

Colaboradores escondidos – La Importancia de los Hongos en los Ecosistemas Información para Educación Ambiental

Meike Piepenbring¹,
Fausto López²,
Orlando Cáceres³.

¹ Department of Mycology, Cluster for Integrative Fungal Research (IPF), Goethe University Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 13, 60437 Frankfurt am Main, Germany.

² Departamento de Ciencias Naturales, Grupo de Investigación Gobernanza Biodiversidad y Áreas Protegidas (GO-BIO), Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

³ Centro de Investigaciones Micológicas (CIMi), Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Chiriquí, David, Panamá.

{piepenbring@bio.uni-frankfurt.de; fvlopezx@utpl.edu.ec; ocaceresmendez@gmail.com}

Recibido: 28.02.2016 / Revisado: 18.11.2016 / Aceptado: 22.12.2016.

© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

El presente trabajo está dirigido a personas con conocimiento básico en biología y con interés en aprender sobre hongos y sus funciones en ecosistemas naturales. En capítulos introductorios se presentan generalidades sobre los hongos, sus principales grupos sistemáticos e información sobre los nichos de hongos en la naturaleza. Luego se explican las funciones de los hongos como parte de cadenas alimenticias, así como su papel en descomposición de materia orgánica muerta, como simbiontes mutualísticos con plantas (micorrizas), como líquenes, parásitos y endófitos. Para cada grupo ecológico consideramos de manera teórica y algo simplificada que sucedería en un ecosistema sin la presencia del respectivo grupo. Queda evidente que los hongos son indispensables para los ciclos de nutrientes, el crecimiento de las plantas y el equilibrio ecológico, por lo que la presente publicación es un alegato para que los hongos se tomen en consideración en discusiones sobre funciones y servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

The present publication addresses persons with basic biological knowledge interested in learning about fungi and their functions in natural ecosystems. In introductory chapters, general knowledge on fungi, their most important systematic groups and their niches in nature are presented. This is followed by explanations of the functions of fungi as part of food chains, as decomposers of dead organic material, as mutualistic symbionts of plants (mycorrhiza), as lichens, parasites and endophytes. For each ecological group, we consider theoretically and somewhat simplified what would happen to the ecosystem without the presence of the respective group. Evidently, fungi are indispensable for nutrient cycles, for growth of plants, and the ecological equilibrium, so this publication is a plea for the consideration of fungi in discussions on ecosystem functions and services.

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Ascomycota, Basidiomycota, diversidad de hongos, equilibrio ecológico, hongos parásitos, hongos saprótrofos, micorriza; Ascomycota, Basidiomycota, diversity of fungi, ecological equilibrium, mycorrhiza, parasitic fungi, saprobic fungi

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas hay numerosas especies de plantas, animales, hongos y otros microorganismos que interactúan mutuamente y a menudo dependen unas de otras. De esta manera aseguran la sobrevivencia de muchas especies diferentes y funciones ecosistémicas tales como los ciclos de sustancias nutritivas y minerales, producción de humus, almacenamiento y purificación de agua, protección contra viento y erosión, almacenamiento de carbono, control de plagas y producción de alimentos. Para el desarrollo de programas de educación ambiental y estrategias para la protección de ecosistemas, a menudo solamente se consideran plantas y animales, sin tomar en cuenta la gran diversidad e importancia ecológica de microorganismos. De allí el interés en elaborar el presente material didáctico micológico, con el cual queremos llenar una parte de este vacío y ponerlo a disposición de profesores y guías naturalistas. En el mismo se muestran los numerosos papeles ecológicos que cumplen los hongos para el buen funcionamiento de los ecosistemas.

Vamos a conocer aspectos básicos micológicos, entrando a la ciencia de los hongos que se llama micología, ya que en griego, un "hongo" se denomina "mykes" (comp. Piepenbring 2015). Basado principalmente en observaciones en ecosistemas tropicales comprobamos que los hongos cumplen numerosas funciones ecológicas que son indispensables para un buen funcionamiento de los ecosistemas. No se trata de un documento científico en todos sus aspectos, ya que muchos aspectos son difíciles de probar científicamente. Esperamos que, como resultado de las ideas aquí presentadas, surjan proyectos de investigación para probar las hipótesis!

2. Biodiversidad

Se entiende por **diversidad biológica** o **biodiversidad** a la variedad de organismos vivos que forman parte de los ecosistemas terrestres y acuáticos. La biodiversidad se divide en tres niveles jerarquizados: genes, taxones (lo que son subespecies, especies, géneros, familias, órdenes, clases, divisiones, etc.) y ecosistemas (Wittig & Niekisch 2014). A nivel de las especies, se estima que existen aproximadamente 9 millones de especies eucarióticas en la tierra y en los océanos (Mora *et al.* 2011). Estas especies brindan muchos beneficios a la humanidad, referidos en valores de mercado y no mercado. El valor de los servicios ecosistémicos para la economía mundial ha sido estudiado por varios expertos, por ejemplo, Costanza *et al.* (1997) quienes estiman este valor entre 16 y 54 mil millones de dólares por año. Los estudios sobre la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB, por sus siglas en inglés) se dirigen hacia el desarrollo de una economía en la que los valores del capital natural y sus servicios ecosistémicos se ven reflejados en la toma de decisiones de empresarios y políticos (por ejemplo TEEB 2010). Sin embargo, muchos de los servicios ecosistémicos están o sub-valorados o ni siquiera se les ha asignado un valor financiero. Entre estos se encuentran los servicios que brindan los hongos.

3. Los Hongos

Un hongo es un organismo vivo caracterizado por ser mayormente inmóvil y por necesitar compuestos orgánicos de otros organismos (animales, plantas, otros hongos y bacterias) para su alimentación, por lo que es heterótrofo. No se puede desplazar como un animal ni puede usar la energía de la luz solar para sintetizar azúcares como las plantas verdes que son autótrofas. Los hongos no son ni animales ni plantas, sino que corresponden a un reino separado. Gracias a datos recientes de la ciencia sabemos que durante la evolución existía un ancestro común de animales y hongos hace aproximadamente mil millones de años (Fig. 1).

Hongos tales como el hongo matamoscas se notan fácilmente ya que desarrollan estructuras grandes, llamadas cuerpos fructíferos, para producir esporas (Figs. 2-3). Esporas son células microscópicas llevadas por el viento o el agua para la multiplicación y dispersión del hongo. Cuando hay humedad, una spora germina y desarrolla filamentos microscópicos llamados **hifas**. Numerosas hifas son evidentes como una red mayormente blanca llamada **micelio** (Fig. 4). Con sus hifas, el hongo coloniza el suelo, la madera u otro sustrato, lo manipula y se alimenta de las sustancias nutritivas liberadas por la manipulación. Las hifas además sirven al hongo para absorber agua y minerales del sustrato. Cuando el micelio adquiere suficientes sustancias nutritivas, los **macrohongos** desarrollan cuerpos fructíferos para su reproducción por medio de esporas. Otros hongos, como los mohos y levaduras, se reproducen directamente a partir de células microscópicas, sin formar cuerpos fructíferos. Los mohos crecen con hifas mientras que levaduras son hongos unicelulares que mayormente se multiplican por brotación. Se trata de hongos microscópicos o **microhongos**.

Para encontrar, degradar y absorber compuestos orgánicos de otros organismos, las diferentes especies de hongos tienen diferentes estrategias. Así, los hongos **saprótrofos** colonizan material orgánico muerto, como madera muerta, hojarasca o animales muertos. Otros hongos son capaces de atacar organismos vivos, plantas, animales u otros hongos, por lo que son **parásitos**. Los parásitos se aprovechan de nutrientes de otros organismos causando daños (enfermedades) a los organismos hospederos. Algunos hongos obtienen nutrientes de otros organismos vivos a cambio de otros servicios. Establecen una **simbiosis mutualística** con otro organismo, por ejemplo, en los casos de hongos micorrízicos (ver 4.5) y de hongos liquenizados (ver 4.7). Además, hay hongos comensales que viven en asociación con otro organismo vivo sin causarle daño y sin ayudarlo, como es el caso de muchos **hongos endófitos** (ver 4.9).

Conocemos aproximadamente 140.000 especies de hongos, pero hay un número muy elevado de especies, sobre todo microhongos, que no han sido descritas para la ciencia todavía. Se estima que existen aproximadamente 1.500.000 especies de hongos (Hawksworth 2001) o hasta más de 5.000.000 (O'Brien *et al.* 2005).

Las aproximadamente 140 mil especies conocidas de hongos se clasifican en géneros, familias, órdenes, clases y divisiones (también llamadas filos), que son categorías (taxones) cada vez más grandes. Para el propósito del presente documento se mencionan a continuación divisiones con nombres terminados en "-mycota", órdenes con nombres terminándose en "-ales" y géneros o especies con nombres científicos escritos en cursiva.

3.1. Basidiomycota

Las especies de Basidiomycota (Figs. 3, 5-9) desarrollan esporas sexuales (**basidiosporas**) en la superficie de células microscópicas llamadas **basidios** (Fig. 5). Dentro de esta división, especies de Agaricales mayormente presentan cuerpos fructíferos con esporas formadas por basidios en la superficie de lamelas, que son láminas ubicadas debajo de un sombrero llamado píleo (Fig. 3). Las especies de Boletales y Polyporales producen esporas en la superficie interior de tubos en el envés de píleos (Figs. 5-6). Cuerpos fructíferos de Boletales mayormente son suaves, efímeros y se localizan en el suelo mientras que los cuerpos fructíferos de Polyporales mayormente son duros, perennes y se localizan en madera muerta o en árboles débiles.

