

## **“Hacia el reconocimiento de los hongos como un reino de vida independiente para avanzar en su conservación y para adoptar medidas concretas que permitan mantener sus beneficios a los ecosistemas y las personas en un contexto de triple crisis ambiental”**

Los hongos silvestres son un componente fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas naturales y para el bienestar de las personas. Mantienen la fertilidad del suelo mediante la descomposición de la materia orgánica y facilitan la absorción de agua y nutrientes a través de la asociación micorrícica con las raíces de las plantas, lo que mejora el secuestro de carbono. Por su parte, la recolección, el uso y el comercio de hongos silvestres son actividades económicas y culturales esenciales, que contribuyen a la subsistencia y proporcionan alimentos e ingredientes medicinales para las personas<sup>1</sup>. Tan relevante son los hongos para nuestra vida que se utilizan desde hace miles de años en la elaboración, aromatización y conservación de alimentos<sup>2</sup>. Sin ellos, no existiría el pan, los derivados de la soya, la carne, el queso, el vino o la cerveza, incluso la penicilina, por nombrar sólo algunos de los productos que consumimos y utilizamos en nuestro diario vivir.

Los hongos nos entregan una serie de posibilidades para abordar **los desafíos de la triple crisis ambiental**, en materia de cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación. Debido al fundamental rol que cumplen en la degradación de la materia orgánica para que los nutrientes vuelvan a incorporarse al suelo, los hongos pueden ser empleados en procesos de biorremediación para degradar contaminantes en el medio ambiente, lo cual abre posibilidades importantes para mitigar las presiones que afectan a los ecosistemas y su biodiversidad. En este sentido, al restaurar un ecosistema degradado, es posible recuperar su estructura y funciones, provisionando hábitat para las especies, mejorando el estado de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que provee, como, por ejemplo, la regulación climática. Un ejemplo de esto, son los hongos de podredumbre blanca, que pueden descomponer lignina y otros contaminantes orgánicos complejos (Hoja informativa ABS, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2011)<sup>3,4</sup>.

A pesar de la gran funcionalidad y adaptabilidad de los hongos, éstos han recibido sólo una pequeña fracción de la atención que merecen, considerando que existen entre 2,2 y 3,8 millones de especies de hongos que desempeñan funciones ecológicas diversas y críticas<sup>5</sup>, los que al igual que otras especies de flora y fauna están amenazadas por la pérdida y deterioro del hábitat, la sobreexplotación, el cambio en el uso del suelo y los efectos del cambio climático.<sup>6</sup>

En 2018 se publicó por Kuhar et al<sup>7</sup> el documento que delimita el término funga, reconociendo la necesidad de adoptar un término colectivo equivalente a «Fauna» y «Flora» específico para el reino Fungi. A partir

---

<sup>1</sup> (Oyanedel et al, 2022).

<sup>2</sup> (Prescott et al, 2018).

<sup>3</sup> <https://www.cbd.int/abs/infokit/revised/web/factsheet-uses-es.pdf>

<sup>4</sup> Cui et al, 2021).

<sup>5</sup> (Hawksworth y Lücking, 2017; Wu et al., 2019).

<sup>6</sup> (Heilmann-Clausen et al., 2015).

<sup>7</sup> (Kuhar, Furci, Dreschler-Santos & Pfister, 2018).

de esto, se crea la iniciativa Fauna, Flora, Funga (3F) que pretende elevar el estatus de los hongos en el ámbito de la conservación y la protección del medio ambiente.

En este sentido, siguiendo la iniciativa 3F, la presente declaración considera el llamado urgente para avanzar en el reconocimiento de los hongos como reino independiente, para comenzar a tomar medidas concretas que vayan en la línea de incluir a los hongos en los marcos de políticas agrícolas y de conservación, junto con levantar fondos para aumentar la investigación, los estudios y programas relacionados con la micología, y finalmente, para avanzar hacia la conservación efectiva de la funga como clave para proteger las contribuciones de la naturaleza a las personas.

