

María Isabel Agustín Jiménez, Carmen Zepeda Gómez y Javier Manjarrez

Los musgos: bioindicadores de la salud del ecosistema

Los musgos son un grupo muy diverso de plantas que ofrecen grandes servicios ambientales a pesar de su sencillez estructural, por lo que en el presente artículo se hace hincapié en los procesos ecológicos en los que intervienen, así como en los usos y aplicaciones que el hombre les ha dado.

Introducción

Las briofitas son uno de los tres grupos que componen la línea evolutiva de plantas terrestres. Junto con las hepáticas (*Marchantiophyta*) y los antoceros (*Anthocerotophyta*), los musgos (*Bryophyta sensu stricto*) conforman una colección de aproximadamente 20 000 especies hasta ahora descritas en el mundo (de 5 000 a 6 000 de hepáticas, 200 a 215 de antoceros y 12 900 a 13 000 de musgos). Esta gran diversidad las coloca como el segundo grupo más diverso de plantas terrestres, sólo después de las plantas con flor (Goffinet y Shaw, 2009; Horn *et al.*, 2021, Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

En México se conoce que existen cerca de 1 613 especies de briofitas, de las cuales 11.4 % son endémicas; es decir, sólo están presentes en el territorio mexicano. En esa diversidad mexicana, los musgos son los más diversos, ya que actualmente se conocen cerca de 1 000 especies y variedades (Delgadillo-Moya, 2022 y Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

Una vida adaptada al medio terrestre

Las briofitas son un grupo de plantas morfológicamente heterogéneo que comparten la ausencia de **tejido vascular** y un ciclo de vida claramente dividido en dos fases multicelulares: una fase de larga duración, independiente por su alta actividad fotosintética y haploide (un juego de cromosomas), conocida como gametofito, y otra diploide (dos juegos de cromosomas), dependiente del gametofito y de vida corta, denominada esporofito (véase la **Figura 1**) (Glime, 2017).

En la vida de un musgo el esporofito es el responsable de liberar cientos de diminutas esporas haploides que se dispersan por el viento y al encontrar condicio-

Tejido vascular

Conjunto de células especializadas en el transporte de agua, nutrientes y otras sustancias a todo el cuerpo de una planta.





Figura 1. Los musgos son pequeñas plantas verdes que se agrupan formando una alfombra suave y densa. Su cuerpo está conformado por una fase frondosa y otra alargada y delgada que sostiene una cápsula con esporas en la punta.

nes favorables de humedad, germinarán produciendo una hilera o lámina de células llamada protonema. Durante su crecimiento, el protonema se fijará al suelo mediante pequeñas proyecciones denominadas rizoides y, con el paso del tiempo, formará al gametofito o musgo. Numerosas y pequeñas proyecciones verdes, fotosintéticas y en forma de hoja (filidios), se disponen alrededor de una estructura similar a un tallo (caulidio) y conforman el cuerpo de un musgo típico. Este cuerpo fotosintético se mantiene activo mediante intercambios directos de agua y minerales con la atmósfera. Muchas especies carecen de tejidos internos de conducción, como el xilema y floema de los helechos o las plantas con flor; pero en otras, como los musgos del género *Polytrichum*, existen células especiales denominadas hidroides y leptoides, que permiten la conducción interna de agua y otros compuestos. El gametofito crecerá lentamente y será el encargado de producir células sexuales en órganos reproductores masculinos (anteridios) o femeninos (arquegonios). En la época de lluvias, o cuando hay una fina capa de agua, las células masculinas nadarán y se fusionarán con las célu-

las femeninas inmóviles, y tras la fecundación formarán un embrión sostenido y nutrido por el gametofito, que al crecer constituirá una nueva generación esporofítica y productora de esporas (Glime, 2017).

La alternancia de estas dos generaciones multicelulares en el ciclo de vida, la formación de un embrión y numerosas adaptaciones celulares y fisiológicas han permitido que estas plantas y sus antecesores viviesen fuera del agua, pero siempre bajo condiciones de alta humedad, como las que presentan los ambientes en las orillas de ríos, bordes de lagos y zonas de alta precipitación fluvial, por mencionar sólo unos ejemplos (Goffinet y Shaw, 2009).

