

“Vers une reconnaissance des champignons en tant que règne autonome dans la législation, les politiques et les accords nationaux et internationaux, afin de promouvoir leur conservation et de mettre en œuvre des actions concrètes pour préserver leurs bienfaits pour les écosystèmes et les communautés face à la triple crise environnementale”

Les champignons sauvages sont essentiels au bon fonctionnement des écosystèmes naturels et au bien-être humain. Ils contribuent à la fertilité des sols en décomposant la matière organique et favorisent l'absorption de l'eau et des nutriments grâce à leurs associations mycorhiziennes avec les racines des plantes, ce qui renforce également la séquestration du carbone. La collecte, l'utilisation et le commerce des champignons sauvages représentent des activités économiques et culturelles essentielles. Elles soutiennent les moyens de subsistance des communautés et fournissent des aliments et des ingrédients médicinaux¹. Les champignons ont joué un rôle fondamental pendant des millénaires dans la production, l'aromatisation et la conservation des aliments². Sans eux, des produits essentiels tels que le pain, les produits à base de soja, la viande, le fromage, le vin, la bière et même la pénicilline, ne seraient pas disponibles dans notre vie quotidienne.

Les champignons présentent de nombreuses opportunités pour faire face aux **défis posés par la triple crise environnementale**, notamment le changement climatique, la perte de biodiversité et la pollution. En raison de leur rôle clé dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments dans le sol, les champignons peuvent être intégrés dans des processus de biorémediation pour dégrader les polluants environnementaux. Cela offre d'importantes opportunités pour atténuer les pressions exercées sur les écosystèmes et leur biodiversité. En ce sens, la restauration d'un écosystème dégradé permet de rétablir sa structure et ses fonctions essentielles, tout en créant un habitat favorable aux espèces et en renforçant la biodiversité. Cela améliore également les services écologiques, tels que la régulation climatique. Par exemple, les champignons de pourriture blanche, capables de décomposer la lignine et d'autres polluants organiques complexes, illustrent ce processus (ABS Fact Sheet, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011)^{3,4}.

Bien qu'ils soient extrêmement fonctionnels et capables de s'adapter, les champignons n'ont reçu qu'une attention limitée. On estime qu'il existe entre 2,2 et 3,8 millions d'espèces de champignons, toutes jouant des rôles écologiques divers et cruciaux⁵. Comme d'autres espèces de la flore et de la faune, la funga sont menacés par la perte et la dégradation de leur habitat, la surexploitation, les modifications de l'utilisation des sols et les impacts du changement climatique⁶.

¹ (Oyanedel et al, 2022).

² (Prescott et al, 2018).

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

⁴ (Cui et al, 2021).

⁵ (Hawksworth y Lücking, 2017; Wu et al., 2019).

⁶ (Heilmann-Clausen et al., 2015).

En 2018, Kuhar et al⁷ ont introduit le terme « funga », soulignant la nécessité d'adopter un mot collectif équivalent à « faune » et « flore » mais dédié au règne des champignons. Cette démarche a conduit à la création de l'initiative Fauna, Flora, Funga (3F), qui a pour objectif de promouvoir la reconnaissance des champignons et de renforcer leur place dans les efforts de conservation et de protection de l'environnement.

Dans ce contexte, et suite à l'initiative 3F, cette déclaration appelle de manière urgente à renforcer la reconnaissance des champignons en tant que règne de vie distinct dans les législations, les politiques et les accords nationaux et internationaux. L'objectif est de prendre des mesures concrètes pour intégrer les champignons dans le cadre des politiques agricoles et de conservation, tout en mobilisant des fonds pour accroître la recherche et les programmes liés à la mycologie. Cela permettrait d'avancer vers une conservation efficace de la funga en tant qu'élément clé pour préserver les contributions essentielles de la nature à l'humanité.

La République du Chili et le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, ainsi que République de Colombie, la République du Bénin, le Royaume d'Espagne, les États-Unis du Mexique, la République du Costa Rica, la République du Pérou, la République de l'Équateur, le Royaume du Cambodge, la République de Guinée, et la République fédérale d'Allemagne appellent les Parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB) à accorder une priorité accrue à la conservation des champignons, en les reconnaissant comme un règne biologique distinct dans les législations, les politiques et les accords nationaux et internationaux. Cette reconnaissance met en avant leur rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes et la préservation de la biodiversité. Il est donc crucial d'intégrer des mesures concrètes pour leur protection dans les Stratégies et Plans d'Action Nationaux pour la Biodiversité (SPANB), tout en promouvant la mycologie comme science clé pour les futures initiatives de conservation.

