



LOS HONGOS DEL SUELO: UNA RED DE VIDA QUE PROTEGE LOS ÁRBOLES Y LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Olivia Azevedo^{1*} y Frank Ashwood²

¹ Biological and Environmental Sciences, University of Stirling, Stirling, United Kingdom

² Forest Research, Northern Research Station, Roslin, United Kingdom

JÓVENES REVISORES



ANNA

Edad: 16



CATHERINE

Edad: 15

Los hongos ectomicorrícicos son un tipo de hongos que desarrollan relaciones mutuamente beneficiosas con las raíces de plantas. Estos hongos forman asociaciones ancestrales y extremadamente exitosas con árboles forestales de todo el mundo. Los árboles y sus hongos asociados han desarrollado una colaboración comercial: los hongos ayudan a las plantas a alcanzar nutrientes difíciles de obtener y, a cambio, los hongos obtienen un acceso constante e ininterrumpido a carbohidratos (como los azúcares) de la planta. Esta interacción, en gran parte invisible, afecta el almacenamiento y ciclado de carbono en el suelo y beneficia la salud y nutrición de la planta. Los hongos ectomicorrícicos son también importantes para descomponer plantas y animales muertos. Estos hongos contribuyen a la biodiversidad del suelo y

DESCOMPOVEDORES

Son las bacterias, hongos o invertebrados que descomponen plantas y animales muertos, liberando nutrientes al suelo. Sin ellos, los organismos muertos y los restos se acumularían, y las plantas no serían capaces de obtener los nutrientes esenciales para crecer.

MATERIA ORGÁNICA

Cualquier material producido originalmente por seres vivos como las plantas, los animales y los microorganismos, que regresa al suelo y puede ser descompuesto. La materia orgánica es rica en carbono.

SIMBIOSIS

Cualquier tipo de interacción biológica cercana y de largo plazo entre dos organismos diferentes.

MUTUALISMO

Relación entre dos o más especies en la cual cada especie se beneficia.

HONGO MICORRÍCIDO

Hongo que forma una relación mutualista con las raíces de las plantas. Las plantas reciben nutrientes y protección del hongo y el hongo recibe azúcares de las plantas.

pueden ayudarnos a proteger nuestros bosques frente a las presiones ambientales, como el cambio climático o el uso excesivo de la tierra.

LOS HONGOS Y SU ROL EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

A menudo escuchamos que la variedad es el sabor de la vida. Esta declaración puede ser fácilmente aplicada a las muchas interacciones existentes en la naturaleza, tal como aquellas que tienen lugar en los ecosistemas forestales. Para llevar una vida larga y saludable, casi todas las plantas en la naturaleza dependen de una red compleja y variada de organismos del suelo que se alimentan unos de otros. Esta red subterránea, en gran parte invisible, está constituida de bacterias, arqueas, hongos y muchos otros organismos microscópicos.

En los suelos forestales, el rol de los hongos es una pieza crucial de la amplia red ecológica. Los hongos tienen muchas funciones ecológicas, pero dos de ellas son especialmente importantes. Primero, los hongos desempeñan un rol importante como **descomponedores**. Los hongos se destacan descomponiendo material vegetal muerto (llamado **materia orgánica**) porque son mejores que otros organismos al descomponer por completo los materiales particularmente resistentes que se encuentran en las células de las plantas leñosas [1]. Equipados con un amplio rango de enzimas, que son proteínas especiales que ayudan a producir y acelerar las reacciones químicas, los hongos degradan materia orgánica y liberan nutrientes difíciles de obtener, haciendo que los nutrientes estén disponibles para las plantas y otros habitantes del suelo. Sin embargo, durante la descomposición, los hongos liberan el gas CO₂ como producto de desecho, lo que resulta en el movimiento de carbono desde el suelo hacia la atmósfera. Los hongos son tan buenos descomponedores que la descomposición fúngica (fúngica significa "de los hongos") es una de las mayores fuentes mundiales de emisiones de carbono, liberando 86 gigatoneladas (una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas) de carbono en la atmósfera cada año. A modo de comparación, en el año 2018, la quema (combustión) de combustibles fósiles produjo cerca de 10 gigatoneladas [2].

