgical dressing. *Science, N.S.* 48: 203–208.
- Hotson, J. W. 1919. *Sphagnum* from bog to bandage. *Puget Sound Biol. St. Bull.* 2: 211–247.
- Hotson, J. W. 1921. *Sphagnum* used as a surgical dressing in Germany during the world war. *Bryologist* 24: 74–78, 89–96.
- Hu, R. 1987. *Bryology*. Beijing, China. 465 Pp.
- Hyvönen, J. 1990. Bryophyte illustrated on a coin. *Bryologist* 93: 256.
- Ichikawa, T. 1982. Biologically active substances in mosses. *Bryon (Kanagawa koke no kai)* 2: 1–2.
- Ichikawa, T., M. Namikawa, K. Yamada, K. Sakai & K. Kondo. 1983. Novel cyclopentenonyl fatty acids from mosses, *Dicranum scoparium* and *Dicranum japonicum*. *Tetrahedron Lett.* 24: 3327–3340.
- Ijiri, S. & M. Minato. 1965. *Chikyu no Rekishi [History of the Earth]. (index).* Iwanami Shinsho 554. Tokyo. 211 Pp. + 4 Pp.
- Inoue, H., ed. 1980. *Koke engei no subete [All about the moss horticulture]*. Tokyo. 215 Pp.
- Ishikawa, I. 1974. Bryophyta in Japanese gardens (2). *Hikobia* 7: 65–78.
- Isoe, S. 1983. Terpene diols. Biological activity and synthetic study. 48th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan. *Proceedings Papers II.* Pp. 849–850.
- Iwatsuki, Z. & H. Inoue. 1971. *Dare nimo wakaruru koke no subete. [All about bryophytes]*. Nat. Sci. Mus. Tokyo. 143 Pp.
- Iwatsuki, Z. & T. Kodama. 1961. Mosses in Japanese gardens. *Econ. Bot.* 15: 264–269.
- Janssens, J. A. 1988. Fossil bryophytes and paleoenvironmental reconstruction of peatlands. In: J. M. Glime, ed. 1988. *Methods in Bryology*. Nichinan, Miyazaki, Japan. Pp. 299–306.

- Jennings, O. E. 1926. Mosses immune to molds. *Bryologist* 29: 75–76.
- Johnson Gottesfeld, L. M. & D. H. Vitt. 1996. The selection of *Sphagnum* for diapers by indigenous North Americans. *Evansia* 13: 103–108.
- Kawamoto, T. 1980. *Saikei: Living Landscapes in Miniature*. Tokyo. 133 Pp.
- Keizer, P. J., B. F. Van Tooren & H. J. During. 1985. Effects of bryophytes on seedling emergence and establishment of short-lived forbs in chalk grassland. *J. Ecol.* 73: 493–504.
- Khan, M. R., S. M. Imamual Huq & M. Hasanuzzaman. 1997. Moss rhizosphere and its microflora. *Bangladesh J. Bot.* 26: 163–168.
- Kirschbaum, U., R. Klee & L. Steubing. 1971. Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt/M. Staub-Reinhalt. Luft. 31: 21–24.
- Klinger, L. F., S. A. Elias, V. M. Behan-Pelletier & N. E. Williams. 1990. The bog climax hypothesis: Fossil arthropod and stratigraphic evidence in peat sections from southeast Alaska, USA. *Holarctic Ecol.* 13: 72–80.
- Klößing, R., K.-D. Thiel & M. Sprössig. 1976. Antiviral activity of humic acids from peat water. In: *Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection*. Proc. 5th Internat. Peat Congr. Poznań, Poland, Vol. 1. Pp. 446–455.
- Knight, D. 1991. Growing threats to peat. *New Sci.* 1780: 27–32.
- Kulikov, N. V., N. V. Bochenina & I. V. Molchanova. 1976. Characteristics of accumulation of Strontium-90 and Cesium-137 by certain species of moss. *Soviet J. Ecol.* Pp. 552–554. [Translated from *Ekologiya* 6: 82–85.]
- LaCroix, J. J. 1996. Phenolics from *Fontinalis antipyretica* Hedw. and light as causes of differential distribution of *Asellus militaris* Hay in Gooseneck Creek. Unpublished M. S. Thesis, Michigan Technological University, Houghton, MI. 47 Pp.
- LeBlanc, F. 1969. Epiphytes and air pollution. In: *Air Pollution. Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*. Wageningen, Netherlands. Pp. 211–221.
- LeBlanc, F. & D. N. Rao. 1973. Effects of sulphur dioxide on lichen and moss transplants. *Ecology* 54: 612–617.
- LeBlanc, F., G. Comeau & D. N. Rao. 1971. Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses. *Can. J. Bot.* 49: 1691–1698.
- LeBlanc, F., D. N. Rao & G. Comeau. 1972. The epiphytic vegetation of *Populus balsamifera* and its significance as an air pollution indicator in Sudbury, Ontario. *Can. J. Bot.* 50: 519–528.