Dans cette optique, il est demandé au secrétariat de la Convention sur la diversité biologique de développer un plan de travail, à soumettre à l'examen de l'Organe Subsidaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (SBSTTA). Ce programme abordera la conservation des champignons, à la fois macroscopiques et microscopiques, à l'échelle mondiale, dans le cadre de la CDB, et encouragera la mise en œuvre de mesures concrètes dans les stratégies de conservation de la biodiversité. L'objectif est de renforcer la reconnaissance du rôle fondamental des champignons pour le bien-être écologique et humain, au sein des traités et cadres environnementaux internationaux, ainsi que dans les politiques agricoles et environnementales nationales et les initiatives locales de conservation.

⁷ (Kuhar, Furci, Dreschler-Santos & Pfister, 2018).

Annexe

Les Champignons, Acteurs Clés Dans La Préservation De La Biodiversité Et La Lutte Contre Le Changement Climatique

Pour atteindre les objectifs de protection de la biodiversité, **une approche globale de la nature** est indispensable. Au cœur de cette démarche se trouve la reconnaissance des champignons comme **un règne à part entière**, représentant une forme de vie distincte. Contrairement aux plantes et aux animaux, souvent considérés de manière individuelle, les champignons vivent en interdépendance complexe avec leur environnement. Leur conservation est donc intrinsèquement liée à la protection de l'ensemble des écosystèmes. Conserver les champignons, c'est agir pour la biodiversité dans son ensemble et renforcer la lutte contre le changement climatique.

Le règne des champignons joue un rôle crucial dans les services écosystémiques, contribuant à renforcer la biodiversité et l'équilibre écologique. Que ce soit à travers le cycle des nutriments, les associations mycorhiziennes avec les plantes, la régulation de l'érosion ou la séquestration du carbone, l'impact des champignons sur la nature est considérable. Il est important de reconnaître que ce règne est distinct des animaux et des plantes. C'est pourquoi nous soulignons que la funga doit bénéficier de la même attention et importance que la flore et la faune dans les efforts de conservation.

Les champignons constituent l'un des règnes les plus diversifiés de la planète, se classant juste après les animaux, avec environ 2,5 millions d'espèces estimées dans le monde. À ce jour, seulement 155 000 d'entre elles ont été scientifiquement décrites, ce qui signifie que plus de 90% des espèces restent encore à découvrir (Antonelli et al., 2023).

Les champignons jouent un rôle essentiel dans les cycles du carbone et des nutriments (Terrer et al., 2016). Environ 90% des espèces végétales terrestres connues établissent des interactions symbiotiques avec des champignons présents dans le sol, formant des mycorhizes via leurs racines (Antonelli et al., 2023). Les champignons mycorhiziens permettent l'entrée du carbone dans les chaînes alimentaires du sol et contribuent à séquestrer chaque année l'équivalent d'un tiers des émissions mondiales de CO₂ issues des combustibles fossiles. Ils sont au cœur du cycle du carbone dans nos écosystèmes et, par leurs interactions avec d'autres organismes, ils renforcent la résilience des réseaux d'espèces et des systèmes écologiques, tout en contribuant à la séquestration du carbone dans les sols.

Le rôle des champignons dans la séquestration du carbone est aujourd'hui largement reconnu, avec une estimation de 5 milliards de tonnes de carbone retenues dans le sol chaque année (Frey, 2019). Par conséquent, leur destruction entraîne la libération brutale de carbone dans l'atmosphère, contribuant ainsi au réchauffement climatique. La libération de seulement 1% du carbone stocké dans le sol chaque année équivaut approximativement aux émissions générées par 10 millions de voitures en une année.



UK Government

Fungi
FOUNDATION

Il est donc essentiel de promouvoir cette relation pour soutenir la nutrition minérale des arbres. Les champignons mycorhiziens étendent le volume de sol accessible aux racines des arbres grâce à leur réseau de filaments (mycélium), leur permettant d'atteindre des pores plus fins et d'accéder à l'eau et aux nutriments autrement inaccessibles. Les plantes consacrent jusqu'à 20% du carbone qu'elles captent par photosynthèse pour nourrir les champignons, qui, en retour, satisfont jusqu'à 80% de leurs besoins en azote et jusqu'à 100% de leurs besoins en phosphore. Cet échange mutuel de nutriments essentiels favorise la productivité et la biomasse des arbres tout en renforçant leurs défenses contre les parasites et les maladies.