La República de Chile y **XXX (CONSIDERAR TODOS LOS INVOLUCRADOS)**, hacen un llamado a las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) a que prioricen la conservación de los hongos, **reconociéndolos como un reino biológico independiente y fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad, integrando medidas concretas para su protección en las estrategias y planes de acción nacionales en materia de biodiversidad y el fomento de la micología como ciencia esencial para futuras medidas de conservación.**

**De acuerdo con lo anterior, se solicita a la Secretaría de la Convención de Diversidad Biológica que genere una agenda** de trabajo para ser discutida en el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (OSACTT) para abordar la conservación de los hongos macro y microscópicos a nivel global en el marco de la Convención de Diversidad Biológica y avanzar hacia medidas concretas en los Planes y Estrategias de Conservación de la Biodiversidad, con el fin de relevar la importancia de los hongos para el bienestar ecológico y humano en los tratados y marcos ambientales internacionales, así como en las leyes y políticas agrícolas y ambientales nacionales, y en las iniciativas ambientales y de conservación locales.

## Anexo

### Los Hongos como Actores Clave para la Protección de la Biodiversidad y Contra el Cambio Climático

El desafío de alcanzar los objetivos de protección de la biodiversidad requiere una comprensión holística de la **naturaleza**. En el centro de esta discusión está el reconocimiento de que los hongos **no solo constituyen un reino en sí mismo**, sino que representan una forma de vida completamente distinta. A diferencia de las plantas y los animales -que a menudo funcionan como especies individuales-, los hongos existen en un estado de interdependencia intrincada con los organismos que la rodean. Por lo tanto, es imperativo asegurar su preservación, lo que conduce inherentemente a la protección de la naturaleza como un todo unificado.

El reino de los hongos proporciona servicios ecosistémicos esenciales que fortalecen la biodiversidad y el equilibrio ecológico. A través del ciclo de nutrientes, las asociaciones micorrícicas con las plantas, el control de la erosión y el ciclo y secuestro del carbono, las contribuciones de los hongos en la naturaleza son difíciles de sobrestimar. Es fundamental para comprender sus servicios, el distinguir que este reino es distinto de los animales y las plantas, por consiguiente, enfatizamos que debe darse la misma importancia a la funga que a la flora y fauna.

Los hongos son un reino de vida extremadamente diverso, sólo superado por los animales invertebrados, con un estimado de 2,5 millones de especies a nivel mundial, de las cuáles sólo se han descrito 155 mil, por lo tanto, más del 90% de las especies de hongos aún no han sido descritas (Antonelli et al., 2023).

Los hongos son actores clave para dirigir los ciclos de carbono y nutrientes (Terrer et al., 2016). El noventa por ciento de todas las especies de plantas terrestres conocidas forman interacciones simbióticas a través de sus raíces con hongos presentes de manera natural en el suelo, formando micorrizas (Antonelli et al., 2023). Los hongos micorrícicos se encuentran en el punto de entrada del carbono en las cadenas alimenticias del suelo y secuestran el equivalente en CO<sub>2</sub> a un tercio de las emisiones globales de combustibles fósiles cada año. Químicamente, son una piedra angular del ciclo del carbono en nuestros ecosistemas, y en este proceso, no solo ayudan a secuestrar carbono en nuestros suelos, sino que, debido a que interactúan de múltiples maneras con otros organismos, fortalecen la resiliencia de redes enteras de especies y sistemas ecológicos.

Actualmente, es reconocido el rol de los hongos en el secuestro de carbono, el cuál cada año retiene 5 billones de toneladas en el suelo (Frey, 2019). Por lo tanto, su destrucción, promueve la liberación abrupta de carbono a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento del planeta. La liberación anual de tan sólo el 1% del carbono almacenado bajo tierra, equivale aproximadamente a las emisiones de 10 millones de autos en un año.

Por lo tanto, fomentar esta relación para apoyar la nutrición mineral de los árboles es crucial. Los hongos micorrícicos aumentan el volumen de suelo que los árboles pueden explorar con sus raíces; lo hacen utilizando su red de filamentos (micelio) para llegar a poros más pequeños, accediendo a agua y nutrientes que de otro modo no estarían disponibles para los árboles. Las plantas invierten hasta un 20% del carbono que fijan a través de la fotosíntesis para sustentar a los hongos, a cambio, estos facilitan hasta un 80% de

sus necesidades de nitrógeno y el 100% de sus necesidades de fósforo. Este intercambio mutuo de nutrientes esenciales mejora la productividad y la biomasa de los árboles, y fortalece sus defensas contra plagas y enfermedades.