- Lee, C. K. & K. S. Low. 1987. The removal of cationic dyes by a natural moss: I. Adsorption studies. *Pertanika* 10: 327–334.
- Lee, J. A., S. J. M. Caporn, J. Carroll, J. P. Foot, D. Johnson, L. Potter & A. F. S. Taylor. 1998. Effects of ozone and atmospheric nitrogen deposition on bryophytes. In: J. W. Bates, N. W. Ashton, and J. G. Duckett, J. G., eds. *Bryology for the Twenty-first Century*. 1998. The Centenary Symposium of the British Bryological Society. Maney Publishing and the British Bryological Society, UK. Pp. 331–341.
- Lewis, M. 1981. Human uses of bryophytes I. Use of mosses for chinking log structures in Alaska. *Bryologist* 84: 571–572.
- Liao, P. H., A. T. Vizcarra, A. Chen & K. V. Lo. 1995. A comparison of different bulking agents for the composting of fish offal. *Compost Sci. Utilization*, Spring: 80–86.
- Limpricht, K. G. 1895. Die Laubmoose Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz. III. In: L. Rabenhorst, ed. 1895. *Kryptogamen Flora*. Leipzig.
- Lindstrom, O. 1980. The technology of peat. *Ambio* 9: 309–313.
- Low, K. S., C. K. Lee, S. T. Loi & A. Phoon. 1985. The use of the moss, *Calymperes delessertii*

- Besch., as a bioindicator to airborne heavy metals. *Pertanika* 8: 109–114.
- Lundstrom, H. 1968. Luftfororenings inverkan på epifytfloran hos barrtrad i Stockholmsområdet. *Stud. Forest. Suec.* 56: 1–55.
- Madsen, G. C. & A. L. Pates. 1952. Occurrence of antimicrobial substances in chlorophyllose plants growing in Florida. *Bot. Gaz.* 113: 293–300.
- Manzoku, T. 1963. *Seibutsuki*. [Stories of Animals and Plants; partial Japanese version of E. H. Haeckel, ed. 1912. *Dier Wunder der Natur*.] Tokyo. 262 Pp.
- Markert, B. & V. Weckert. 1989. Use of *Polytrichum formosum* (moss) as a passive biomonitor for heavy metal pollution (cadmium, copper, lead, and zinc). *Sci. Total Environ.* 86: 289–294.
- Martensson, O. and A. Berggren. 1954. Some notes on the ecology of the 'copper mosses.' *Oikos* 5: 99–100.
- Martínez-Abaigar, J., E. Núñez-Olivera & M. Sánchez-Díaz. 1993. Effects of organic pollution on transplanted aquatic bryophytes. *J. Bryol.* 17: 553–566.
- Maschke, J. 1981. Moose als Bioindikatoren von Schwermetall-immissionen. Eine Übersicht der bereits untersuchten lokalen und regionalen Gebiete. *Bryophytorum Bibliotheca*. Vaduz. 22: 492 Pp.
- Massie, H. 1996. Roll out the green carpet. *Amer. Nurseryman*, March 15: 32–37.
- Matsuo, A. & K. Nadaya. 1987. Plant growth inhibitors in the liverwort *Lepidozia vitrea*. *Hikobia* 10: 77–81.
- Matsuo, A., M. Nakayama & S. Hayashi. 1971. Aromatic esters from the liverwort *Isotachis japonica*. *Z. Naturforsch.* 26: 1023–1025.
- Matsuo, A., N. Kubota, S. Uto, H. Nozaki, M. Nakayama & S. Hayashi. 1980. Structure of three novel sesquiterpene aldehydes, (-)-isobicyclgermacrenal, (-)-lepidozenal, and (+)-vitrenal, displaying plant growth inhibitory effect from the liverwort *Lepidozia vitrea*. 23rd Symposium on Chemistry of Natural Products. Symposium Papers. Pp. 420–427.
- Matsuo, A., K. Atsumi, K. Nadaya, M. Nakayama & S. Hayashi. 1981a. ¹³C NMR chemical shifts of ovalifoliene and related compounds with 2,3-seco-alloaromadendrane skeleton. Structure of (+)-9 alpha-acetoxyovalifoliene, a plant growth inhibitor. *Phytochemistry* 20: 1065–1068.
- Matsuo, A., K. Atsumi, M. Nakayama & S. Hayashi. 1981b. Structure of ent-2,3-seco-alloaromadendrane sesquiterpenoids having plant growth inhibitory activity from *Plagiochila semidecurrens* (liverwort). *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1*: 2816–2824.
- Matsuo, A., K. Nadaya, M. Nakayama & S. Hayashi. 1981c. Plant growth inhibitors isolated from the liverwort *Plagiochila ovalifolia*. *Chem. Indus. Chem.* 5: 665–670.
- Matsuo, A., N. Kubota, M. Nakayama & S. Hayashi. 1981d. (-)-Lepidozenal, a sesquiterpenoid with a novel trans-fused bicyclo[8.1.0] undecane system from the liverwort *Lepidozia vitrea*. *Chem. Lett.* Pp. 1097–1100.