Las especies de Ustilaginales y órdenes afines causan enfermedades llamadas carbones en plantas. En el caso de *Ustilago maydis*, por ejemplo, un gran número de esporas salen de agallas formadas en las mazorcas de maíz bajo la influencia del hongo (Fig. 7). Las especies de Pucciniales también son parásitos de plantas en las cuales causan enfermedades llamadas royas. Hay numerosas royas en gramíneas en las cuales causan manchas con esporas microscópicas (Fig. 8).

3.2. Ascomycota

Las especies de Ascomycota (Figs. 10-16) desarrollan esporas sexuales (**ascosporas**) dentro de células microscópicas llamadas **asco** (Fig. 10). Las especies de Pezizales (Fig. 11) presentan ascos en la superficie interior de copas (apotecios), mientras que en especies de Xylariales e Hypocreales los ascos están ubicados en cavidades más o menos esféricas llamadas peritecio (Figs. 12-13). Cada peritecio tiene un hueco en su punta a través del cual salen las ascosporas. Numerosos peritecios están ubicados en un estroma que puede tener la forma de un bate.

Otras especies de Ascomycota son parásitos de plantas, como las especies de Erysiphales o Meliolales causando mildiú pulverulento o mildiú negro respectivamente (Figs. 14-15). Los ascos de estos hongos se ubican en cuerpos fructíferos esféricos que están cerrados (cleistotecios) en el caso de los Erysiphales, o tienen un hueco (peritecios) en el caso de los Meliolales. El grupo de los Eurotiales comprende muchos mohos (Fig. 16), mientras que las especies de Lecanorales y de otros órdenes viven en simbiosis con algas formando líquenes (ver 4.7).

3.3. Hongos de Otros Grupos

En los Basidiomycota y Ascomycota se clasifica aproximadamente el 90 % de las especies conocidas de hongos. Se trata de hongos verdaderos que corresponden al reino de los hongos o Fungi. Dentro de este grupo de los hongos verdaderos además hay mohos clasificados en Zygomycota y especies de Glomeromycota que son importantes como hongos formadores de micorrizas.

Las especies de Oomycota no son hongos verdaderos sino organismos similares a hongos con lazos de parentesco con ciertas algas. Este grupo incluye como órdenes importantes los Saproleginales o mohos acuáticos (Fig. 17) y los Peronosporales, parásitos de plantas que causan enfermedades llamadas mildiú lanoso (Figs. 18).

Además, hay grupos de organismos similares a hongos entre grupos de amebas, por ejemplo los hongos mucilaginosos (*Myxogastria*).

3.4. Dónde se Encuentran los Hongos en la Naturaleza?

Las células de hongos están presentes en todas partes donde haya vida, en el suelo, en el agua, en el aire, en todas las superficies y dentro de plantas, animales y otros hongos. Generalmente no nos damos cuenta de ellas porque se trata de células microscópicas. Diferentes grupos de hongos son más o menos específicos de diferentes sustratos, como se puede apreciar en la Figura 19.

4. Las Funciones Ecológicas de los Hongos

Todos los hongos presentes en la naturaleza interactúan con otros organismos y afectan factores abióticos, lo que bajo condiciones naturales resulta en un ecosistema estable con una gran diversidad de plantas, animales y hongos (Fig. 20).

4.1. Hongos en las Cadenas Alimenticias

Las células de los hongos, sean esporas, hifas o cuerpos fructíferos, sirven como fuente de nutrición para animales, tales como nemátodos, ácaros, colémbolos, insectos, babosas, caracoles, aves y mamíferos tales como ardillas, venado, chanchos y los hombres (Figs. 21-22). Hay varios grupos de insectos que depositan sus huevos en cuerpos fructíferos de hongos, donde nacen las larvas y se alimentan del tejido del hongo (Fig. 23). Los animales que cambian de sitio de alimentación llevan consigo esporas y de esta manera contribuyen a la diseminación del hongo.

Debido a su capacidad de degradar la madera y otros órganos de plantas (ver 4.2), los hongos a menudo preparan este material haciéndolo digerible para otros organismos. Muchos insectos y otros animales invertebrados comen material orgánico muerto predigerido por hongos – sin los hongos, los animales no podrían sobrevivir, ya que este material no contiene suficientes compuestos con nitrógeno. Algunos insectos cultivan ciertos hongos sobre hojas cortadas o madera, como es el caso de hormigas cortadoras de hojas y ciertas termitas, respectivamente (Figs. 24-25). Estos insectos luego comen células fúngicas (hormigas cortadoras) o la madera con el hongo (termitas).

Existen hongos microscópicos que viven dentro del tubo digestivo de animales donde, conjuntamente con bacterias y protozoarios, descomponen compuestos orgánicos difíciles de degradar.

Sin la presencia de hongos, muchos animales tendrían menos comida y la materia orgánica de plantas (sobre todo la madera) no sería comestible para muchos animales.

4.2. Hongos Saprótrofos en la Superficie de Suelos

Los hongos son capaces de degradar la madera muerta y demás "desechos" de las plantas (hojas, flores, frutos; Figs. 26-27). Bajo condiciones húmedas con calor, como en el clima tropical húmedo, los hongos fácilmente atacan estos sustratos. Insectos, lombrices y/o otros animales pueden contribuir a la degradación por triturar el material orgánico y por integrarlo al suelo por bioturbación (ver 4.3). De esta manera facilitan la degradación de este material por células fúngicas y bacterias.

Los hongos degradan la celulosa y la lignina, que solamente algunas bacterias también son capaces de descomponer. Sin la actividad de los hongos, este material vegetal muerto se acumularía en la superficie del suelo de los bosques. De igual manera se acumularían los excrementos (Figs. 28-29) y organismos muertos que bajo condiciones naturales son degradados en primer lugar por hongos y bacterias. Debido a la actividad de los hongos, los nutrientes presentes en materia muerta se liberan y son accesibles para otros organismos (Fig. 30a). Gracias a los hongos, funcionan los ciclos del carbono, del nitrógeno (abono) y de otros nutrientes. Los hongos son responsables de limpiar el bosque y de reciclar el material orgánico muerto.

Sin hongos saprótrofos en un bosque, éste se asfixiaría debido a una capa orgánica muy gruesa en el suelo (Fig. 30b). Esta capa gruesa haría muy difícil el intercambio de gases necesario para un suelo biológicamente activo e impediría el crecimiento de plántulas. A largo plazo, los árboles de un bosque sin hongos saprótrofos se morirían por falta de nutrientes y oxígeno a nivel de sus raíces, por lo que posiblemente iniciaría un proceso de desertificación con la capa orgánica siendo erosionada por viento y agua (Figs. 30c-e). Estos esquemas, sin embargo, son hipotéticos, porque en la naturaleza el proceso dependería de muchos factores del clima, suelo y otros organismos presentes. Bacterias, por ejemplo, eventualmente podrían asumir estas funciones ecológicas de los hongos.

Los grupos de hongos importantes para la descomposición de madera son los Polyporales (Figs. 6, 9, 21), Xylariales (Figs. 10, 12) y ciertas especies de Agaricales (Figs. 9, 22), entre muchos otros. En hojas muertas se distinguen sobre todo especies de Agaricales y numerosos hongos microscópicos, en su mayoría de Ascomycota. En excrementos a menudo se observan especies de Zygomycota (Fig. 28) y ciertas especies de Pezizales (Ascomycota; Fig. 29).

4.3. Hongos Saprótrofos en el Suelo

Los suelos están compuestos por minerales (rocas), material orgánico muerto (humus), agua y aire. El material orgánico muerto sirve como alimento para hongos, bacterias y pequeños animales (p.ej., nemátodos, anélidos, ácaros, insectos), que son muy importantes para que el suelo sea propicio para el crecimiento de plantas. Por degradar el material orgánico muerto, los hongos saprótrofos presentes en el suelo contribuyen a los ciclos de sustancias nutritivas, liberando azúcares, compuestos con nitrógeno o fósforo y otras sustancias nutritivas que luego pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas (van der Heijden *et al.* 2008; Fig. 31). Con sus hifas microscópicas, los hongos penetran en cavidades diminutas de partículas del suelo donde absorben agua y minerales.

Las redes de hifas de los hongos retienen el agua por lo que contribuyen a su almacenamiento. Por entrelazar partículas del suelo además ayudan a que el suelo sea resistente a la erosión. Algunos hongos filamentosos y ciertas levaduras (Fig. 19), por ejemplo, especies de *Cryptococcus* y *Lipomyces* (Botha 2011), secretan sustancias gelatinosas que incrementan estos efectos y contribuyen a que el agua no pueda llevar tantos minerales y otras sustancias nutritivas. La gran biomasa de células fúngicas en el suelo también es importante para el almacenamiento de carbono.

Sin los hongos y bacterias en los suelos, el material orgánico se acumularía sin que las sustancias que contiene puedan reintegrarse a los ciclos de nutrientes, el suelo podría retener menos agua y podría ser lavado y erosionado por ésta. Por ende, sin los hongos (ni bacterias), muchos suelos serían menos fértiles y más degradados y difícilmente podrían ser colonizados por las plantas.

Los hongos importantes en el suelo son especies que pertenecen a Agaricales, Eurotiales, Hypocreales y Zygomycota, entre otros.