## **Impacto Actual de los Hongos en la Industria**

### ***Alimentaria***

Las levaduras y los hongos filamentosos, como recursos genéticos, se usan ampliamente en la industria alimentaria (Prescott et al., 2018). La fermentación es clave en la producción de bebidas alcohólicas como la cerveza, el vino y los licores, gracias a las levaduras, en particular *Saccharomyces cerevisiae*, que fermentan los azúcares. También son esenciales en la panificación, donde ayudan a leudar el pan al producir dióxido de carbono. En la producción de quesos, mohos como *Penicillium roqueforti* y *Penicillium camemberti* son fundamentales para elaborar quesos como el azul y el Camembert respectivamente (Ropars et al., 2015). Los hongos también desempeñan un papel crucial en la producción de chocolate, específicamente en la fermentación de los granos de cacao, donde levaduras y otros microorganismos desarrollan los sabores característicos y esenciales del chocolate de alta calidad.

Las excelentes propiedades nutricionales de muchos macrohongos fueron reconocidas hace miles de años, debido a esto, en el mercado global actual el cultivo de hongos está valorado en miles de millones de dólares al año (Business Research Insights, 2024). Además, los hongos micorrízicos son vitales para el crecimiento de los cultivos y son fundamentales para la seguridad alimentaria global (Hristozkova & Orfanoudakis, 2023).

### ***Farmacéutica***

Los hongos se han convertido en una fuente cada vez más valiosa de compuestos bioactivos, como antibióticos, inmunosupresores, estatinas o ácidos orgánicos para la industria y la medicina, gracias a su papel como recursos genéticos (Niskanen et al., 2023). Desde el descubrimiento accidental de la penicilina a partir de *Penicillium rubens* en 1928, los hongos han proporcionado muchos fármacos valiosos. Entre ellos se encuentran algunos de los medicamentos más recetados en el mundo: las estatinas, que reducen el colesterol. Estas se derivan de varios hongos filamentosos, incluidos las cepas de *Aspergillus terreus* y *Penicillium citrinum*. Además, el hongo *Tolypocladium inflatum* se utiliza para producir el inmunosupresor ciclosporina, que ayudó a revolucionar el éxito de los trasplantes de órganos (Antonelli et al., 2023).

### ***Minera***

En la industria minera, ciertos hongos se utilizan en procesos de biolixiviación, donde ayudan a extraer metales como cobre y oro a partir de minerales de baja ley, utilizando procesos biológicos más sostenibles que los métodos químicos tradicionales (Dusengemungu et al., 2021). Diferentes cepas de *Aspergillus* son utilizadas en la industria, con un promedio de aplicación del 85%, debido a su potente agente lixivante; seguido de *Fusarium*, *Penicillium* y *Cladosporium* con un 5% en los tres géneros (Achahui et al., 2022).

Científicos del Centro de Investigación Técnica VTT, en Finlandia, han desarrollado un nuevo método de extracción de oro de los circuitos de los celulares desechados mediante la utilización de hongos, con el que se pueden recuperar el 80% de este metal de una forma no contaminante para el medio ambiente (Portal Minero, 2014).

### ***Biotecnológica***

Los hongos se utilizan para producir enzimas industriales como amilasas, celulasas, lipasas, proteasas y ácido cítrico, que tienen aplicaciones en la industria alimentaria, textil, de detergentes y papeleras. Por ejemplo, *Aspergillus niger* es un productor clave de enzimas como pectinasa y glucoamilasa. Además, ciertos hongos se emplean en procesos de biorremediación para degradar contaminantes en el medio ambiente. En particular, los hongos de la podredumbre blanca son microorganismos únicos que muestran altas capacidades para degradar una amplia gama de compuestos xenobióticos tóxicos (Torres-Farradá et al., 2024).

El pequeño tamaño de los genomas de hongos los convierte en un objetivo poderoso para la investigación genética sobre biología eucariota y una fábrica microbiana eficiente para la biotecnología y la bioingeniería (Spribille et al., 2022).

### ***Forestal***

Los hongos micorrícicos juegan un papel crucial en la industria forestal al formar simbiosis con las raíces de los árboles, mejorando significativamente la absorción de nutrientes como fósforo y nitrógeno (Delavaux et al., 2023). Estas asociaciones micorrícicas son fundamentales para el crecimiento saludable de los bosques, especialmente en suelos pobres en nutrientes, y se utilizan en prácticas de reforestación y manejo sostenible de bosques. Además, los hongos micorrícicos pueden aumentar la resistencia de los árboles a enfermedades y condiciones de estrés, contribuyendo a la sostenibilidad y productividad de los ecosistemas forestales (U.S. Forest Service, 2022).