- Matsuo, A., S. Yuki, R. Higashi, M. Nakayama & S. Hayashi. 1982a. Structure and biological activity of several sesquiterpenoids having a novel herbertane skeleton from the liverwort *Herberta adunca*. 25th Symposium on Chemistry of Natural Products. Symposium papers. Pp. 242–249.
- Matsuo, A., S. Yuki, M. Nakayama & S. Hayashi. 1982b. Three new sesquiterpene phenols of the ent-herbertane class from the liverwort *Herberta adunca*. *Chem. Lett.* Pp. 463–466.
- Matsuo, A., S. Yuki & M. Nakayama. 1983. (-)-Herbertenediol and (-)-herbertenolide, two new sesquiterpenoids of the ent-herbertane class from the liverwort *Herberta adunca*. *Chem. Lett.* Pp. 1041–1042.
- Matsuo, A., A. Nozaki, N. Kubota, S. Uto & M. Nakayama. 1984. Structures and conformation of (-)-isobicyclgermacrenal and 9(-)-lepidozenal, two key sesquiterpenoids of the cis- and

- trans-10,3-bicyclic ring system, from the liverwort *Lepidozia vitrea*. J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1: 203–214.
- McCain, W. H. & W. F. Buell. 1968. Primary pulmonary sporotrichosis in Illinois. Ill. Med. J. 131: 255–258.
- McCleary, J. A. & D. L. Walkington. 1966. Mosses and antibiotics. Rev. Bryol. Lichenol. 34: 309–314.
- McCleary, J. A., P. S. Syphred & D. L. Walkington. 1960. Mosses as possible source of antibiotics. Science 131: 108.
- McDowell, J., ed. 1968. Sunset Ideas for Japanese Gardens. Lane Brooks. Menlo Park, Calif. 160 Pp. Illus.
- Miles, C. J. & R. E. Longton. 1990. The role of spores in reproduction in mosses. Bot. J. Linn. Soc. 104: 149–173.
- Miller, N. G. 1981. Bogs, bales, and BTU's: A primer on peat. Horticulture 59(4): 38–45.
- Miller, N. G. 1993. New late-Pleistocene moss assemblages from New England, U.S.A., and their bearing on the migrational history of the North American moss flora. J. Hattori Bot. Lab. 74: 235–248.
- Miller, N. G. & H. Miller. 1979. Make ye the bryophytes. Horticulture 57(1): 40–47.
- Min, L. & R. E. Longton. 1993. Mosses and the production of Chinese gallnuts. J. Bryol. 17: 421–430.
- Mitchell, J. & A. Rook. 1979. Botanical Dermatology. Plants and Plant Products Injurious to the Skin. Vancouver.
- Mitchell, J. C., W. B. T. Schofield, B. Singh & G. H. N. Towers. 1969. Allergy to *Frullania*, allergic contact dermatitis occurring in forest workers caused by exposure to *Frullania nisquallensis*. Arch. Dermatol. 100: 46–49.
- Mizutani, M. 1961. On taste of some mosses. Misc. Bryol. Lichenol. 2: 100.
- Mizutani, M. 1963. "Leaves" of imitation water-flowers. Misc. Bryol. Lichenol. 3: 60.
- Mizutani, M. 1975. How to make nice moss carpets. 1. Proc. Bryol. Soc. Jap. 1: 134–136.
- Mizutani, M. 1976. How to make nice moss carpets. 2. Proc. Bryol. Soc. Jap. 1: 148–151.
- Mouvet, C., M. Galoux & A. Bernes. 1985. Monitoring of polychlorinated biphenyls (PCBs) and hexachlorocyclohexanes (HCH) in freshwater using the aquatic moss *Cinclidotus danubicus*. Sci. Total Environ. 44: 253–267.
- Mouvet, C., P. Cordebar, B. Gallissot & P. Roger. 1986. The use of aquatic mosses to monitor micropollutants such as cadmium and PCB's. Laboratory and field results. In: Environmental Contamination. 2nd International Conference. Amsterdam. September, 1986. CEP Consultants. Edinburgh. Pp. 115–119.
- Nash, E. 1972. Effect of effluents from a zinc smelter on mosses. Ph. D. thesis, Rutgers University, 197 Pp.
- Nash, T. H., III & E. H. Nash. 1974. Sensitivity of mosses to sulfur dioxide. Oecologia 17: 257–263.
- Nelson, T. C. & I. W. Carpenter, Jr. 1965. The use of moss in the decorative industry. Econ. Bot. 19: 70.
- Nichols, G. E. 1918a. The vegetation of northern Cape Breton Island, Nova Scotia. Trans. Conn. Acad. Arts Sci. 22: 249–467.
- Nichols, G. E. 1918b. The American Red Cross wants information regarding supplies of surgical *Sphagnum*. Bryologist 21: 81–83.
- Nichols, G. E. 1918c. War work for bryologists. Bryologist 21: 53–56.
- Nichols, G. E. 1918d. The *Sphagnum* moss and its use in surgical dressings. New York Bot. Gard. J.