4.4. Hongos Saprótrofos en el Agua

Hay hongos adaptados a una vida en el agua donde crecen y se multiplican completamente sumergidos, como es el caso de los hongos acuáticos llamados hifomicetos Ingoldianos (Fig. 32), o viven tanto en el agua como en contacto con el aire, como es el caso de los hongos terrestre-acuáticos y los áero-acuáticos. Además, hay mohos acuáticos clasificados en Saprolegniales (Oomycota) que colonizan tanto material vegetal (p.ej. semillas, Fig. 33) como animal (Fig. 17). Para alimentarse descomponen el material orgánico muerto en el agua, sobre todo hojas muertas, otro material vegetal y animales muertos. De esta manera limpian el agua y contribuyen a una buena aireación y ciclos de sustancias nutritivas. La acción de los hongos saprótrofos en material vegetal muerto mejora la palatabilidad del mismo material para otros organismos que se alimentan de ella y contribuyen además con el balance energético de los cuerpos de agua (Pinto & Smits 2012).

Junto con otros microorganismos, los hongos contribuyen a la impermeabilidad del lecho de agua con los desechos de la degradación del material vegetal. Esto evita que el agua se filtre rápidamente en el sustrato y que los cuerpos de agua se sequen rápidamente. Los hifomicetos acuáticos están ligados en su mayoría a la buena calidad microbiológica y fisicoquímica del agua y por tanto pueden ser bioindicadores de la calidad de la misma (Fernández *et al.* 2010).

Sin la presencia de los hongos en el agua, el material orgánico se acumularía lo que resultaría en una putrefacción sin oxígeno (anaeróbica) que afectaría los organismos vivos en el agua y sin su acción degradadora se rompería el balance energético de los cuerpos de agua.

Se observa que agua recogida por pozos en los sedimentos al lado de un cuerpo de agua (zona subrética) es más limpia que el agua del río o lago. Probablemente, los hongos presentes en el sustrato debajo y al lado del cuerpo de agua, junto con otros microorganismos y el mismo sustrato participan en la limpieza del agua filtrada.

4.5. Hongos Micorrízicos

Los hongos micorrízicos crecen con sus hifas en el suelo donde absorben agua, minerales y compuestos con nitrógeno o fósforo. Utilizan una parte del agua y de las sustancias nutritivas para su propio desarrollo, la otra parte la entregan a una planta verde a nivel de sus raíces (Figs. 34, 40). Para eso, las hifas del hongo establecen contactos muy estrechos con las células de las raíces finas de las plantas, formando micorrizas, del griego "hongo" y "raíz" (Smith & Read 2008). Como recompensa, la planta comparte sus azúcares con el hongo. Probablemente más del 90 % de las especies de plantas terrestres tienen asociaciones micorrízicas a nivel de sus raíces (Kottke 2016).

Sin la ayuda de los hongos micorrízicos, el crecimiento de las plantas sería menos vigoroso, serían más susceptibles a sequías, a enfermedades y a metales tóxicos en el suelo (Figs. 41a, b). Sin hongos micorrízicos habría menos bosque y menos crecimiento de hierbas, en ecosistemas naturales y en la agricultura (Gianinazzi *et al.* 2010).

Hongos importantes como hongos micorrízicos se encuentran clasificados sobre todo en Boletales (Fig. 5), Russulales y Glomeromycota. Además, hay especies micorrízicas en los Agaricales y en muchos otros grupos. Diferentes grupos de plantas se asocian con ciertos grupos de hongos micorrízicos más o menos específicamente.

4.6. Hongos en el Dosel de los Árboles

Sobre todo en bosques tropicales húmedos, numerosos hongos de toda clase, saprótrofos, parásitos y hongos en simbiosis mutualista, crecen vigorosamente en el dosel de los árboles. Hongos saprótrofos descomponen ramas muertas del árbol contribuyendo a la reducción de ramas debajo de ramas con hojas verdes y a un crecimiento recto del tronco (Figs. 35-36). Colonizan hojas y ramitas muertas en el dosel de los árboles y por entrelazar hojas muertas y ramas con sus hifas ayudan a que no se caigan al suelo (Figs. 37-38). De esta manera, material orgánico muerto se acumula en las copas de los árboles que finalmente ayuda a retener agua y sirve como sustrato para bromelias, orquídeas, helechos y otras plantas epífitas en bosques húmedos tropicales (Fig. 39). Por su actividad degradadora, los hongos liberan sustancias nutritivas que las plantas epífitas absorben con sus raíces.

Las orquídeas albergan hongos micorrízicos en ciertas células de sus raíces. Al digerir las células fúngicas que están dentro de sus propias células, la orquídea obtiene sustancias nutritivas importantes para su desarrollo. De igual manera, las especies trepadoras y epífitas de Ericaceae en el neotrópico presentan micorrizas específicas.

Por degradar madera muerta de árboles vivos o muertos, los hongos crean numerosos nichos para anidamientos de aves, escondrijos o nichos para murciélagos, insectos, arañas y otros animales.

Sin la acción degradadora de los hongos en el dosel de los árboles habría más ramas muertas en los bosques inhibiendo el paso de la luz del sol, y por tanto menos sustancias nutritivas disponibles y menor crecimiento de plantas epífitas en bosques húmedos (ver también líquenes, ver 4.7).

4.7. Hongos Liquenizados

Los líquenes son hongos que obtienen los compuestos orgánicos indispensables para sobrevivir y crecer de **fotobiontes**, que son algas verdes o cianobacterias, que captan la energía de la luz del sol para sintetizar azúcares. Los hongos liquenizados no pueden vivir sin sus fotobiontes, mientras que el alga y la cianobacteria pueden sobrevivir sin el hongo en condiciones favorables para su desarrollo. El hongo (**micobionte**) forma con sus hifas la estructura del líquen, llamada talo, y protege las algas o las cianobacterias contra rayos solares fuertes, desecación y animales que quieren consumirlos (Figs. 10, 42-43). Como ambos, el hongo y el fotobionte, se ayudan mutuamente se trata de una simbiosis mutualista.

Los líquenes son pioneros que colonizan sustratos baldíos y expuestos al sol, como rocas en montañas o en la orilla del mar, ramas en el dosel de los árboles o suelos expuestos al sol (Figs. 44-45). También crecen en la superficie de troncos y hojas creando un hábitat para organismos epífilos tales como otros hongos, algas, bacterias, musgos y animales (Figs. 46-47).

Los líquenes contribuyen a su hábitat con sustancias nutritivas resultado de la fotosíntesis del alga o de la cianobacteria. Las cianobacterias además son capaces de captar y de fijar el nitrógeno del aire y de integrarlo en compuestos orgánicos. Una baja concentración de compuestos con nitrógeno a menudo es el factor limitante para el crecimiento de plantas en suelos pobres, por lo que las actividades metabólicas de cianolíquenes son muy importantes para estos ecosistemas.

Los talos de los líquenes captan el agua de neblina con una gran superficie (Fig. 48) y absorben agua como esponjas por lo que contribuyen a retener la humedad en su hábitat. Por eso y por producir sustancias nutritivas contribuyen a un crecimiento vigoroso de plantas epífitas en el dosel de los árboles.

Sin los hongos liquenizados, la colonización de sustratos desnudos por microorganismos y plantas sería más lento. Sin estos hongos, los suelos y el dosel de los árboles serían más pobres en sustancias nutritivas y la capacidad de la vegetación de retener el agua sería menor.

4.8. Hongos Parásitos

Hay hongos parásitos de otros hongos, de plantas o de animales. Mayormente son específicos de ciertos grupos de organismos hospederos y causan enfermedades que pueden ser fatales o no.

Desde el punto de vista del ser humano, numerosos hongos parásitos son dañinos debido a que infectan plantas cultivadas reduciendo la cantidad y la calidad de cosechas, animales domésticos o el ser humano. En los ecosistemas, sin embargo, son importantes porque afectan sobre todo individuos débiles y de esta manera realizan una selección natural.

Cuando un organismo está presente en un ecosistema con una abundancia exagerada se convierte en una plaga. Esta situación a menudo es el resultado de un desequilibrio causado por el ser humano, que establece un monocultivo o cría un número elevado de animales en un espacio

reducido, que introduce especies no nativas para la región, causa contaminación ambiental o cambios climáticos que reducen las defensas de los organismos hospederos.

Cuando la población de un organismo crece desmesuradamente, es fácil para las esporas de hongos parásitos encontrar este hospedero. Por lo tanto, la incidencia de hospederos infectados aumenta y disminuye el número de individuos de la especie hospedera. La incidencia del hongo parásito decrece conjuntamente con la población del hospedero. De esta manera, los hongos parásitos contribuyen al equilibrio ecológico de las poblaciones dentro de un ecosistema. Los parásitos coayudan para que en un ecosistema conviva una gran diversidad de especies de plantas y animales (p.ej. Bagchi *et al.* 2014).

Como ejemplos, se presentan aquí dos pares de esquemas didácticos. En la figura 50a, un hongo parásito de cierto insecto (entomopatógeno) controla la abundancia del gusano. Sin la presencia del hongo, el gusano se convierte en una plaga (Fig. 50b). El hongo puede ser una especie de Hypocreales ya que dentro de este orden se agrupan importantes parásitos de insectos o de arañas (comp. Fig. 13). Además, las especies del orden de los Entomophthorales (Zygomycota) son entomopatógenos.

En las figuras 51a y b se nota el efecto de hongos parásitos de especies específicas de plantas (fitopatógenos) sobre la diversidad de especies de plantas en un ecosistema. Sin estos patógenos específicos hay menos diversidad de especies de plantas ya que falta el control de especies dominantes.