■ **Funciones trascendentes para plantas diminutas**

■ Los musgos, y en general todas las briofitas, son plantas que en su mayoría no rebasan los 10-15 cm de altura y quizás por ello a veces pasan desapercibidas o sólo son visibles como una alfombra verde que llega a cubrir el suelo, las rocas y troncos de un bosque. Estas pequeñas y sencillas plantas crecen muy lentamente, a veces uno o dos milímetros por

año. Prosperan en zonas húmedas que se ubican desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 4000 m, aunque también hay especies que se han adaptado a hábitats secos y algunas otras son acuáticas, pero nunca crecerán en zonas marinas (Glime, 2017; Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

En los diferentes ecosistemas e incluso en zonas urbanas, los musgos crecen formando diminutas colonias sobre una gran variedad de sustratos en los que difícilmente otras plantas podrían hacerlo. Se les puede encontrar sobre suelo o sustratos inertes como rocas, paredes, techos, ladrillos, orillas de ríos, o creciendo sobre otros seres vivos, como troncos, ramas u hojas de otras plantas, en cuyo caso se denominan epífitas (véase la **Figura 2**) (Goffinet y Shaw, 2009; Glime, 2017). Su capacidad para sobrevivir en ambientes adversos les ha permitido ser una de las primeras plantas en colonizar superficies rocosas, especialmente en sitios alterados por el fuego o en áreas con perturbaciones ambientales; a algunas otras

les ha permitido permanecer deshidratadas por algún tiempo, a veces años, resucitando y recuperando su vigor rápidamente después de ser hidratadas de nuevo (Hernández-Rodríguez y Delgadillo-Moya, 2021).

Al conformar pequeños tapetes verdes, fijan dióxido de carbono (CO₂) y liberan oxígeno, por lo que son una parte basal e importante de las **cadena** **tróficas** y del ciclo de energía que mantiene vivos a los ecosistemas. Pero, además, las colonias de musgo ayudan a retener el suelo evitando su erosión, y en tiempos de lluvia pueden acumular hasta 20 veces su propio peso en agua, lo que las convierte en verdaderas esponjas vivientes y transcendentales en el balance hídrico de los bosques (véase la **Figura 3**). De esta manera, si los tapetes o alfombras de musgos se eliminan del bosque, no habrá quién absorba el exceso de agua y retenga los nutrientes y minerales disueltos en ella, por lo que se perderán y aumentará su lavado hacia ríos y mares (Goffinet y Shaw, 2009; Glime, 2017).

Cadenas tróficas

Secuencias que muestran la transferencia de energía y nutrientes a través de los seres vivos que conforman un ecosistema.



Figura 2. Al ser plantas epífitas, los musgos se desarrollan sobre troncos, donde se fijarán para una mejor obtención de los nutrientes disponibles en el aire.



Figura 3. La diversidad de especies en los tapetes del bosque se manifiesta en las variadas tonalidades de verde y alturas de las colonias de musgos; en conjunto, todas ellas ayudan a retener la humedad y a estabilizar el suelo.

Al acumular agua y nutrientes, los musgos acondicionan el suelo para que otros organismos se establezcan; es decir, son microhábitats donde prosperan insectos, arañas, moluscos, lombrices, y por lo mismo son excelentes microgerminadores de semillas, facilitando el establecimiento de plantas superiores como pinos, encinos y abetos, entre otras (Goffinet y Shaw, 2009; Glime, 2017).