Impact Actuel Des Champignons Dans l'Industrie

Industrie Alimentaire

Les levures et les champignons filamenteux, en tant que ressources génétiques, sont largement exploités dans l'industrie alimentaire (Prescott et al., 2018). La fermentation est un processus clé dans la production de boissons alcoolisées telles que la bière, le vin et les liqueurs, avec des levures comme *Saccharomyces cerevisiae*, jouant un rôle central en transformant les sucres. Elles sont également indispensables en boulangerie, où elles font lever le pain en produisant du dioxyde de carbone. Dans la fabrication du fromage, des moisissures telles que *Penicillium roqueforti* et *Penicillium camemberti* sont essentielles pour la création de fromages comme le bleu et le camembert, respectivement (Ropars et al., 2015). De plus, les champignons sont fondamentaux dans la production de chocolat, notamment lors de la fermentation des fèves de cacao, où les levures et autres micro-organismes développent les arômes caractéristiques et indispensables au chocolat de haute qualité.

Les excellentes propriétés nutritionnelles de nombreux macrochampignons ont été reconnues il y a des milliers d'années. Par conséquent, sur le marché mondial actuel, la culture des champignons est évaluée à plusieurs milliards de dollars par an (Business Research Insights, 2024). En outre, les champignons mycorhiziens sont essentiels à la croissance des cultures et à la sécurité alimentaire mondiale (Hristozkova & Orfanoudakis, 2023).

Industrie Pharmaceutique

Les champignons sont devenus une source de plus en plus précieuse de composés bioactifs, tels que les antibiotiques, les immunosuppresseurs, les statines et les acides organiques, jouant un rôle crucial en tant que ressources génétiques pour l'industrie et la médecine (Niskanen et al., 2023). Depuis la découverte fortuite de la pénicilline extraite de *Penicillium rubens* en 1928, les champignons ont fourni de nombreux médicaments essentiels. Parmi eux figurent certains des traitements les plus prescrits au monde, comme les statines, qui contribuent à réduire le taux de cholestérol. Ces composés proviennent de diverses souches de champignons filamenteux, notamment *Aspergillus terreus* et *Penicillium citrinum*. En outre, le champignon *Tolypocladium inflatum* est utilisé pour produire l'immunosuppresseur cyclosporine, qui a révolutionné le succès des greffes d'organes (Antonelli et al., 2023).

Industrie Minière

Certains champignons sont exploités dans les processus de biolixiviation au sein de l'industrie minière, où ils facilitent l'extraction de métaux tels que le cuivre et l'or à partir de minerais à faible teneur. Cette approche utilise des procédés biologiques qui sont plus durables que les méthodes chimiques conventionnelles (Dusengemungu et al., 2021). Différentes souches d'*Aspergillus* sont largement utilisées dans l'industrie, avec un taux d'utilisation moyen de 85% en raison de leurs puissants agents de lixiviation, suivies par *Fusarium*, *Penicillium*, et *Cladosporium*, chacun avec 5% d'application pour les trois genres (Achahui et al., 2022).

Des scientifiques du centre de recherche technique VTT en Finlande ont mis au point une nouvelle méthode d'extraction de l'or des circuits de téléphones portables mis au rebut en utilisant des champignons, qui peuvent récupérer jusqu'à 80% du métal de manière écologique (Portal Minero, 2014).

Biotechnologie

Les champignons sont utilisés pour produire des enzymes industrielles telles que les amylases, cellulases, lipases, protéases et acide citrique, qui ont des applications variées dans les industries alimentaires, textile, des détergents et du papier. Par exemple, *Aspergillus niger* est un producteur clé d'enzymes comme la pectinase et la glucoamylase. En outre, certains champignons également employés dans les processus de biorémédiation pour dégrader les polluants environnementaux. Les champignons de pourriture blanche, en particulier, se distinguent par leur capacité unique à dégrader une large gamme de composés xénobiotiques toxiques (Torres-Farradá et al., 2024).