19: 203–220.

- Nichols, G. E. 1920. *Sphagnum* moss; war substitute for cotton in absorbent surgical dressings. Publ. Smiths. Inst. 2558 (U.S. Nat. Mus. Rept. 1918): 221–234.
- Nichols, H. 1969. The late Quaternary history of vegetation and climate at Porcupine Mountain and Clearwater Bog, Manitoba. Arctic Alpine Res. 1: 155–167.
- Niemi, R., P. J. Martikainen, J. Silvola & T. Holopainen. 2002. Ozone effects on *Sphagnum* mosses, carbon dioxide exchange and methane emission in boreal peatland microcosms. Sci. Total Environ. 289: 1–12.
- Noguchi, A. 1952. On some mosses found among the ancient Japanese silk-clothes. J. Jap. Bot. 27: 361.
- Oechel, W. C. & B. Sveinbjornsson. 1978. Primary production processes in arctic bryophytes at Barrow, Alaska. In: L. L. Tieszen, ed. 1978. Vegetation and Production of Alaskan Arctic Tundra. New York. Pp. 269–298.
- Ohta, Y., N. H. Andersen & C.-B. Liu. 1977. Sesquiterpene constituents of two liverworts of genus *Diplophyllum*. Novel eudesmanolides and cytotoxicity studies for enantiomeric methylene lactones. Tetrahedron 33: 617–628.
- Padhye, A. A. & L. Ajello. 1990. Sporotrichosis—an occupational hazard for nursery workers, tree planters and orchid growers. Amer. Orchid Soc. 59: 613–616.
- Pakarinen, P. 1977. Element contents of *Sphagna*: Variation and its sources. Bryophytorum Bibliotheca 13: 751–762.
- Painter, T. J. 1991. Lindow Man, Tollund Man and other peat-bog bodies: The preservative and antimicrobial action of Sphagnum, a reactive glycuronoglycan and tanning and sequestering properties. Carbohydrate Polymers 15: 123–142.
- Pant, G. 1989. Exploration of the bryophytic vegetation of Districts Almora and Pithoragarh (Kumaon Himalaya), Project Completion Report: 1985–1989. DST Ref. No. 1/3/1984 - STP III: 105–113.
- Pant, G. & S. D. Tewari. 1989. Various human uses of bryophytes in the Kumaun region of Northwest Himalaya. Bryologist 92: 120–122.
- Pant, G. & S. D. Tewari. 1990. Bryophytes and mankind. Ethnobotany 2: 97–103.
- Pant, G., S. D. Tewari, M. C. Pargaien & L. S. Bisht. 1986. Bryological activities in North-West Himalaya – II. A bryophyte foray in the Askot region of district Pithoragarh (Kumaon Himalayas). Bryol. Times 39: 2–3.
- Pates, A. L. & G. C. Madsen. 1955. Occurrence of antimicrobial substances in chlorophyllose plants growing in Florida. II. Bot. Gaz. 116: 250–261.
- Pavletic, Z. & B. Stilinovic. 1963. Untersuchungen über die antibiotische Wirkung von Moosextrakten auf einige Bakterien. Acta Bot. Croat. 22: 133–139.
- Perin, F. 1962. Woodland mosses—A little-used growing medium. Amer. Orchid Soc. Bull. 31: 988.
- Perry, D. 1987. As cities crumble, plants may be at the root of it. Smithsonian 17(10): 72–78.
- Persson, H. 1956. Studies in "copper mosses." J. Hattori Bot. Lab. 17: 1–18.
- Petersen, R. L., A. Bosley & J. Rebbeck. 1999. Ozone stimulates protonematal growth and gametophore production in *Polytrichum commune*. Bryologist 102: 398–403.
- Peterson, W. L. & J. M. Mayo. 1975. Moisture stress and its effect on photosynthesis in *Dicranum polysetum*. Can. J. Bot. 53: 2897–2900.
- Poliakov, I. A., A. M. Leontev & L. K. Melnikov. 1962. Contribution to Sr90 fallouts in the medium latitudes of the USSR. Pochvovedenie 1962(11): 45–50.
- Poots, V. J. P., G. Mckay & J. J. Healy. 1976. The removal of acid dye from effluent using natural absorbents I. Peat Water Res. 10: 1061–1066.

- Porter, J. B. 1917. *Sphagnum* surgical dressings. Intern. J. Surgery 30: 129–135, figs. 1–8.
- Posth, M. A. 1993. Put a green engine on the roof. Calif. Builder, April/May: 20–21.
- Potter, L., J. P. Foot, J. M. Caporn & J. A. Lee. 1996. Responses of four *Sphagnum* species to acute ozone fumigation. J. Bryol. 19: 19–32.
- Powell, K. E., A. Taylor, B. J. Phillips., D. L. Blakey, G. D. Campbell, L. Kaufman & W. Kaplan. 1978. Cutaneous sporotrichosis in forestry workers. J. Amer. Med. Assoc. 240: 232–235.