Los grupos de hongos importantes como parásitos de plantas son las royas (Pucciniales), los carbonos (Ustilaginales y otros) y diferentes grupos de mildius (Erysiphales, Meliolales, Peronosporales), entre otros (Figs. 7-8, 14-15, 18).

Batrachochytrium dendrobatidis es un hongo microscópico que causa una enfermedad mortal para muchas especies de ranas y tritones (Fig. 49) y aparentemente llevó a la extinción varias especies a nivel mundial.

4.9. Hongos Endófitos

Los hongos endófitos son microhongos que crecen con sus hifas dentro de plantas vivas. Como se trata de una gran diversidad de hongos mayormente poco específicos y como las plantas generalmente no reflejan su presencia, se supone que la mayoría de los hongos endófitos son comensales.

En el caso de ciertas especies de hongos endófitos, sin embargo, se sabe que producen compuestos tóxicos que ayudan a la planta contra animales herbívoros. Otros hongos endófitos protegen las plantas contra ciertas enfermedades. En estos casos el endofitismo corresponde a una simbiosis mutualista (Schardl *et al.* 2007).

Sin embargo, ignoramos muchos detalles de las interacciones entre hongos, plantas, animales y otros microorganismos.

4.10. Hongos en el aire

Las esporas de muchos hongos están presentes en el aire donde los vientos las transportan hasta que caen en algún sustrato. Si este sustrato es húmedo, presenta sustancias nutritivas y otras propiedades específicas y necesarias para una especie específica de hongo, la espora germina y coloniza un nuevo sitio.

Mientras que las esporas están en el aire, absorben la energía de rayos solares. También participan en la formación de gotas de agua (nubes) y cristales de agua (Elbert *et al.* 2007).

CONCLUSIÓN

Los hongos desempeñan papeles muy importantes para asegurar el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, contribuyen al equilibrio ecológico y son indispensables para un crecimiento próspero de plantas y otros organismos. De manera directa o indirecta permiten que los ecosistemas brinden **funciones ecosistémicas** tales como (adaptado de Wittig & Niekisch 2014):

- degradación y reciclaje de material orgánico muerto, ciclos de minerales y nutrientes,
- ayuda para el crecimiento vigoroso de las plantas (a pesar de suelos pobres, contaminados, sequía y agentes patógenos),
- almacenamiento de agua,
- protección contra erosión (desertificación),
- colonización de superficies baldías y contribución de compuestos orgánicos que facilitarán el crecimiento de otros organismos,
- limpieza del agua y
- alimento para animales.

Además, los hongos parásitos contribuyen a mantener una diversidad elevada de especies de animales y plantas lo que son importantes para la estabilidad de los ecosistemas y su capacidad de recuperarse después de ser perturbados (p.ej., Forest *et al.* 2015).

Muchas de estas funciones ecosistémicas de los hongos son fundamentales para los **servicios ecosistémicos**, es decir, son bases para la vida humana en el planeta, directamente o por permitir un crecimiento vigoroso de plantas. Los hongos junto con las plantas brindan protección contra inundaciones, contra el viento, la desertificación, contribuyen al almacenamiento de CO₂, la regeneración de suelos, el control de plagas y a la producción de alimentos, madera y medicina.

El ser humano está destruyendo los ecosistemas naturales por deforestación, cambio de uso del suelo, cambio climático y la introducción de especies invasoras. Los hongos pueden ayudar a

amortiguar los efectos de estos impactos del ser humano sobre ecosistemas, a menudo, sin que nosotros nos demos cuenta y sin que los científicos hayan entendido como. No sabemos hasta qué punto los ecosistemas podrán resistir.

Tampoco sabemos a ciencia cierta como un ecosistema cambiaría al momento de quitarle cierto grupo de hongos, tal como se presentó en los capítulos 4.2 a 4.8. Además de los hongos, un ecosistema comprende una gran diversidad de animales, plantas, bacterias y otros microorganismos que también reaccionarían de una u otra manera, por lo que es imposible saber que pasaría exactamente. Cada ecosistema puede cambiar de manera distinta, dependiendo de los organismos presentes en él, del clima y del tipo de suelo. Por eso, las ideas aquí presentadas son hipótesis de investigación, que solo parcialmente han sido comprobadas científicamente hasta ahora.

A pesar de que nuestro conocimiento de los hongos y de la dinámica de los ecosistemas sea incompleto, es muy importante tomar en cuenta la diversidad fúngica cuando se desarrollan estrategias para la conservación (áreas protegidas). Al momento de proteger un área con vegetación diversa y material orgánico muerto, también se protegen los hongos presentes en el área. Por aumentar el número de nichos diferentes, las esporas de una gran diversidad de hongos encontrarán sustratos adecuados y aumentará la diversidad de hongos en el área protegida sin que el hombre tenga que intervenir.

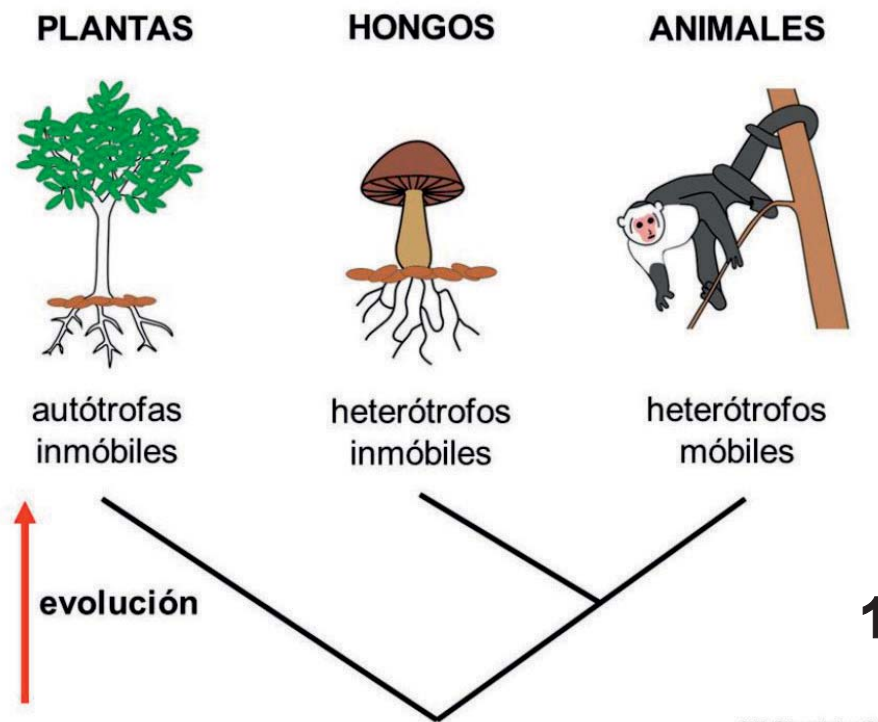
AGRADECIMIENTOS

El presente documento es el resultado de una gira biológica conservacionista realizada para conocer proyectos de protección del medio ambiente en Costa Rica realizados por la ONG Tropic Verde e.V. Dicha actividad se desarrolló del 2 al 9 de enero del 2015 con apoyo del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). Agradecemos la colaboración de N. Fattouh y A. Malsy por su contribución de conocimiento sobre hongos en suelos y los apoyos institucionales brindados por la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) y la Universidad Autónoma de Chiriquí (Panamá). Este trabajo fue apoyado por la iniciativa de excelencia LOEWE del estado de Hessen en el marco del grupo de Integrative Fungal Research (IPF).