La petite taille des génomes fongiques en fait une cible puissante pour la recherche génétique sur la biologie eucaryote et une usine microbienne efficace pour la biotechnologie et la bio-ingénierie (Stribille et al., 2022).

Industrie Forestière

Les champignons mycorhiziens jouent un rôle essentiel dans l'industrie forestière en établissant des relations symbiotiques avec les racines des arbres, ce qui améliore significativement l'absorption de nutriments tels que le phosphore et l'azote (Delavaux et al., 2023). Ces associations mycorhiziennes sont fondamentales pour la croissance saine des forêts, en particulier dans les sols pauvres en nutriments, et peuvent être intégrées dans les pratiques de reboisement et de gestion durable des forêts. De plus, les champignons mycorhiziens renforcent la résistance des arbres face aux maladies et aux conditions de stress, contribuant ainsi à la durabilité et à la productivité des écosystèmes forestiers (U.S. Forest Service, 2022).

Le Potentiel Des Champignons En Matière D'Innovation Et De Durabilité

Énergie Durable

L'Objectif de Développement Durable (ODD) 7 des Nations Unies vise à résoudre le problème de l'accès à l'électricité et à l'énergie de cuisson en garantissant une énergie abordable, fiable, durable et propre pour tous. Les champignons présentent un potentiel considérable dans le domaine de la bioénergie, notamment en augmentant leur utilisation actuelle dans le prétraitement des matériaux ligneux. Les enzymes fongiques produites par des espèces telles que *Trichoderma reesei*, un champignon filamenteux, décomposent la matière organique végétale et peuvent être cultivées de manière durable. Ces enzymes améliorent la récupération de la bioénergie à partir des plantes et permettent de générer davantage d'énergie à partir des sous-produits des processus bioénergétiques, tels que le glycérol résiduel issu de la production de biodiesel. De plus, les piles à combustible microbiennes peuvent utiliser des enzymes fongiques, comme celles de la levure de boulangerie (*Saccharomyces cerevisiae*), pour produire de l'électricité à partir de la biomasse végétale sous forme d'éthanol (Antonelli et al., 2023).

Biorestauration (Mycoremediation)

De nombreuses études montrent que les champignons peuvent jouer un rôle clé dans la biorestauration des sols et des eaux contaminés par les activités minières, en aidant à dégrader et à détoxifier des déchets toxiques tels que les métaux lourds et le cyanure. Cela contribue à la restauration écologique des zones touchées par l'exploitation minière.

La mycoremédiation tire parti de la capacité de certains champignons à décomposer des polluants tels que le pétrole, les métaux lourds et les pesticides, en faisant un outil précieux pour assainir les sols et les eaux polluées (Akpasi et al., 2023). De plus, les champignons sont utilisés dans la gestion des déchets pour décomposer des matières organiques, comme les sous-produits agricoles, et les transformer en produits précieux comme le compost. Cela contribue à réduire l'utilisation des décharges et les émissions de méthane (Llacza & Castellanos, 2020).

Alimentation et Agriculture

La mycoprotéine, issue de la biomasse fongique, est un substitut de viande riche en protéines et faible en graisses, qui connaît une popularité croissante en tant que source alimentaire durable (Wang et al., 2023).

En outre, certains champignons possèdent la capacité de lutter contre les parasites et de stimuler la croissance des plantes, ce qui les rend précieux en tant que biopesticides et biofertilisants pour une agriculture durable (Odoh et al., 2020).

Mycofabrication et Biomatériaux

Le *mycoleather*, dérivé du mycélium fongique, constitue une alternative durable au cuir traditionnel, car il est biodégradable, sans cruauté et produit avec un impact environnemental nettement réduit (Niskanen et al., 2023). D'autre part, les myco-composites exploitent la capacité du mycélium à lier des déchets agricoles pour former des matériaux solides et légers, utilisables dans des applications telles que l'emballage, l'isolation et même la fabrication de meubles (Hyde et al., 2019). Par ailleurs, des recherches sont en cours sur les *mycoplastiques*, fabriqués à partir de champignons, qui pourraient servir d'alternatives biodégradables aux plastiques dérivés du pétrole, offrant ainsi des options plus durables pour les emballages et les produits jetables.