## **Potencial de los Hongos en Innovación y Sostenibilidad**

### ***Energía Sostenible***

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 de las Naciones Unidas tiene como propósito abordar la falta de acceso a la electricidad y la energía para cocinar, y asegurar energía asequible, confiable, sostenible y limpia para todos. Los hongos tienen un gran potencial en el sector de la bioenergía, por ejemplo, ampliando su uso actual para el pretratamiento de material leñoso, como las enzimas fúngicas producidas por especies como *Trichoderma reesei*, un hongo filamentoso, que descompone la materia orgánica vegetal y pueden ser cultivadas de manera sostenible. Pueden mejorar la recuperación de bioenergía a partir de plantas y también generar más energía a partir de los subproductos de los procesos de bioenergía, como el glicerol residual de la producción de biodiesel. Y las celdas de combustible microbianas pueden funcionar con enzimas fúngicas, como las de la levadura de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*), para generar electricidad a partir de biomasa vegetal (Antonelli et al., 2023).

### ***Remediación Ambiental (Micorremediación)***

Diferentes estudios indican que los hongos pueden ser empleados en la biorremediación de suelos y aguas contaminadas por actividades mineras, ayudando a degradar y detoxificar residuos tóxicos como metales pesados y cianuro, contribuyendo así a la restauración ecológica de áreas afectadas por la minería. La micorremediación aprovecha la capacidad de ciertos hongos para descomponer contaminantes como el petróleo, metales pesados y pesticidas, lo que los convierte en una herramienta valiosa para limpiar suelos y aguas contaminadas (Akpasi et al., 2023). Además, los hongos son utilizados en la gestión de residuos para descomponer material orgánico, como subproductos agrícolas, transformándolos en productos valiosos como el compost, lo que contribuye a reducir el uso de vertederos y las emisiones de metano (Llaczka & Castellanos, 2020).

### ***Alimentación y Agricultura***

La micoproteína, derivada de la biomasa fúngica, es un sustituto de la carne que es alto en proteínas y bajo en grasas, y está ganando popularidad como una fuente de alimento sostenible (Wang et al., 2023).

Por otra parte, la capacidad de algunos hongos para combatir plagas y estimular el crecimiento de las plantas significa que también son útiles como biopesticidas y biofertilizantes para la agricultura sostenible (Odoh et al., 2020)

### ***Micofabricación y Biomateriales***

El micocuero es un derivado del micelio fúngico y una alternativa sostenible al cuero tradicional, ya que es biodegradable, libre de crueldad y se produce con un impacto ambiental significativamente menor (Niskanen et al., 2023). Los mico-compuestos, por otro lado, aprovechan la capacidad del micelio fúngico para unir desechos agrícolas y formar materiales fuertes y livianos que pueden ser utilizados en embalajes, aislamiento e incluso en la fabricación de muebles (Hyde et al., 2019). Además, los micoplásticos, basados en hongos, están siendo desarrollados como alternativas biodegradables a los plásticos derivados del petróleo, ofreciendo opciones más sostenibles para embalajes y productos de un solo uso.

### **Importancia Cultural de los Hongos en Comunidades Indígenas**

Los hongos tienen un papel fundamental en la cultura y el conocimiento de muchas comunidades Indígenas, quienes, como guardianes del 80% de la biodiversidad global, desempeñan un rol crucial en la preservación de estos organismos y los ecosistemas que dependen de ellos (Nitah, 2021). Entre los cientos de relaciones documentadas entre hongos y culturas Indígenas a lo largo de la historia, destacan las prácticas de los Yanomamis con el hongo *Marasmius yanomami*, cuyos rizomorfos son entrelazados con lianas crudas y pintados para elaborar cestas, integrando así los hongos en la vida diaria y prácticas de esta comunidad (Oliveira et al., 2014).