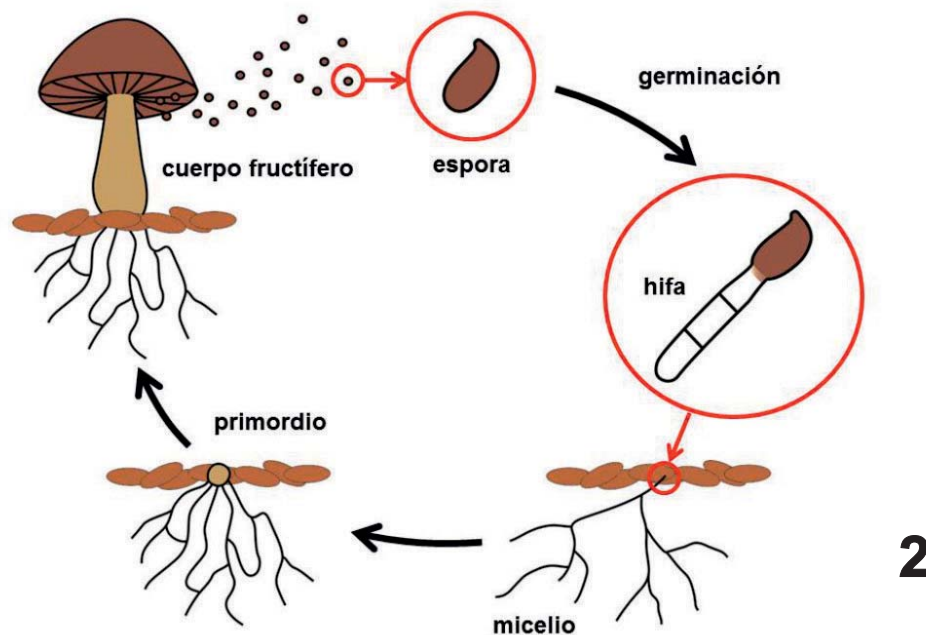
REFERENCIAS

- Bagchi, R., R.E. Gallery, S. Gripenberg, S.J. Gurr, L. Narayan, C.E. Addis, R.P. Freckleton & O.T. Lewis. 2014. Pathogens and insect herbivores drive rainforest plant diversity and composition. *Nature* 506: 85–88.
- Botha, A. 2011. The importance and ecology of yeasts in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 1–8.
- Costanza, R., R. d'Arge, R.D. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M.V.D. Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Elbert, W., P.E. Taylor, M.O. Andreae & U. Pöschl. 2007. Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: wet and dry discharged spores, carbohydrates, and inorganic ions. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 4569–4588.
- Fernández, D.R., G. Smits & M. Pinto. 2010. Características e importancia de los hifomicetos acuáticos y registro de especies en Venezuela. Features and importance of aquatic hyphomycetes and species reports in Venezuela. *Revista Farauta de Ciencia y Tecnología* 5: 56–73.
- Forest, I. con 36 coautores. 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526: 574–577.
- Gianinazzi, S., A. Golotte, M.-N. Binet, D. van Tuinen, D. Redecker & D. Wipf. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20: 519–530.
- Hawksworth, D.L. 2001. The magnitude of fungal diversity: The 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105: 1422–1432.
- Kottke, I. 2016. Mykorrhiza, Pilz-Wurzel-Symbiosen, von Netzwerken zum Nährstoffaustausch, eine Einführung. Wikibooks, https://de.wikibooks.org/wiki/Mykorrhiza_%E2%80%93_Pilz-Wurzel-Symbiosen/_Druckversion [consultado 2016]
- Mora, C., D.P. Tittensor, S. Adl, A.G.B. Simpson & B. Worm. 2011. How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biol* 9(8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127
- O'Brien, B.L., J.L. Parrent, J.A. Jackson, J.M. Moncalvo & R. Vilgalys. 2005. Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 5544–5550.
- Piepenbring, M. 2015. Introduction to mycology in the tropics / Introducción a la micología en los trópicos. APS Press, St. Paul, 366 pages.

- Pinto, M. & G. Smits. 2012. Evaluación preliminar de la riqueza de especies de hifomicetos acuáticos en ríos de la vertiente norte de la Cordillera de la Costa, estado Aragua-Venezuela / Preliminary assessment of the species richness of aquatic hyphomycetes in rivers of the northern slope of the Cordillera de la Costa, Aragua state-Venezuela. *Revista Intropica* 7: 31–36.
- Schardl, C.L., R.B. Grossman, P. Nagabhyru, J.R. Faulkner & U.P. Mallik. 2007. Loline alkaloids: currencies of mutualism. *Phytochemistry* 68:980–996.
- Smith, S.E. & D.J. Read. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. 3rd ed. Academic Press, Elsevier.
- TEEB. 2010. La economía de los ecosistemas y la diversidad: incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza. Una síntesis del enfoque, las conclusiones y las recomendaciones del estudio TEEB. http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Synthesis%20report/Synthesis%20report_Spanish.pdf [consultado 7 de junio 2015]
- Van der Heijden, M.G.A., R.D. Bardgett & N.M. Van Straalen. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology letters* 11: 296–310.
- Wittig, R. & M. Niekisch. 2014. *Biodiversität: Grundlagen, Gefährdung, Schutz*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