En este artículo, nos centraremos en otro rol importante que también desempeñan los hongos: su relación simbiótica con los árboles y otras plantas. Una relación **simbiótica** en la cual ambas especies se benefician se conoce como **mutualismo**. Los hongos que forman relaciones mutualistas con las plantas son conocidos como **hongos micorrízicos**, "mico" (de "myco") que significa "relacionado a los hongos" y "riza/o" (de "rhiza") que significa "raíz". Los hongos micorrízicos forman relaciones ancestrales mutualistas con raíces de alrededor del 80% de todas las especies de plantas terrestres [1]. Incluso la Antártida, que puede parecer infértil, tiene registro fósil de comunidades micorrízicas. Los estudios muestran que este trabajo en equipo se ha mantenido durante 400 millones de años, desde el momento en el que las plantas comenzaron a colonizar la tierra [3]. Como todos los hongos, los micorrízicos no pueden fabricar su propia comida, por eso reciben azúcares de

sus plantas hospedadoras, y, a cambio, les proporcionan a las plantas agua y nutrientes, como nitrógeno y fósforo, desde el suelo.

A diferencia de los hongos descomponedores que tienden a habitar preferentemente la parte superior del suelo y liberan mucho carbono de sus actividades, los hongos micorrícicos simbióticos penetran más profundamente en el suelo. Al hacerlo, la red fúngica se vuelve un significativo sumidero de carbono en el suelo, lo que significa que estos hongos mantienen el carbono alejado de la atmósfera, almacenado en el suelo como materia orgánica difícil de descomponer. Se ha estimado que las plantas con asociaciones micorrícicas pueden transferir hasta un 35% más de carbono al suelo que las plantas sin asociaciones micorrícicas, y una cantidad considerable del carbono de los tejidos micorrícicos podría permanecer en el suelo durante muchos años [4]. Esto es importante porque necesitamos mantener el carbono almacenado en el suelo por largos períodos de tiempo de forma tal que haya menos en la atmósfera causando el aumento de la temperatura global.

A pesar de los roles críticos que los hongos desempeñan en los ecosistemas forestales, la diversidad de hongos es a menudo ignorada durante la toma de decisiones de manejo forestal. La interferencia humana, como la explotación forestal o el uso indiscriminado de fertilizantes, puede alterar la red subterránea y modificar el equilibrio del ecosistema entero. Como cualquier otra red, si tan solo uno de los segmentos conectores se pierde o se debilita, toda la estructura puede sufrir.

LA ESFERA FÚNGICA

Existen dos tipos principales de hongos micorrícicos. Un tipo, llamado endomicorrícicos, vive dentro de las células vegetales. Si bien no nos centraremos en ellos en este artículo, los hongos endomicorrícicos son muy interesantes porque son increíbles expertos en la adaptación a muchos entornos diferentes. Los hongos endomicorrícicos incluyen las micorrizas arbusculares, ericoides y orquideoides. Sin embargo, el principal foco de nuestro artículo son las **ectomicorrizas**, que están por fuera de las paredes celulares vegetales. Mientras que en un ecosistema pueden coexistir múltiples tipos de micorrizas, las ectomicorrizas son dominantes en los bosques templados y boreales, con ~6000 especies de hongos estableciendo asociaciones simbióticas con muchos árboles y plantas leñosas.