- Prigg, R. F. & G. B. J. Dussart. 1980. Biological survey of Coledale Beck relative to the impact of Force Crage Mine with a general commentary on heavy metal pollution. North West Water Authority River Division, Report BN 63 (6180). Carlisk, Cumria.
- Prins, H. H. T. 1981. Why are mosses eaten in cold environments only? Oikos 38: 374–380.
- Proctor, M. C. F. 1981. Physiological ecology of bryophytes. Adv. Bryol. 1: 79–166.
- Pryce, R. J. 1972. Metabolism of lunularic acid to a new plant stilbene by *Lunularia cruciata*. Phytochemistry 11: 1355–1364.
- Raeymaekers, G. 1987. Effects of simulated acidic rain and lead on the biomass, nutrient status, and heavy metal content of *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. J. Hattori Bot. Lab. 63: 219–230.
- Rao, D. L. N. & R. G. Burns. 1990. Use of blue-green algae and bryophyte biomass as a source of nitrogen for oil-seed rape. Biol. Fertil. Soils 10: 61–64.
- Rao, D. N. 1982. Responses of bryophytes to air pollution. In: A. J. E. Smith, ed. Bryophyte Ecology. New York. Pp. 445–472.
- Rao, D. N. & F. LeBlanc. 1967. Influence of an iron-sintering plant on corticolous epiphytes in Wawa, Ontario. Bryologist 70: 141–157.
- Rao, D. N., G. Robitaille & F. LeBlanc. 1977. Influence of heavy metal pollution on lichens and bryophytes. J. Hattori Bot. Lab. 42: 213–239.
- Rasmussen, L. 1977. Epiphytic bryophytes as indicators of the changes in the background levels of airborne metals from 1951–75. Environ. Pollut. 14: 37–45.
- Richards, P. W. 1932. Ecology. In: F. Verdoorn, ed. 1932. Manual of Bryology. The Hague. Pp. 367–395.
- Richardson, D. H. S. 1981. The Biology of Mosses. Oxford. xii + 220 Pp.
- Richardson, D. H. S., E. Nieboer, P. J. Beckett, L. Boileau, P. Lavoie & D. Padovan. 1979. The levels of uranium and other elements in lichens and mosses growing in the Eliot Lake and Agnew Lake areas, Ontario, Canada. Report to Ontario Ministry of Environment, Government of Ontario.
- Rieley, J. O., P. W. Richards & A. D. L. Bebbington. 1979. The ecological role of bryophytes in a North Wales woodland. J. Ecol. 67: 497–527.
- Roberts, B. A., L. K. Thompson & S. S. Sidhu. 1979. Terrestrial bryophytes as indicators of fluoride emission from a phosphorus plant, Long Harbor, Newfoundland, Canada. Can. J. Bot. 57: 1583–1590.
- Robinson, G. D. 1981. Adsorption of Cu, Zn and Pb near sulphide deposits by hydrous manganese-iron oxide coatings on stream alluvium. Chem. Geol. 33: 65–79.
- Rochefort, L. 2000. New frontiers in bryology and lichenology. *Sphagnum*—a keystone genus in habitat restoration. Bryologist 103: 503–508.
- Romanova, E. A. 1965. The vegetation cover as an indicator of ground-water level in upland bogs. In: A. G. Chikishev, ed. 1965. Plant indicators of soil, rocks and subsurface water. New York. Pp. 81–85.
- Rosenberg, N. 1988. Malady traced to state moss. Milwaukee Journal Tuesday, Nov. 1, 1988, Sect. B, p. 1.
- Rozmej, Z. & A. Kwiatkowski. 1976. The sorption of waste waters on the peats. In: Peat and

- Peatlands in the Natural Environment Protection. Proc. 5th Internat. Peat Congr., Poznań, Poland, Vol. 1. Pp. 372–378.
- Rudenko, S. I. 1970. Frozen tombs of Siberia: The Pazyryk burials of Iron-Age Horsemen. In: P. Horne and R. R. Ireland. 1991. Moss and a Guanche mummy: An unusual utilization. *Bryologist* 94: 407–408.
- Ruel, M., S. Chornet, B. Coupal, P. Aitcin & M. Cossette. 1977. Industrial utilization of peat moss. In: N. W. Radforth and C. O. Brawner, eds. *Muskeg and the Northern Environment of Canada*. Toronto. Pp. 221–246.
- Rühling, A. & G. Tyler. 1970. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. *Oikos* 21: 92–97.
- Rütten, D. & K. A. Santarius. 1992. Cryoprotection of *Plagiomnium affine* induced by various natural and artificial substances. *Can. J. Bot.* 71: 793–798.
- Saito, K. 1973. Framed art work with mosses. *Proc. Bryol. Soc. Jap.* 1: 36–37.
- Samecka-Cymerman, A. 1983. The effect of phenol on aquatic mosses *Fontinalis antipyretica* L. and *Platyhypnidium rusciforme* (Neck.) Fleisch. in cultures. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 30: 141–147.