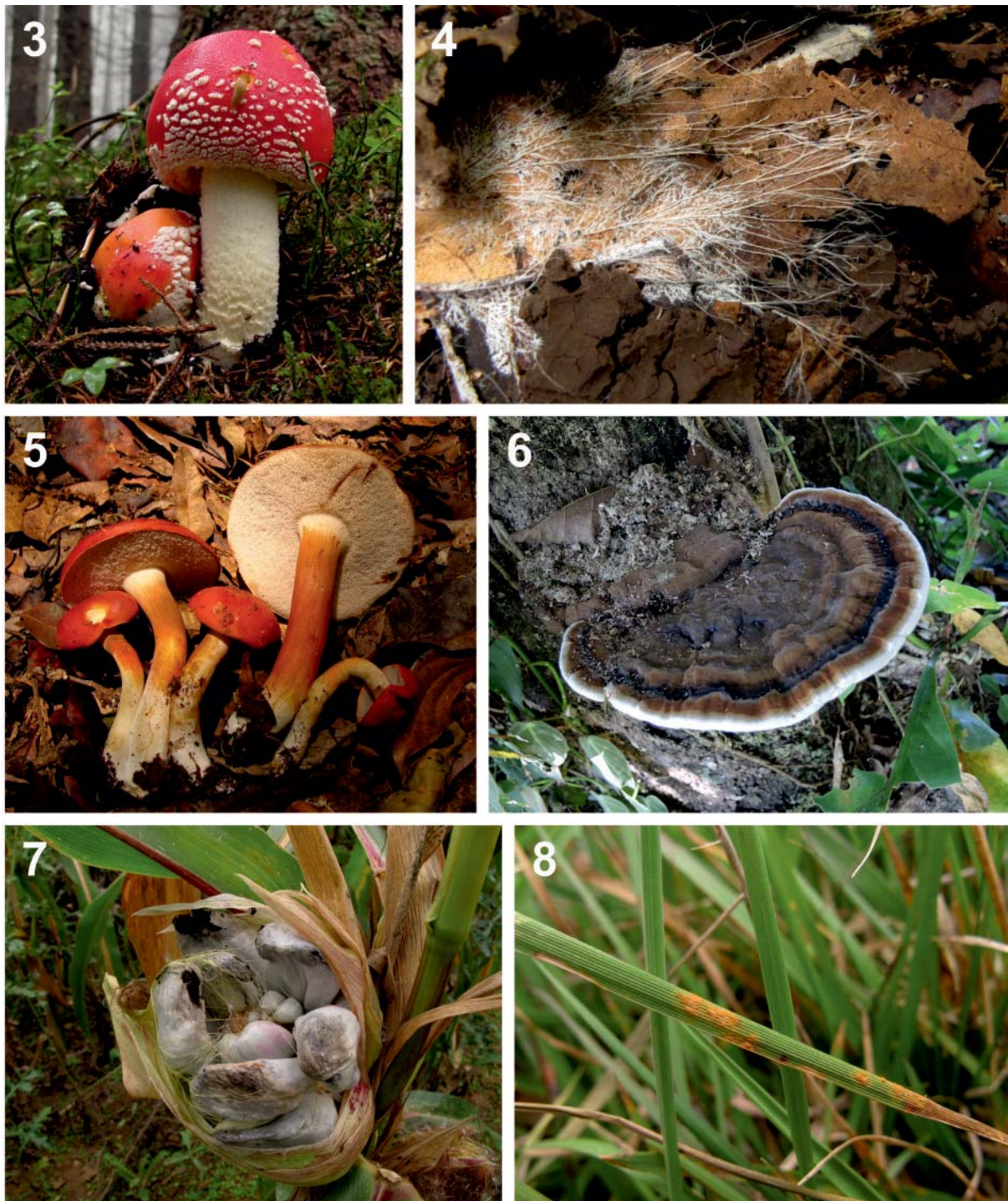


© M. Piepenbring, CC BY-SA

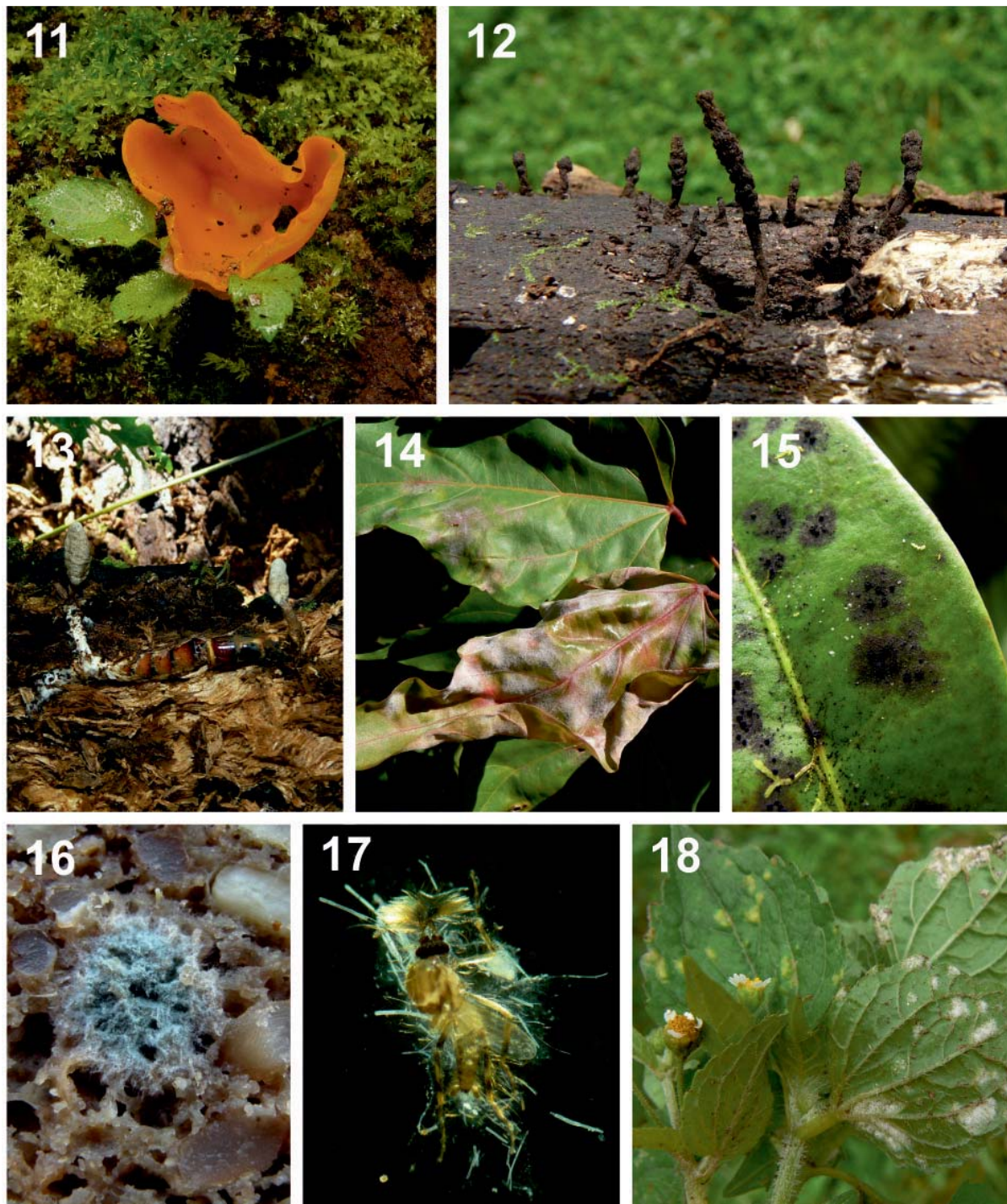


© M. Piepenbring, CC BY-SA

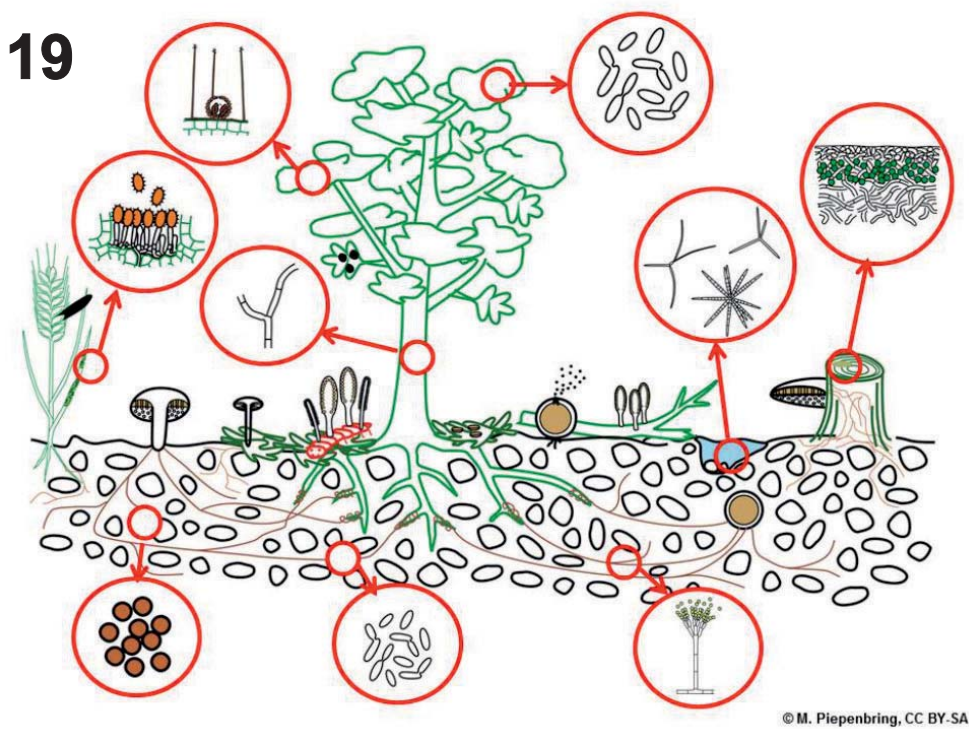
Figuras 1-2. Fig. 1. Árbol genealógico muy simplificado y caracterización resumida de los reinos de plantas, hongos y animales. Fig. 2. El ciclo de vida de un macrohongo.



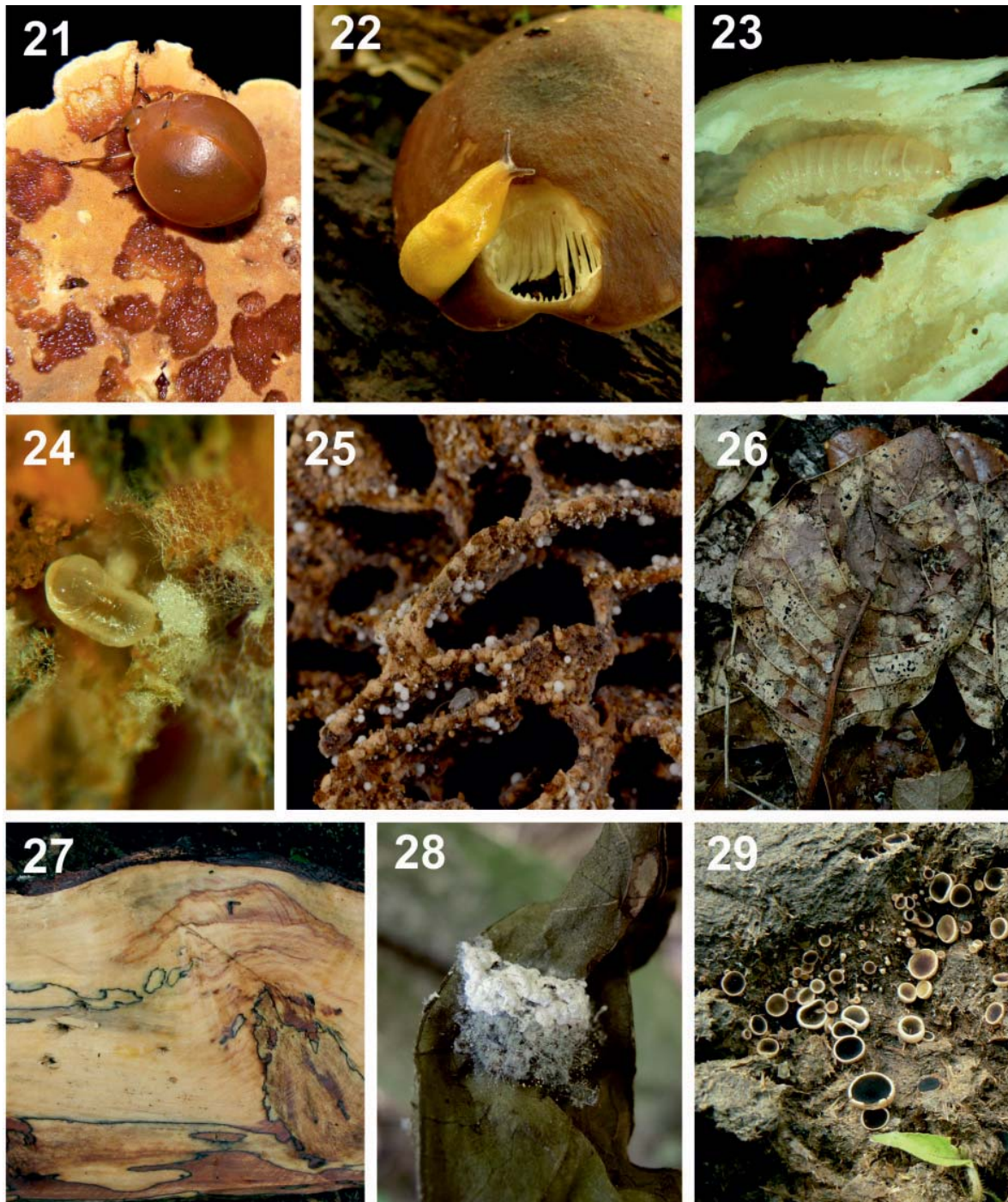
Figuras 3-8. **Fig. 3.** Cuerpos fructíferos del hongo matamoscas (*Amanita muscaria*). **Fig. 4.** Micelio en hojarasca en el suelo de un bosque. **Fig. 5.** *Tylopilus ballouii*, una especie de Boletales (Basidiomycota). **Fig. 6.** *Ganoderma* sp., una especie de Polyporales (Basidiomycota). **Fig. 7.** El carbón del maíz causado por *Ustilago maydis* (Ustilaginales, Basidiomycota) en una planta de maíz. **Fig. 8.** La roya *Puccinia coronata* (Pucciniales, Basidiomycota) en la hoja de una gramínea.



Figuras 11-18. **Fig. 11.** *Aleuria aurantia*, una especie de Pezizales (Ascomycota). **Fig. 12.** *Xylaria* sp., una especie de Xylariales (Ascomycota) que descompone la madera. **Fig. 13.** *Cordyceps* sp., un hongo parásito de una larva de un coleóptero (Hypocreales, Ascomycota). **Fig. 14.** Un mildiú pulverulento (Erysiphales, Ascomycota) en hojas de *Bixa orellana*. **Fig. 15.** Un mildiú negro (Meliolales, Ascomycota) en una hoja. **Fig. 16.** Un moho, *Penicillium decumbens* (Eurotiales, Ascomycota) en pan. **Fig. 17.** Una especie de Saprolegniales (Oomycota) en un mosquito muerto en agua. **Fig. 18.** Mildiú lanoso causado por una especie de Peronosporales (Oomycota) en *Galinsoga* sp.