Las ectomicorrizas consisten en dos tipos de estructuras importantes: los **cuerpos fructíferos** y las **hifas**. Los cuerpos fructíferos son estructuras que contienen esporas, usadas por las ectomicorrizas para reproducirse. Cerca de 4500 especies de ectomicorrizas tienen los cuerpos fructíferos por encima del suelo (las setas) mientras que hasta una cuarta parte tienen cuerpos fructíferos subterráneos (por ejemplo, las trufas). Las ectomicorrizas también tienen hifas (proviene del griego, y significa red), que son largos filamentos o estructuras con forma de tubos utilizadas por los hongos para absorber y transportar nutrientes. Las hifas forman un manto de tejido fúngico alrededor de las raíces de las plantas, creando un revestimiento que envuelve las raíces como el yeso que cubre un hueso roto (**Figura 1**). Las hifas fúngicas también crecen hacia

ECTOMICORRIZA

Relación entre un hongo y las raíces de ciertas plantas (plural=ectomicorrizas).

CUERPO FRUCTÍFERO

Estructuras hechas por los hongos para reproducirse. Una seta es un tipo común de cuerpo fructífero.

HIFAS

Estructuras largas y ramificadas de un hongo que se expande por el suelo para absorber y transportar nutrientes (el singular es hifa).

afuera como venas, abriéndose paso entre las partículas de suelo, raíces y rocas, para capturar nutrientes que están fuera del alcance de las raíces de las plantas. La asociación ectomicorrícica también produce antibióticos, hormonas y vitaminas útiles para las plantas, que protegen a sus raíces de condiciones desfavorables en el suelo, como un bajo contenido de nutrientes, organismos que causan enfermedades, y sustancias tóxicas. A cambio, los hongos ganan un acceso constante y directo a carbohidratos (como los azúcares) producidos por sus plantas hospederas durante la fotosíntesis.

Figura 1

El hongo ectomicorrícico *Lactarius camphoratus* formando una funda blanca alrededor de las raíces de un árbol de roble (crédito por la fotografía: Laura Martínez-Suz).



Figura 1

ECTOMICORRIZAS Y BOSQUES: EL MEJOR TRABAJO EN EQUIPO

Las ectomicorrizas prefieren especies de plantas leñosas como los árboles y arbustos, como compañeros o socios. Ocasionalmente, pueden formar relaciones exclusivas, en las que una especie de hongo hace par con una única especie de árbol. Sin embargo, las ectomicorrizas típicamente se asocian con un amplio rango de especies de árboles. Es común encontrar varios hongos micorrícicos diferentes en el sistema radicular de un solo árbol, o una especie de hongo capaz de asociarse con varias especies diferentes de árboles. Por ejemplo, la píceo noruega puede formar asociaciones simbióticas con hasta 100 especies de hongos diferentes. El bien conocido hongo venenoso llamado falsa oronja puede colonizar las raíces de varios tipos de árboles, incluyendo pinos, abedules, píceo y eucalipto (**Figura 2**).

El rango de especies vegetales colonizadas por ectomicorrizas es relativamente pequeño: solo alrededor del 2% de las plantas del mundo. Sin embargo, las plantas con las que se asocian las ectomicorrizas cubren grandes extensiones

de tierra y tienen un elevado valor económico, por ejemplo, como fuente de madera. En las regiones templadas del norte, los pinos, píceas, álamos, abetos, sauces, hayas, abedules y robles, todos presentan asociaciones ectomicorrícicas, mientras que, en el hemisferio sur, los eucaliptos y las hayas son los más comúnmente asociados con ectomicorrizas.

Figura 2

El bien conocido hongo venenoso llamado falsa oronja (*Amanita muscaria*), o matamoscas, puede formar asociaciones micorrícicas con varios tipos de árboles, incluyendo pinos, como se muestra aquí (crédito por la imagen: Angela Mele).