- Satake, K., M. Nishikawa & K. Shibata. 1989a. Distribution of aquatic bryophytes in relation to water chemistry of the acid river Akagawa, Japan. *Arch. Hydrobiol.* 116: 299–311.
- Satake, K., T. Takamatsu, M. Soma, K. Shibata, M. Nishikawa, P. J. Say & B. A. Whitton. 1989b. Lead accumulation and location in the shoots of the aquatic liverwort *Scapania undulata* (L.) Dum. in stream water at Greenside Mine, England. *Aquat. Bot.* 33: 111–122.
- Saxena, D. K. 1981. Role of *Anthoceros* as a bio-fertilizer. XIII International Botanical Congress Abstracts, Sydney. P. 292.
- Schofield, W. B. 1969. Some common mosses of British Columbia. *Brit. Col. Prov. Museum. Handbook No 28*. Victoria. 262 Pp.
- Schuster, R. M. 1966. The Hepaticae and Anthocerotae of North America. Vol. 1. Columbia Univ. Press. N. Y. 1344 Pp.
- Scott, H. B., II & M. J. Oliver. 1994. Accumulation and polysomal recruitment of transcripts in response to desiccation and rehydration of the moss *Tortula ruralis*. *J. Exper. Bot.* 45: 577–583.
- Searles, P. S., S. D. Flint, S. B. Díaz, M. C. Rousseaux, C. L. Ballaré, M. M. & Caldwell. 2002. Plant response to solar ultraviolet-B radiation in a southern South American *Sphagnum* peatland. *J. Ecol.* 90: 704–713.
- Seaward, M. R. D. & D. Williams. 1976. An interpretation of mosses found in recent archaeological excavations. *J. Archaeol. Sci.* 3: 173–177.
- Shacklette, H. T. 1965a. Bryophytes associated with mineral deposits and solutions in Alaska. *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1198c. 18 Pp.
- Shacklette, H. T. 1965b. Element content of bryophytes. *U. S. Geol. Surv. Bull.* 1198d: 21 Pp.
- Shacklette, H. T. 1984. The use of aquatic bryophytes in prospecting. *J. Geochem. Expl.* 21: 89–93.
- Shiikawa, M. 1956. Geological study of limonite deposits (1)–Limonite deposits in Akita Pref. *Mem. Gakugei Fac., Akita Univ., Nat. Sci.* 6: 45–74.
- Shiikawa, M. 1959. Limonitic iron-ores from Japan. Study on the bedded limonitic iron-ore deposits in Japan (3). *Mem. Gakugei Fac., Akita Univ., Nat. Sci.* 9: 1–14, pls. i–iv.
- Shiikawa, M. 1960. Studies on the bedded limonitic iron-ore deposits in Japan, with special reference to their genesis and minor elements. *Min. Geol.* 10(40): 65–84.
- Shiikawa, M. 1962. A study on the bedded limonitic iron-ore deposits of Japan. *Mem. Gakugei Fac., Akita Univ., Nat. Sci.* 12: 1–49.

- Simon, T. 1975. Mosses as indicator organisms for soil conditions in steppe forest ecosystems. XII Int. Bot. Cong. Abstr., Leningrad. 1: 87.
- Sjors, H. 1980. Peat on earth: Multiple use or conservation? *Ambio* 9: 303–308.
- Skye, E. 1965. Botanical indication of air pollution. *Acta Phytogeogr. Suecica* 50: 285–287.
- Smith, D. C. 1976. Storvatnet and Rettbekken: Moss-trapped stream material as a prospecting medium. *J. Geochem. Exploration* 5: 338–341.
- Soma, M., H. Seyama & J. Satake. 1988. X-ray photoelectron spectroscopic analysis of lead accumulated in aquatic bryophytes. *Talanta* 35: 68–70.
- Spies, T. A. & B. V. Barnes. 1985. Ecological species groups of upland northern hardwood-hemlock forest ecosystems of the Sylvania Recreation Area, Upper Peninsula, Michigan. *Can. J. For. Res.* 15: 961–972.
- Spjut, R. W., M. Suffness, G. M. Cragg & D. H. Norris. 1986. Mosses, liverworts, and hornworts screened for antitumor agents. *Econ. Bot.* 40: 310–338.
- Spjut, R. W., J. M. Cassady, T. McCloud, M. Suffness, D. H. Norris, G. M. Cragg & C. F. Edson. 1988. Variation in cytotoxicity and antitumor activity among samples of the moss *Claopodium crispifolium* (Thuidiaceae). *Econ. Bot.* 42: 62–72.
- St. Clair, L. L., B. L. Webb, J. R. Johansen & G. T. Bebecker. 1984. Cryptogamic soil crusts enhancement of seedling establishment in disturbed and undisturbed areas. *Reclam. Reveg. Res.* 3(2): 129–136.
- Stark, R. M. 1860. *A Popular History of British Mosses*, 2nd edition. Routledge, Warne & Routledge. London (Wheldon & Wesley). 348 Pp.