Figuras 19-20. Fig. 19. Ubicación de hongos en un ecosistema. **Fig. 20.** Esquema didáctico de un bosque natural sano tomando en cuenta árboles (sin flores y frutos), una orquídea epífita, animales (representados por gusanos) y hongos.



Figuras 21-29. **Fig. 21.** Un coleóptero comiendo los poros de un cuerpo fructífero de Polyporales. **Fig. 22.** Una babosa comiendo un cuerpo fructífero de Agaricales. **Fig. 23.** Larva de un insecto dentro de un cuerpo fructífero. **Fig. 24.** Una larva de una hormiga cortadora de hojas junto con el hongo cultivado en hojas masticadas. El hongo forma cuerpos alimenticios blancos llamados bromacios. **Fig. 25.** Una termita rodeada por paredes formadas por madera masticada penetrada por el hongo cultivado. Éste desarrolla cuerpos blancos llamados "cabezitas de hongo". (foto cortesía de M. Merbach) **Fig. 26.** Hongos descomponiendo hojas. **Fig. 27.** Hongos descomponiendo madera. **Fig. 28.** Una especie de Zygomycota en excremento de ave. **Fig. 29.** Apotecios de *Ascobolus scatigenus* (Pezizales) en excremento de vaca.

30

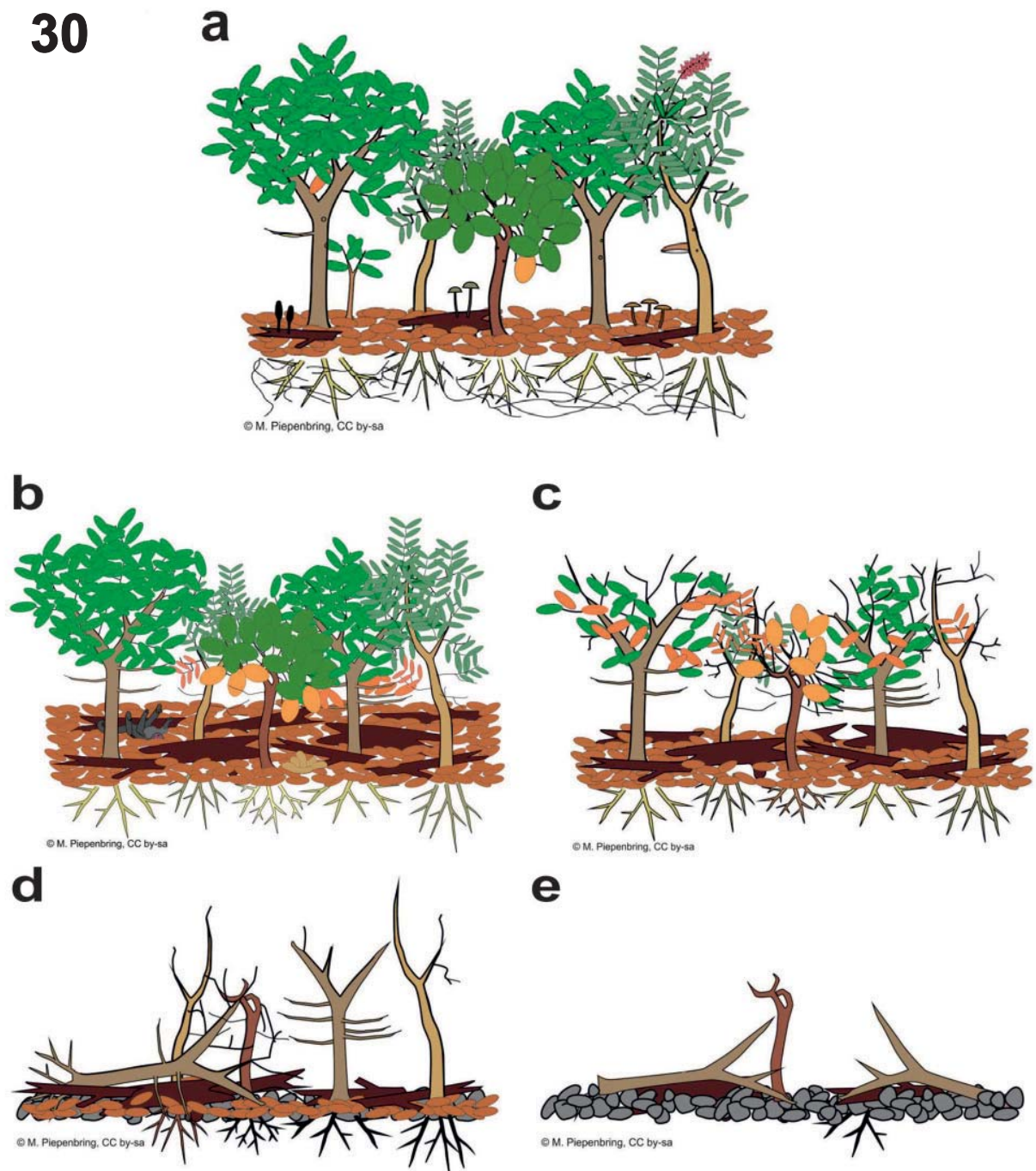
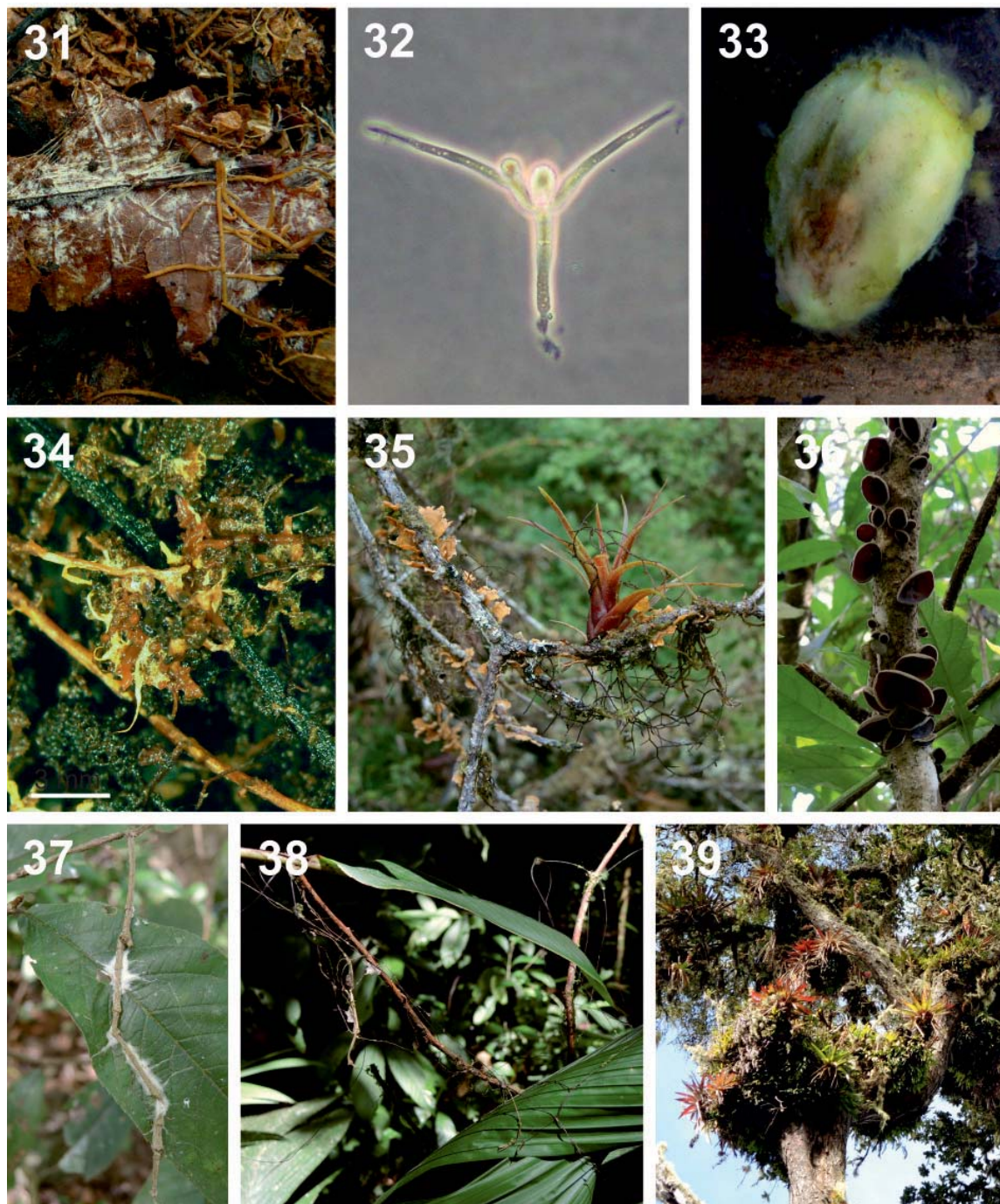
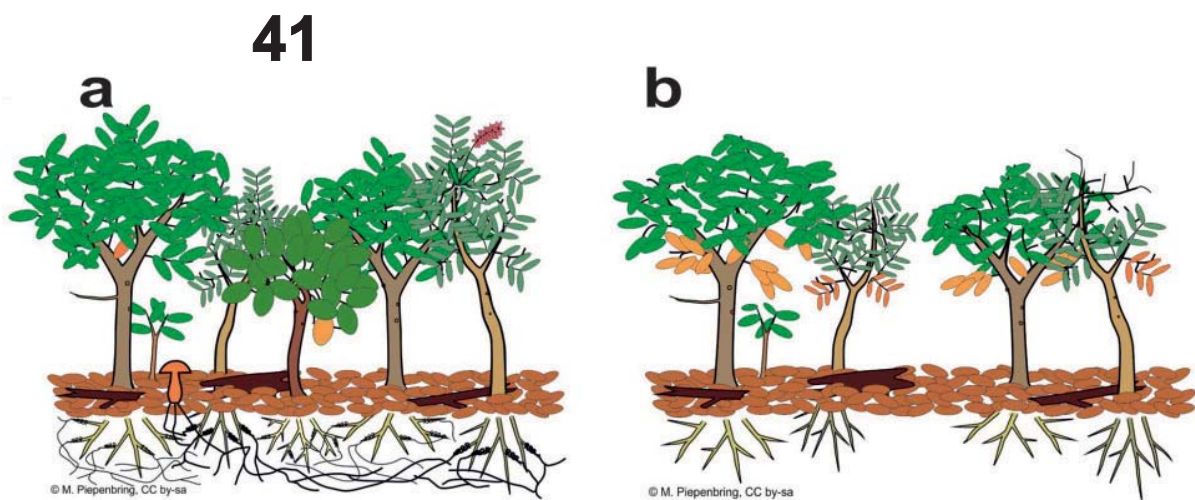
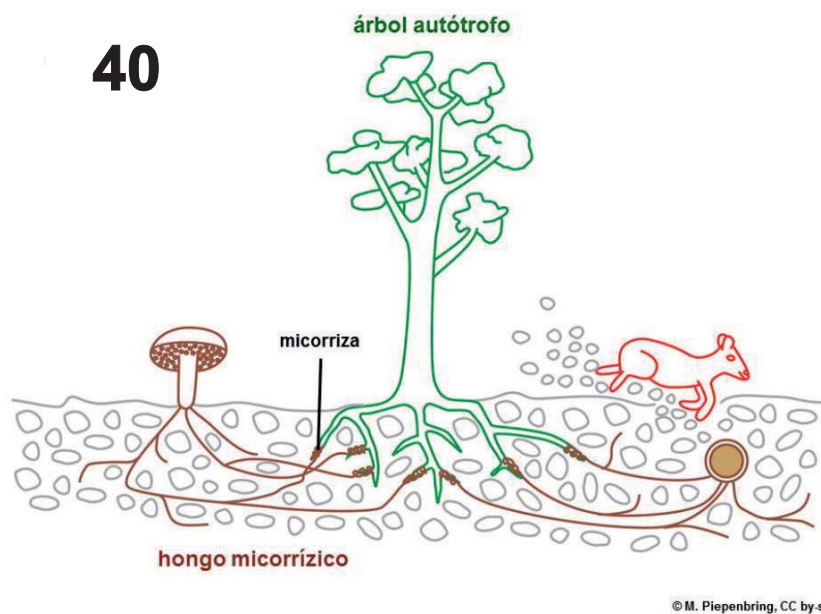