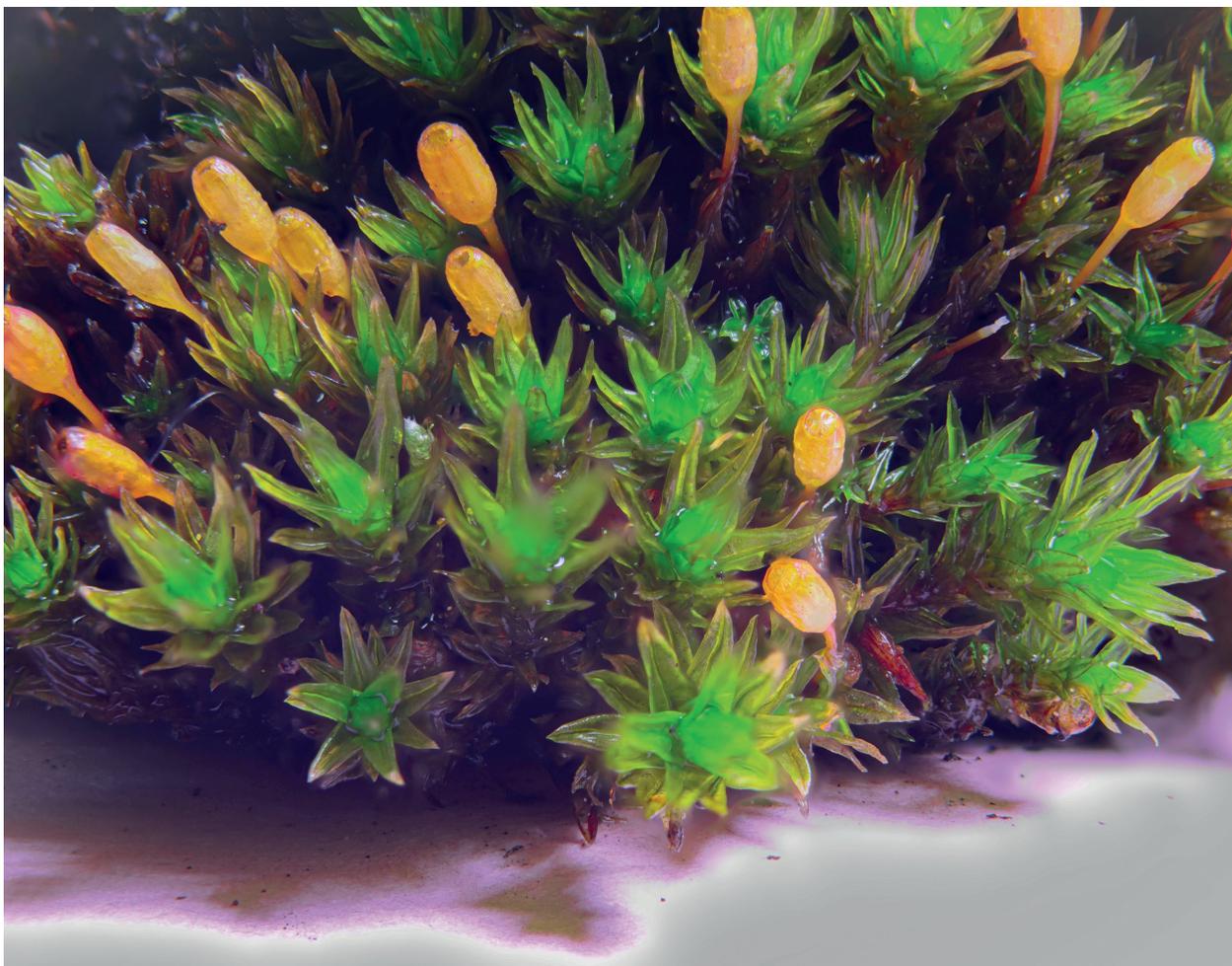
■ ■ ■ **Monitores del ambiente**

■ Los musgos carecen de una cubierta impermeable sobre su cuerpo y adquieren el agua y los nutrientes directamente de la atmósfera. Por la misma razón, no pueden controlar la pérdida de agua si el ambiente es muy seco, pero tampoco la incorporación en sus células de algunos iones o metales pesados como cobre, plomo, cadmio y zinc (Glime, 2017).

Cada especie tiene un nivel de sensibilidad y capacidad de resistir las adversidades del ambiente. Por eso algunos musgos pueden crecer incluso en ambientes muy contaminados, como las ciudades, mientras que otras desaparecerán debido a que no pueden tolerar el aumento de temperatura, la falta de humedad o la contaminación que prevalece en los centros urbanos. Gracias a esto, la presencia, el estado o la ausencia de ciertas especies aporta información sobre la calidad del ambiente, por lo que pueden usarse como bioindicadores de la salud del ecosistema, del aire y del suelo (Goffinet y Shaw, 2009).