- Stefan, M. B. and E. D. Rudolph. 1979. Terrestrial bryophytes as indicators of air quality in southeastern Ohio and adjacent West Virginia. *Ohio Acad. Sci.* 79(5): 204–212.
- Stewart, J. M. 1977. Canadian muskegs and their agricultural utilization. In: N. W. Radforth and C. O. Brawner, eds. *Muskeg and the Northern Environment in Canada*. Toronto. Pp. 208–220.
- Stubbs, J. 1973. Moss control. *New Sci.* 57: 739
- Studlar, S. M. 1980. Trampling effects on bryophytes: Trail surveys and experiments. *Bryologist* 83: 301–313.
- Sugawa, S. 1960. Nutritive values of mosses as a food for domestic animals and fowls. *Hikobia* 2: 119–124.
- Sukhanov, M. A. 1972. The use of peat as a thermal-insulating material in large panel building. *Proc. 4th Int. Peat Congr. Otaniemi, Finland*. Pp. 319–332.
- Summerling, T. J. 1984. The use of mosses as indicators of airborne radionuclides near a major nuclear installation. *Sci. Tot. Environ.* 35: 251–266.
- Summerton, J. 1981. Energy in Sweden. Gearing up for renewable energy. *Ambio* 10: 219–224.
- Svensson, G. K. & K. Liden. 1965. The quantitative accumulation of ^{95}Zr + and ^{95}Nb and ^{140}Ba + ^{140}La in carpets of forest moss. *Health Phys.* 11: 10.
- Syratt, W. J. & P. J. Wanstall. 1975. The effect of sulphur dioxide on epiphytic bryophytes. *Air Poll. Proc. 1st Eur. Cong. Wageningen*. Pp. 79–85.
- Takagi, G. 1937. Studies in the artificial multiplication of the sumach gall-aphid. I. Especially *Schlechtendalia ahinensis*. *Bell. Bull. Forest Exp. Stat. Gov. Gener. Chosen* 26: 1–253. 29 pls.
- Takaki, N. 1976. Preliminary report on the aquatic communities of bryophytes in the Katsuragawa stream in Gifu Prefecture. In: M. Yatazawa, ed. 1976. *Effects of Fertilizers on Water Quality and Indicator Macrophytes*. Pp. 41–45.
- Takaki, N. 1977. Distribution of aquatic mosses in a rice field area. In: M. Yatazawa, ed. 1977. *Effect of Fertilizers on Water Quality and Indicator Macrophytes II*. Pp. 31–37.

- Takaki, N., R. Watanabe & Z. Iwatsuki. 1982. Bryophytes in aquariums for tropical fish. Proc. Bryol. Soc. Jap. 3: 65–68.
- Tamblyn, S. E. 1981. Sporotrichosis and *Sphagnum* moss. Alberta Social Services & Community Health Newsletter 4(2): 1–3.
- Tamm, K. 1984. Epiphytic bryophytes as indicators of air pollution in Tallinn. In: J. L. Martin et al., eds. 1984. Flora and Groupings of Lower Plants in Natural and Anthropogenous Extreme Environment Conditions. Academy of Sciences of Estonian SSR. Tallinn. Pp. 203–220.
- Tan, B. C. 2003. Bryophytes (Mosses). In: W. de Winter and V.B. Amoroso, eds. Cryptogams: Ferns and Fern Allies. Proseas 15(2): 195–200.
- Tang, C. 1976. The Chinese gallnuts, their multiplication and means for increasing production. Acta Entomol. Sinica 19: 282–296.
- Taoda, H. 1972. Mapping of atmospheric pollution in Tokyo based upon epiphytic bryophytes. Jap. J. Ecol. 22: 125–133.
- Taoda, H. 1973. Bryo-meter, an instrument for measuring the phytotoxic air pollution. Hikobia 6: 224–228.
- Taoda, H. 1975. Evaluating of city soils based on controlled phytometer method (1). In: M. Numata, ed. 1975. Studies in Urban Ecosystems. Pp. 151–153.
- Taoda, H. 1976. Bryophytes as indicators of air pollution. In: Science for Better Environment, Proceedings of the International Congress on the Human Environment. Kyoto. 1975. Pp. 292–301.
- Taoda, H. 1980. Mapping of air pollution based on epiphytic cryptogams in bay-coast cities of Chiba prefecture. In: M. Numata, ed. 1980. Integrated Ecological Studies in Bay-Coast Cities II. Pp. 21–25.
- Taylor, A. 1919. Mosses as formers of tufa and floating islands. Bryologist 22: 38–39.
- Taylor, J. A. & R. T. Smith. 1980. Peat—a resource reassessed. Nature 288: 319–320.
- Thieret, J. W. 1954. Mosses and liverworts: Old and new uses. Chicago Nat. Hist. Mus. Bull.: Pp. 4, 8.
- Thieret, J. W. 1956. Bryophytes as economic plants. Econ. Bot. 10: 75–91.
- Thomas, D. C. & J. Edmonds. 1983. Rumen contents and habitat selection of Peary caribou in winter, Canadian arctic archipelago. Arct. Alp. Res. 15: 97–105.