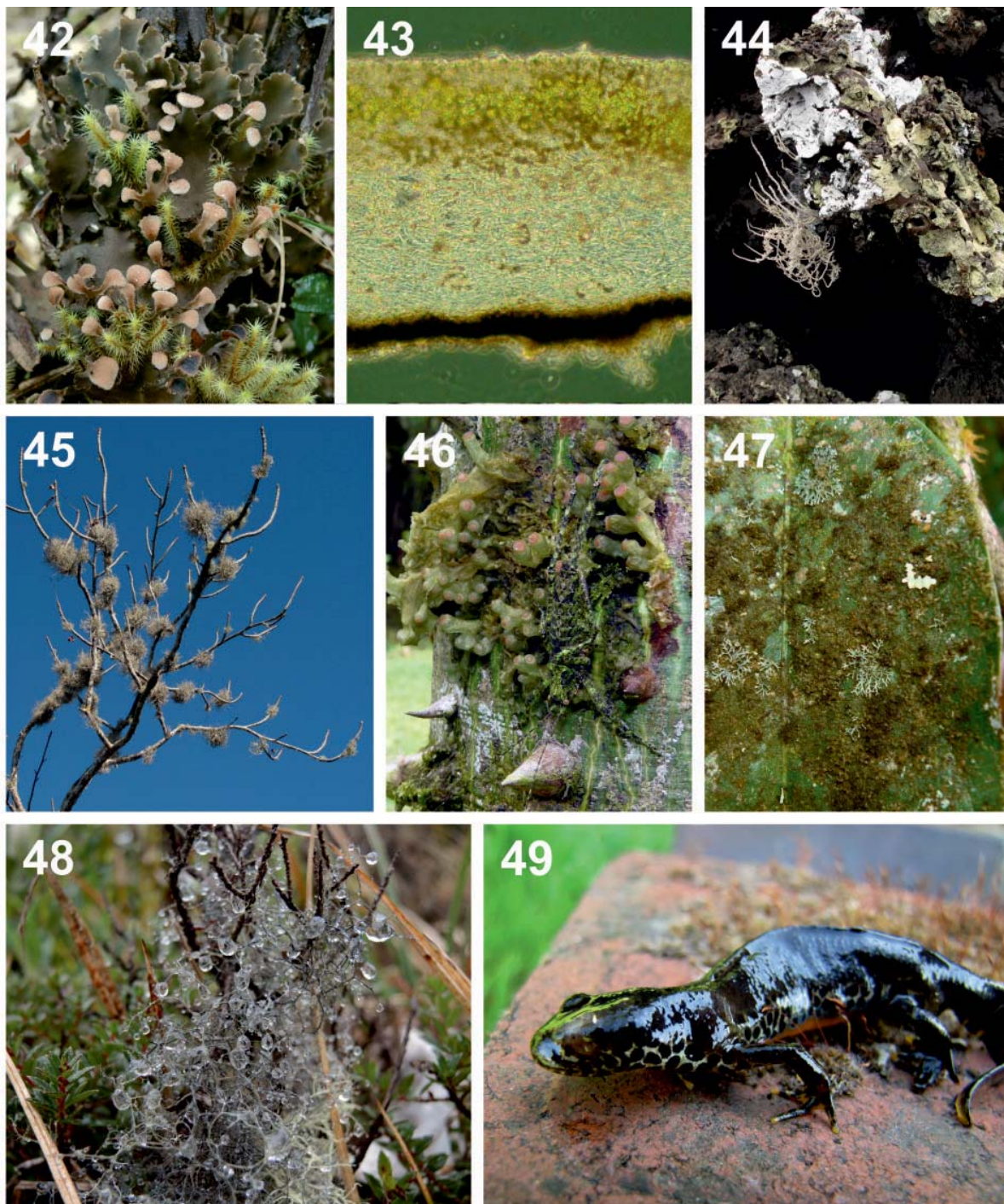
Figura 30. a. Esquema didáctico de un bosque con hongos saprótrofos. b. Esquema didáctico de un bosque sin hongos saprótrofos. c-e. Esquemas didácticos de un posible proceso de desertificación de un bosque sin hongos saprótrofos.



Figuras 31-39. **Fig. 31.** Una hoja penetrada por hifas de algún hongo y raíces de una planta en contacto directo con la hoja y las células del hongo. **Fig. 32.** Una espora del hifomiceto Ingoldiano *Tetracladium marchalianum* en agua dulce. **Fig. 33.** Una especie de Saprolegniales en una semilla en agua dulce. **Fig. 34.** Un hongo micorrízico en raíces de *Quercus* sp. **Fig. 35.** Hongos, musgos y una bromelia en ramas muertas del dosel de un árbol. **Fig. 36.** *Auricularia polytricha* en una rama muerta. **Fig. 37.** La ramita muerta adhiere a la hoja debido a hifas de un hongo. **Fig. 38.** Hilos negros (rizomorfos) de *Marasmius* sp. entrelazan hojas y ramas. **Fig. 39.** Abundancia de plantas epífitas en el dosel de *Quercus* sp. en un bosque nuboso.



Figuras 40-41. Fig. 40. Esquema de hongos micorrízicos (a mano izquierda una especie de Boletales, a mano derecha una trufa) en raíces de un árbol. **Fig. 41. a.** Esquema didáctico de un bosque con hongos micorrízicos. **b.** Esquema didáctico de un bosque sin hongos micorrízicos.



Figuras 42-49. **Fig. 42.** El líquen *Peltigera* sp. con musgos. **Fig. 43.** Un corte transversal de un líquen visto con microscopía de luz. **Fig. 44.** Líquenes en rocas volcánicas costeras. **Fig. 45.** *Ramalina* sp. en la copa de un árbol. **Fig. 46.** *Leptogium* sp. en el tronco de un árbol junto con un insecto escondido. **Fig. 47.** Líquenes y musgos en la superficie de una hoja. **Fig. 48.** El tallo muy fino y ramificado de *Oropogon* sp. capta el agua de la neblina. **Fig. 49.** Un tritón al cual le falta un ojo probablemente debido a una infección por *Batrachochytrium dendrobatidis*.

50

a



b



51

a



b



Figuras 50-51. Fig. 50. a. Esquema didáctico de un bosque con hongos entomopatógenos. b. Esquema didáctico de un bosque sin hongos entomopatógenos. Fig. 51. a. Esquema didáctico de un bosque con hongos fitopatógenos. b. Esquema didáctico de un bosque sin hongos fitopatógenos.