■ ■ ■ **De sus usos y oportunidades**

■ Aunque no hay muchos estudios, la etnobiología nos dice que alrededor del mundo existen cerca de 150 especies de briofitas utilizadas para beneficio humano



(Harris, 2008). Muchas de ellas se usan como plantas medicinales debido a que producen compuestos colectivamente conocidos como metabolitos secundarios, que inhiben el crecimiento de algunos microorganismos, por lo cual son utilizados como antisépticos o antibióticos (Horn *et al.*, 2021), pero también pueden emplearse como parte de techos de las casas, camastros, almohadas, gorros o como elementos ornamentales y ceremoniales (Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

En México, el uso de los musgos data de la época de la Colonia, cuando se usaban para tratar algunas enfermedades de la población azteca. Un análisis reciente indica que en el territorio mexicano se usan al menos 36 especies de musgos. Al parecer el uso principal es el ceremonial durante la época navideña, donde se recolectan especies como *Hypnum amabile*, *Thuidium delicatulum*, *Bryum procerum*, así como de los géneros *Campylopus*, *Leptodontium* y *Polytrichum*,

que son apreciados principalmente por su color intenso, gran abundancia y tamaño relativamente grande. Pero también se reporta el uso de otros géneros como, por ejemplo, *Dendropogonella rufescens*, que se emplea en construcción de techos, camastros, así como en la elaboración de lechos, almohadas y gorros. Especies de los géneros *Campylopus*, *Dicranum*, *Hypnum*, *Herzogiella* y *Thuidium* se usan como elementos ornamentales en jardines y para elaborar macetas con árboles bonsái. *Braunia secunda*, *Pleurochaete squarrosa*, *Sematophyllum adnatum* se emplean como medicinales para el dolor de cabeza y estómago, respectivamente (Hernández-Rodríguez y Delgadillo-Moya, 2021; Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

De todos los musgos, *Sphagnum* es el que tiene un mayor número de usos ya que se emplea para germinar semillas, como material de empaque, relleno y aislante, para preparar vendajes quirúrgicos y para



producir Sphagnol, un compuesto químico que se utiliza para tratar algunas enfermedades de la piel y las picaduras de insectos. El Sphagnol es un ejemplo de que los musgos pueden ofrecer importantes beneficios para la salud y el bienestar humanos.

Por otra parte, las briofitas han sido poco estudiadas y utilizadas para la elaboración de productos naturales; no obstante, la identificación de productos químicos en ellas tiene un alto potencial para la explotación biotecnológica, como lo demuestran algunos reportes de otras partes del mundo (Horn *et al.*, 2021; Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

Las hermosas alfombras verdes que forman las colonias de musgos en los bosques templados de México atraen a numerosos recolectores que en la temporada navideña cosechan grandes cantidades para venderlos, sin recapacitar que tardaran varios decenios en recuperarse. En algunos estados de México, como el Estado de México, Michoacán y Tlaxcala (Acatitla *et al.*, 2020), se han calculado extracciones de varias decenas de toneladas de musgo fresco tan sólo en una temporada. Si bien esta extracción de musgo es el resultado de una tradición cultural religiosa que llegó a Latinoamérica con los españoles en la época de la Conquista (Acatitla *et al.*, 2020), sus efectos son profundamente negativos para el ecosistema, ya que además de amenazar la diversidad y las poblaciones de musgos, con ella se evita la continuidad de los procesos ecológicos en los que ellos participan y que nos benefician directamente a todos.

En México no existe una ley que prohíba la recolecta de musgos, pero de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación su recolecta debe ser autorizada por la Secretaría del Medio Ambiente y se deben atender las medidas establecidas en el proyecto de norma PROY-NOM-005-Semarnat-2012, donde se indica claramente:

el musgo se debe aprovechar en manchones o franjas de 2 metros de ancho como máximo, siguiendo el contorno del terreno, y extrayendo, como máximo, el 50 % de las existencias en cada sitio aprovechado, para asegurar su regeneración. No se podrá aprovechar el mismo sitio hasta que se haya recuperado completamente. (DOF, 2012)

A pesar de estas medidas, la recolección indiscriminada continúa. Junto con la destrucción y pérdida de sus hábitats, esto constituye la principal amenaza que enfrentan las poblaciones naturales de briofitas, por lo que es necesario tomar medidas inmediatas para su conservación.