- Thomas, D. C. & P. Kroeger. 1980. In vitro digestibilities of plants in ruminal fluids of Peary caribou. Arctic 33: 757–767.
- Thomas, W. 1983. Über die Verwendung von Pflanzen zur analyse räumlicher Spurensubstanz-immissionsmuster. Staub-Reinhalt. Luft 43: 141–148.
- Thomason, J. H. 1994. Mossy containers. Southern Living, February: 58–59.
- Tilling, A. J. 1995. *Sphagnum* moss: Issues associated with the sustainable development of a non-timber forest product in New Zealand. N. Z. Forestry, February: 30–34.
- Timmer, V. R. 1970. Observations on the mineral nutrition of feather mosses under black spruce. Forest Research Laboratory. Can. Forest. Serv., Report N-62.
- Ting, H. 1982. Medicinal Spore-bearing Plants of China. Shanghai. 409 Pp.
- Tooren, B. F. van. 1988. The fate of seeds after dispersal in chalk grassland: The role of the bryophyte layer. Oikos 53: 41–48.
- Tooren, B. F. van. 1990. Effects of a bryophyte layer on the emergence of seedlings of chalk grassland species. Acta Oecologica 11: 155–163.
- Tripp, F. 1888. British Mosses. Their Homes, Aspects, Structure, and Uses. George Bell & Sons. Covent Garden, London. 2 Vols.
- Ukraitseva, V. V., K. K. Flerov & N. G. Solonevich. 1978. Analysis of plant remains from the

- alimentary tract of Mylakhchinsk bison (Yakutia). Bot. Zh. SSSR 63: 1001–1004.
- Varley, S. J. & S. E. Barnett. 1987. Sphagnum moss and wound healing II. Clinical Rehabilitation 1: 153–160.
- Viraraghavan, T. & S. Tanjore. 1994. Removal of pentachlorophenol from wastewater using peat. Hazardous Waste Hazardous Materials 11: 423–433.
- Weber, K. & G. Ploetner. 1976. The effectivity of cures with therapeutic peat baths of different consistencies in cases of a rheumatoid arthritis. In: Proc. 5th Internat. Peat Congr., Poznań, Poland, Vol. 1. Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection. Pp. 467–476.
- Welch, W. H. 1948. Mosses and their uses. Proc. Indiana Acad. Sci. 58: 31–46.
- Whitehead, N. E. & R. R. Brooks. 1969. Aquatic bryophytes as indicators of uranium mineralization. Bryologist 72: 501–507.
- Whiteside, K. 1987. Gathering moss. House Garden, May: 144–147, 221–222.
- Whitner, J. K. 1992. Stonescaping: A Guide to Using Stone in your Garden. Storey Communications, Inc., Pownal, Vermont. 162 Pp.
- Wieggers, J. & B. Van Geel. 1983. The bryophyte *Tortella flavovirens* (Bruch) Broth. in late glacial sediments from Usselo (The Netherlands) and its significance as a paleo-environmental indicator. Acta Bot. Neerlandica 32: 431–436.
- Wilson, S. J., J. L. Murray & H. P. Huntington, eds. 1998. Climate change, ozone, and ultraviolet radiation. In: AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Arctic Assessment and Monitoring Program. Oslo, Norway. Pp. 717–774.
- Winkler, S. 1976. Moos als Indikatoren bei SO₂ und bleibelastung. Sonderdruck aus Daten und Dokumente zum Umweltschutz 19: 42–55.
- Winner, W. E. & J. D. Bewley. 1978. Contrasts between bryophytes and vascular plant synecological response in an SO₂-stressed white spruce association in central Alberta. Oecologia 33: 311–325.
- Winner, W. E., J. D. Bewley, H. R. Krouse & H. M. Brown. 1978. Stable sulfur isotope analysis of SO₂ pollution impact on vegetation. Oecologia 36: 351–361.
- Witthauer, J., R. Klöcking, B. Helbig & P. Drabke. 1976. Chemical and physicochemical characterization of antivirally active humic acids. In: Proc. 5th Internat. Peat Congr. Poznań, Poland. Vol. 1. Peat and Peatlands in the Natural Environment Protection. Pp. 456–466.
- Wu, P. C. 1977. *Rhodobryum giganteum* (Schwaegr.) Par can be used for curing cardiovascular disease. Acta Phytotax. Sin. 15: 93.
- Wu, P. C. 1982. Some uses of mosses in China. Bryol. Times 13: 5.
- Yepsen, R. B., Jr., ed. 1984. The Encyclopedia of Natural Insect and Disease Control. Rodale Press. Emmaus, Pa. 490 pp.
- Zanten, B. O. Van. 1973. A taxonomic revision of the genus *Dawsonia* R. Brown. Lindbergia 2: 1–43.
- Zimmerman, M. R. & G. S. Smith. 1975. A probable case of accidental inhumation of 1,600 years ago. Bull. N. Y. Acad. Med. Ser. 2, 51: 828–837.