Por otro lado, el género *Fomitopsis* también tiene un lugar destacado en varias culturas Indígenas, donde sus especies han sido utilizadas durante miles de años por sus múltiples propiedades. Estos hongos han sido utilizados para afilar herramientas, detener hemorragias, y como textil en la confección de prendas. Además, en algunos casos han sido considerados objetos con poderes sobrenaturales, utilizados en rituales chamánicos y como guardianes en tumbas. La presencia de *Fomitopsis* como parte del equipamiento que llevaba el “hombre de hielo”, Ötzi, un hombre que vivió hace más de 3,000 años y que fue encontrado en

los Alpes italianos, subraya su uso antiguo como antiséptico y en infusiones para fortalecer el sistema inmunológico (ABC Ciencia, 2019). La rica y diversa relación de los hongos con las comunidades Indígenas no solo refleja un profundo entendimiento ecológico, sino también una conexión espiritual y cultural que ha perdurado a lo largo de los siglos (Blanchette et. al., 1992).

### **Conservación de los Hongos como Recurso Genético**

El cambio climático también está teniendo impactos perjudiciales en la conservación de estos organismos. Dado que la abrumadora mayoría de la diversidad de hongos depende directamente de las plantas -ya sea como socios beneficiosos, descomponedores o parásitos- el cambio en el hábitat relacionado con el clima que daña a las plantas afecta a su vez a los hongos que coexisten con ellas. Los cambios en los niveles de temperatura y humedad también pueden afectar directamente a los hongos. Mientras tanto, la sobreexplotación de hongos económicamente valiosos es un riesgo para algunas especies, como el hongo oruga (*Ophiocordyceps sinensis*), de los Himalaya, que se ha utilizado en la medicina tradicional china y tibetana (Antonelli et. al., 2023).

La información presentada en las Listas Rojas globales y nacionales sugiere que las amenazas actuales para las especies de hongos reflejan en gran medida las mismas que enfrentan los animales y las plantas. La principal amenaza proviene de los cambios en el uso del suelo que modifican los sistemas naturales, como la conversión a actividades forestales, agrícolas o al desarrollo residencial y comercial. Los esfuerzos de incorporar a los hongos en las listas rojas, ha llevado a que se evalúen 625 hongos bajo los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), de los cuales 352 (56%) se consideran globalmente amenazados o casi amenazados. Esto significa que solo el 0.4% de los hongos descritos hasta la fecha han tenido evaluado su estado de conservación global, lo que equivale al 0.02% de los existentes estimados (Antonelli et. al., 2023).

Como organismos relativamente inmóviles y a menudo longevos, los hongos se benefician de muchas de las acciones tomadas para conservar las especies de plantas y animales, como la protección de sitios y el mantenimiento de procesos ecológicos dentro de hábitats amenazados. Sin embargo, las evaluaciones de la Lista Roja muestran que la degradación de algunos entornos ecológicos afecta particularmente a los hongos. Conservar la diversidad y función de los hongos, por lo tanto, también requiere prácticas de gestión específicas. Estas incluyen preservar árboles maduros para servir como reservorios de especies, mantener suministros de madera muerta en los bosques y mantener los pastizales con bajo contenido de nutrientes.

### **Referencias bibliográficas**

1. ABC Ciencia. (2019). Desvelan nuevos detalles sobre la tumba de Ötzi, el misterioso hombre de hielo. *ABC Ciencia*. [https://www.abc.es/ciencia/abci-desvelan-nuevos-detalles-sobre-tumba-otzi-misterioso-hombre-hielo-201910302002\\_noticia.html](https://www.abc.es/ciencia/abci-desvelan-nuevos-detalles-sobre-tumba-otzi-misterioso-hombre-hielo-201910302002_noticia.html)
2. Achahui P., M., & Cañari Diaz, J. J. (2022). *Método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación: revisión sistemática*. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91619>