Figura 2

Las ectomicorrizas le proporcionan a los árboles y bosques la capacidad de adaptarse a cambios estacionales y de paisaje, por ejemplo, proporcionando adecuados niveles de agua a lo largo del año y ayudando a las plantas a establecerse en nuevos suelos. Los hongos protegen a las plantas de la degradación del suelo, de la contaminación y de las condiciones ambientales cambiantes. Los científicos y las científicas han observado una relación directa entre la disminución de los hongos micorrícicos y el deterioro de la salud de los árboles. Debido a que cada tipo de hongo ectomicorrícico tiene su propio set único de características, todas las especies son necesarias e irremplazables. Por ejemplo, ciertas especies prefieren condiciones frescas o húmedas; otras funcionan mejor durante las estaciones secas o cálidas; otras son expertas en obtener fósforo y nitrógeno del suelo; e incluso otras son más eficientes obteniendo estos nutrientes de la materia orgánica en descomposición [5].

Los hongos ectomicorrícicos son también un nexo extremadamente importante entre las plantas y la red trófica del suelo, que es la compleja comunidad de organismos que se encuentra en el suelo. Estos hongos proporcionan importantes nutrientes a los organismos que habitan el suelo que rodea a las raíces de las plantas, como lo son otros hongos diminutos, bacterias, protozoarios e invertebrados. Los hongos producen cuerpos fructíferos, que son alimento esencial para la vida silvestre en los ecosistemas forestales. Por ejemplo, muchos roedores, como la ardilla voladora del norte y el ratón de campo de lomo rojo occidental, dependen de las trufas como fuente de

alimento primario. Muchos otros mamíferos comen hongos, incluyendo los osos, ciervos, y ratones. Los seres humanos se maravillan ante las complejas, y a menudo bonitas, estructuras de las setas, disfrutan mucho de aprender a identificarlas y estudiar su ecología, así como también las disfrutan como delicias culinarias. Los hongos silvestres son también utilizados en medicinas, y la industria farmacéutica comúnmente estudia las propiedades antibacterianas de los hongos ectomicorrícicos.

PROTEGIENDO NUESTROS BOSQUES Y HONGOS

A pesar de la importancia de la simbiosis micorrícica en los bosques del mundo, la conservación de los hongos ectomicorrícicos y su monitoreo para evaluar la salud de los bosques son rara vez consideradas en las tomas de decisiones de manejo forestal. Las funciones y servicios que los bosques proporcionan dependen de la biodiversidad del suelo. Los hongos son un gran componente de esta biodiversidad, lo cuál los convierte en socios importantes para superar los desafíos globales a los que actualmente nos estamos enfrentando. Los hongos podrían contribuir a la remoción a largo plazo del carbono de la atmósfera, lo que podría ayudarnos a combatir los efectos del cambio climático. Al reciclar los nutrientes esenciales, los hongos podrían ayudar a prevenir la degradación de los suelos, y de esa forma, la tierra puede continuar produciendo comida y sustentando la vida. Las científicas y los científicos junto a los administradores de tierras deben continuar estudiando y protegiendo los hongos ectomicorrícicos, de forma tal que estos organismos importantes puedan mantener su rol esencial en la red de vida de nuestro planeta.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer el apoyo financiero y/o logístico de la Universidad de Stirling, *Forest Research*, *Natural England*, *Woodland Trust*, *Forestry Commission Scotland*, y *Tarmac*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., and Sanders, I. R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytol.* 205:1406–23. doi: 10.1111/nph.13288
2. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., et al. 2019. Global carbon budget 2019. *Earth Syst. Sci. Data.* 11:1783–838. doi: 10.5194/essd-11-1783-2019
3. Brundrett, M. C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytol.* 154:275–304. doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x
4. Frey, S. D. 2019. Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50:237–59. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331

5. Amaranthus, M. P. 1998. The Importance and Conservation of Ectomycorrhizal Fungal Diversity in Forest Ecosystems : Lessons From Europe and the Pacific Northwest. Portland, OR. doi: 10.2737/PNW-GTR-431

EDITADO POR: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

ROL DE LOS AUTORES: F.A. y O.A. idearon el artículo, O.A. escribió el manuscrito y F.A. editó el manuscrito.