Es esencial desarrollar más investigación sobre la diversidad, biología, estado de conservación, amenazas y potencial utilitario de las poblaciones de musgos, y en general de todas las briofitas, lo cual permitirá establecer políticas y leyes que protejan a las especies y sus hábitats, así como la creación e imple-

Los musgos son vitales para la estabilidad del ecosistema

- * Ayudan en la absorción y retención de agua.
- * Reducen la erosión.
- * Participan en la regulación del ciclo hidrológico.
- * Son fundamentales en la formación de suelo.
- * Mantienen la humedad del suelo.
- * Ayudan a monitorear la salud de un ecosistema.
- * Son hábitat de muchas especies de microorganismos e invertebrados.
- * Ayudan a la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas.
- * Contribuyen a la captura de carbono y ayudan a mitigar el cambio climático.

La explotación no regulada del musgo afecta la salud del ecosistema y puede llevar a la extinción de algunas especies.

¡Evita comprarlos!

Figura 4. Evitemos la pérdida de las alfombras verdes de los ecosistemas, compremos conscientemente y protejamos los musgos de nuestro entorno.

mentación de programas de manejo sustentable que eviten y regulen de forma efectiva la extracción excesiva. Pero, para que los programas de conservación funcionen, es prioritario que se disuada a la población de la compra de musgos y que se difunda entre el público en general el valor y la función ecológica de los musgos (veáse la **Figura 4**). La educación a diferentes niveles, a través de talleres, conferencias, redes sociales, blogs, contenidos audiovisuales, diseños de infografías y carteles, así como de exposiciones y recorridos de campo podría generar y aumentar una conciencia ecológica entre la población que favorezca el cuidado de estas plantas, de su hábitat, de los beneficios que nos aportan y de la importancia de hacer compras informadas y responsables.

María Isabel Agustín Jiménez

Universidad Autónoma del Estado de México.
magustinj001@alumno.uaemex.mx

Carmen Zepeda Gómez

Universidad Autónoma del Estado de México.
zepedac@uaemex.mx

Javier Manjarrez

Universidad Autónoma del Estado de México.
jsilva@uaemex.mx

Referencias específicas

- Acatitla, O., C. Villamil y J. L. Martínez (2020), “La importancia comercial de los musgos en el estado de Tlaxcala, México”, *Madera y Bosques*, 26(3):1-11.
- Delgadillo-Moya, C. (2022), “Cincuenta años de briología en México”, *Botanical Sciences*, 100(2):263-273.
- Delgadillo-Moya, C., D. A. Escolástico, E. Hernández-Rodríguez, P. Herrera-Paniagua, P. Peña-Retes y C. Juárez-Martínez (2022), *Manual de briofitas*, México, Instituto de Biología, UNAM.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2012), Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-005-Semarnat-2012, Gobierno de México. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5261563&fecha=30/07/2012&print=true, consultado el 4 de noviembre de 2024.
- Glime, J. M. (2017), “Meet the Bryophytes. Chapt. 2-1”, en J. M. Glime, *Bryophyte Ecology*. vol. 1: Physiological Ecology [eBook], Michigan Technological University e International Association of Bryologists. Disponible en: <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=bryo-ecol-subchapters>, consultado el 4 de noviembre de 2024.
- Goffinet, B. y A. J. Shaw (2009), *Bryophyte Biology*, Nueva York, Cambridge University Press.
- Harris, E. S. J. (2008), “Ethnobotany: traditional uses and folk classification of bryophytes”, *The Bryologist*, 111:169-217.
- Hernández-Rodríguez, E. y C. Delgadillo-Moya (2021), “The ethnobotany of bryophytes in Mexico”, *Botanical Sciences*, 99(1):13-27.
- Horn, A., A. Pascal, I. Lončarević, R. Volpatto Marques, Y. Lu *et al.* (2021), “Natural products from bryophytes: from basic biology to biotechnological applications”, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 40(3):191-217.