3. Akpasi SO, Anekwe IMS, Tetteh EK, Amune UO, Shoyiga HO, Mahlangu TP, Kiambi SL. Mycoremediation as a Potentially Promising Technology: Current Status and Prospects—A Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(8):4978. <https://doi.org/10.3390/app13084978>
4. Antonelli, A., Fry, C., Smith, R. J., Eden, J., Govaerts, R. H. A., Kersey, P., Nic Lughadha, E., Onstein, R. E., Simmonds, M. S. J., Zizka, A., Ackerman, J. D., Adams, V. M., Ainsworth, A. M., Albouy, C., Allen, A. P., Allen, S. P., Allio, R., Auld, T. D., Bachman, S. P., ... Zuntini, A. R. (2023). *State of the World's Plants and Fungi, 2023: Tackling the Nature Emergency: Evidence, Gaps and Priorities*. Royal Botanic Gardens, Kew.
5. Blanchette, R., Compton, B., Turner, N. J., & Gilbertson, R. L. (1992). Nineteenth century shaman grave guardians are carved *Fomitopsis officinalis* sporophores. *Mycologia*, 84(1), 119-124. <https://doi.org/10.1080/00275514.1992.12026114>
6. Business Research Insights. (2024, May). *Edible mushroom market size, share, growth, and industry analysis by type and application, regional insights, and forecast to 2032*. <https://businessresearchinsights.com/market-reports/edible-mushroom-market-107866>
7. Cui, T., Yuan, B., Guo, H. et al. \_Enhanced lignin biodegradation by consortium of white rot fungi: microbial synergistic effects and product mapping\_. *Biotechnol Biofuels* 14, 162 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13068-021-02011-y>
8. Delavaux, C., LaManna, J., Myers, J. et al. 2023. Mycorrhizal feedbacks influence global forest structure and diversity. *Commun Biology* 6: 1066.
9. Dusengemungu, L., Kasali, G., Gwanama, C., & Mubemba, B. (2021). Overview of fungal bioleaching of metals. *Environmental Advances*, 5, 100083. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100083>
10. Egidi E, Delgado-Baquerizo M, Plett JM, Wang J, Eldridge DJ, et al. 2019. A few Ascomycota taxadominate soil fungal communities worldwide. *Nat. Commun.* 10:2369
11. U.S. Forest Service. 2002. *Fungi: An important part of forest ecosystems*. USDA Forest Service. [https://apps.fs.usda.gov/r6\\_decaid/views/fungi.html](https://apps.fs.usda.gov/r6_decaid/views/fungi.html)
12. Frey, S. 2019. Mycorrhizal Fungi as Mediators of Soil Organic Matter Dynamics. *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics* 50: 237-259.
13. Gandia A, van den Brandhof JG, Appels FV, Jones MP. 2021. Flexible fungal materials: shaping the future. *Trends Biotechnol.* 39(12):1321–31
14. Gluck-Thaler E, Haridas S, Binder M, Grigoriev IV, Crous PW, et al. 2020. The architecture of metabolism maximizes biosynthetic diversity in the largest class of fungi. *Mol. Biol. Evol.* 37(10):2838–56
15. Hristozkova, M., Orfanoudakis, M. 2023. Arbuscular Mycophiza and Its Influence on Crop Production. *Agriculture* 13(5): 825
16. Hyde KD, Xu J, Rapior S, Jeewon R, Lumyong S, et al. 2019. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Divers* 97:1–136
17. Kiers, T., Sheldrake, M. 2021. A powerful and underappreciated ally in the climate crisis? *Fungi*. *The Guardian*: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2021/nov/30/fungi-climate-crisis-ally>
18. Kuhar, F., Furci, G., Drechsler-Santos, E.R. et al. \_Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). *IMA Fungus* 9, A71–A74 (2018). <https://doi.org/10.1007/BF03449441>