CITA ORIGINAL: Azevedo O and Ashwood F (2022) The Soil Fungi: A Web of Life That Protects Trees and Fight Climate Change. *Front. Young Minds* 10:652660. doi: 10.3389/frym.2022.652660

CITA EN ESPAÑOL: Azevedo O y Ashwood F (2022) Los hongos del suelo: una red de vida que protege los árboles y lucha contra el cambio climático. *Front. Young Minds* 10:652660. doi: 10.3389/frym.2022.652660

CONFLICTO DE INTERÉS: Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que se pudiera interpretar como un potencial conflicto de interés.

DERECHOS DE AUTOR/COPYRIGHT © 2022 Azevedo y Ashwood. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de *Creative Commons Attribution License* (CC BY). Se permite el uso, la distribución o reproducción en otros foros, siempre que los autores originales y los propietarios de los derechos de autor sean acreditados y reconocidos, y que la publicación original en esta revista sea citada, de acuerdo con la práctica académica aceptada. No se permite el uso, la distribución o reproducción que no cumplan con estos términos.

JÓVENES REVISORES

ANNA, edad: 16

¡Quise participar en *Frontiers for Young Minds* porque pensé que sería una gran oportunidad para aprender más sobre el mundo que me rodea! Me encantan las ciencias, en particular la biología y la física. Luego de la escuela me encantaría hacer algo con esas materias.



CATHERINE, edad: 15

Me encanta la música y el canto. Toco el violín y la guitarra ¡y también disfruto escribiendo! Formo parte de un grupo de danza de las tierras altas y soy voluntaria con chicos en clubes y guías infantiles locales. Disfruto asistir a eventos juveniles en mi iglesia y de hacer ejercicio. ¡Espero que con la revisión de estos artículos aprenda cosas nuevas e interesantes!



AUTORES



OLIVIA AZEVEDO

Soy una experiodista que decidió convertirse en científica del suelo. Me mudé de Portugal a Escocia donde actualmente soy estudiante de doctorado en la Universidad de Stirling. Mi investigación implica excavar mucho los suelos forestales con la esperanza de encontrar respuestas a una pregunta importante: ¿qué ocurre con los suelos y los seres que viven en los suelos cuando plantamos árboles? Mis intereses de investigación incluyen las siguientes áreas: biodiversidad de suelos, ciclo de los nutrientes, relaciones mutualistas que conectan componentes debajo y sobre el suelo en ecosistemas terrestres; degradación y manejo de suelos; paisajes históricos de suelos, entre otras. [*olivia.azevedo@stir.ac.uk](mailto:olivia.azevedo@stir.ac.uk)



FRANK ASHWOOD

Una pasión por la naturaleza me llevó a estudiar biología en la universidad, donde me ofrecí como voluntario en proyectos de investigación en ecología de invertebrados en Escocia y México. Luego de trabajar como consultor ambiental por algunos años, regresé a la universidad y realicé un doctorado, estudiando las lombrices de tierra en sitios de vertederos recuperados. Ahora tengo un gran trabajo como ecólogo de suelos para *Forest Research*, donde estudio la biodiversidad de suelos en tierras boscosas de UK. En mi tiempo libre soy tutor de biología de suelos y hago macrofotografía (tomo fotos de animales diminutos que habitan el suelo).

TRADUCTORA

María A. Morel Revetria.

A María le han gustado las plantas desde que tiene memoria. Durante sus estudios de biología en la Universidad, descubrió su interés por la microbiología, y desde entonces, ha trabajado con plantas y bacterias sin parar. Sus principales intereses son las bacterias del suelo y su relación con la productividad vegetal y la salud del suelo. Además, le encanta la idea de llevar las ciencias al público no científico. Es miembro de [ComicBacterias](#), un proyecto de divulgación de la Microbiología a través de caricaturas. El turismo en familia es una de sus aficiones favoritas. †orcid.org/0000-0002-9064-5675