Importance Culturelle Des Champignons Dans Les Communautés Indigènes

Les champignons jouent un rôle essentiel dans les cultures et les connaissances de nombreuses communautés autochtones, qui, en tant que gardiennes d'une grande partie de la biodiversité mondiale, sont cruciales pour la préservation de ces organismes et des écosystèmes qui en dépendent (Nitah, 2021). Parmi les nombreuses relations documentées entre les champignons et les cultures indigènes à travers l'histoire, les pratiques des Yanomami avec le champignon *Marasmius yanomami* se distinguent particulièrement. Ses rhizomorphes sont tissés avec des lianes brutes et peints pour confectionner des paniers, intégrant ainsi les champignons dans la vie quotidienne et les pratiques de cette communauté (Oliveira et al., 2014).

En outre, le genre *Fomitopsis* occupe une place importante dans diverses cultures autochtones, où ses espèces sont utilisées depuis des milliers d'années en raison de leurs multiples propriétés. Ces champignons ont servi à aiguiser des outils, à arrêter les saignements et à créer des textiles pour les vêtements. Dans certains cas, ils ont été perçus comme des objets dotés de pouvoirs surnaturels, utilisés dans des rituels chamaniques et comme gardiens de tombes. La présence de *Fomitopsis* dans l'équipement d'Ötzi, l'homme des glaces retrouvé dans les Alpes italiennes et datant de plus de 3 000 ans, met en lumière son utilisation ancienne comme antiseptique et dans des infusions pour renforcer le système immunitaire (ABC Ciencia, 2019). Cette relation riche et variée entre les champignons et les communautés autochtones témoigne non seulement d'une profonde compréhension écologique, mais aussi d'un lien spirituel et culturel qui perdure depuis des siècles (Blanchette et al., 1992).

Préservation Des Champignons En Tant Que Ressource Génétique

Le changement climatique a des répercussions néfastes sur la conservation de ces organismes. En effet, la majorité de la diversité fongique dépend directement des plantes, que ce soit en tant que partenaires bénéfiques, décomposeurs ou parasites. Ainsi, les modifications des habitats causées par le climat, qui nuisent aux plantes, impactent également les champignons qui coexistent avec elles. Les variations de température et d'humidité peuvent affecter directement les champignons. De plus, la surexploitation des champignons à valeur économique constitue un risque pour certaines espèces, comme le champignon chenille (*Ophiocordyceps sinensis*) de l'Himalaya, prisé dans la médecine traditionnelle chinoise et tibétaine (Antonelli et al., 2023).

Les données issues des listes rouges mondiales et nationales indiquent que les menaces pesant actuellement sur les espèces fongiques reflètent en grande partie celles qui touchent les animaux et les plantes. La principale menace réside dans les changements d'utilisation des terres, qui altèrent les systèmes naturels, notamment à travers la conversion à la sylviculture, les pratiques agricoles ou le développement résidentiel et commercial. Les initiatives visant à intégrer les champignons dans ces listes rouges ont permis d'évaluer 625 espèces selon les critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), dont 352 (56%) sont considérées comme menacées ou quasi menacées à l'échelle mondiale. Cela signifie qu'à peine 0,4% des champignons décrits ont vu leur statut de conservation évalué, représentant seulement 0,02% des espèces estimées existantes (Antonelli et al., 2023).

En tant qu'organismes relativement immobiles et souvent de longue durée de vie, les champignons tirent parti de nombreuses initiatives visant à préserver les espèces végétales et animales, telles que la protection des habitats et le maintien des processus écologiques. Toutefois, les évaluations de la liste rouge révèlent que la dégradation de certains environnements écologiques impacte particulièrement les champignons. Ainsi, la conservation de la diversité et des fonctions fongiques requiert des pratiques de gestion spécifiques. Cela inclut la préservation des arbres matures en tant que réservoirs d'espèces, le maintien de réserves de bois mort dans les forêts, ainsi que la gestion des prairies avec des niveaux de nutriments faibles.

Références

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
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
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 Mycorrhiza 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, Põlme 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-Farrad 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, Lcking R, Moncada B, Palacio M, Motato-Vsquez V. 2022. A critical assessment of biogeographic distribution patterns of Colombian fungi. In *Catalogue of Fungi of Colombia*, ed. RF de Almeida, R Lcking, 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. Vtrovsk T, Kohout P, Kopeck M, Machac A, Matej 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