19. Llacza Ladera, H. F., & Castellanos Sánchez, P. L. (2020). Hongos filamentosos de relave minero contaminado con plomo y zinc [Filamentary fungi of mining relay contaminated with lead and zinc]. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 23(45), 37-42. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v23i45.18046>
20. Meyer V, Basenko EY, Benz JP, Braus GH, Caddick MX, et al. 2020. Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper. *Fungal Biology Biotechnology*. 7:5
21. Niskanen, T., Lücking, R., Dahlberg, A., Gaya, E., Suz, L., Mikryukov, V., Liimatainen, K., Druzhinina, I., Westrip, J., Mueller, G., Martins-Cunha, K., Kirk, P., Tedersoo, L., Antonelli, A. 2023. Pushing the Frontiers of Biodiversity Research: Unveiling the Global Diversity, Distribution, and Conservation of Fungi. *Annual Review of Environmental and Resources* 48: 149-176.
22. Nitah, S. (2021). Indigenous peoples proven to sustain biodiversity and address climate change: Now it's time to recognize and support this leadership. *One Earth*, 4(7), 907-909. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.015>
23. Odoh CK, Eze CN, Obi CJ, Anyah F, Egbe K, et al. 2020. Fungal biofertilizers for sustainable agricultural productivity. In *Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture*, ed. AN Yadav, S Mishra, D Kour, N Yadav, A Kumar, pp. 199–225. Cham, Switz.: Springer
24. Oliveira, J. J. S., Vargas Isla, R., Cabral, T., & Rodrigues, D. P. (2024). Spider fungi: New species of *Marasmius* and *Pusillomyces* in the aerial rhizomorph web-maker guild in Amazonia. *Fungal Systematics and Evolution*, 14 (December), 35-55. <https://doi.org/10.3114/fuse.2024.14.03>
25. Portal Minero. (2014, April 30). *Hongos para extraer oro del desperdicio electrónico*. <https://portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=89624302>
26. Prescott T, Wong J, Panaretou B, Boa E, Bond A, et al. 2018. Useful fungi. See Ref. 154, pp. 24–31
27. Ropars, J., Rodríguez de la Vega, R. C., López-Villavicencio, M., Gouzy, J., Sallet, E., Dumas, É., Giraud, T. (2015). Adaptive horizontal gene transfers between multiple cheese-associated fungi. *Current Biology*, 25(19), 2562-2569. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.08.025>
28. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2011. Usos de los recursos genéticos [Factsheet]. <https://www.cbd.int/abs/infokit/revised/web/factsheet-uses-es.pdf>
29. Spribille T, Resl P, Stanton DE, Tagirdzhanova G. 2022. Evolutionary biology of lichen symbioses. *New Phytol.* 234(5):1566–82
30. Tedersoo L, Bahram M, Pölme S, Kõljalg U, Yorou NS, et al. 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science* 346(6213):1256688
31. Tedersoo L, Mikryukov V, Zizka A, Bahram M, Hagh-Doust N, et al. 2022. Global patterns in endemism and vulnerability of soil fungi. *Glob. Change Biol.* 28:6696–710
32. Tedersoo L, May TW, Smith ME. 2010. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. *Mycorrhiza* 20:217–63
33. Terrer C., Vicca S., Hungate BA., Phillips RP., Prentice IC. 2016. Mycorrhizal associations as a primary control of the CO2 fertilization effect. *Science* 353: 71-74.
34. Torres-Farradá G, Thijs S, Rineau F, Guerra G, Vangronsveld J. White Rot Fungi as Tools for the Bioremediation of Xenobiotics: A Review. *J Fungi (Basel)*. 2024 Feb 21;10(3):167. doi: 10.3390/jof10030167. PMID: 38535176; PMCID: PMC10971306.
35. Vasco-Palacios AM, Lücking R, Moncada B, Palacio M, Motato-Vásquez V. 2022. A critical assessment of biogeographic distribution patterns of Colombian fungi. In *Catalogue of Fungi of*

- Colombia, ed. RF de Almeida, R Lücking, AM Vasco-Palacios, E Gaya, M Diazgranados, pp. 121–36. London: R. Bot. Gardens, Kew
36. Van der Wal A, Geydan TD, Kuyper TW, De Boer W. 2013. A thready affair: linking fungal diversity and community dynamics to terrestrial decomposition processes. *FEMS Microbiol. Rev.* 37(4):477–94
37. Větrovský T, Kohout P, Kopecký M, Machac A, Matěj M, et al. 2019. A meta-analysis of global fungal distribution reveals climate-driven patterns. *Nat. Commun.* 10:5142
38. Suz LM, Sarasan V, Wearn JA, Bidartondo MI, Hodkinson TR, et al. 2018. Positive plant-fungal interactions. See Ref. 154, pp. 31–39
39. Prescott T, Wong J, Panaretou B, Boa E, Bond A, et al. 2018. Useful fungi. See Ref. 154, pp. 24–31
40. Wang, B., Shi, Y., Lu, H., & Chen, Q. (2023). A critical review of fungal proteins: Emerging preparation technology, active efficacy and food application. *Trends in Food Science & Technology*, 141, 104178. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104178>
41. Wingfield MJ, Slippers B, Roux J, Wingfield BD. 2001. Worldwide movement of exotic forest fungi, especially in the tropics and the Southern Hemisphere. *Bioscience* 51(2):134–40