



Micoproteínas como fuente alternativa para el desarrollo de alimentos con alto valor proteico: Avances, aplicaciones y perspectivas biotecnológicas

Mycoproteins as an alternative source for the development of high-protein foods: Advances, applications, and biotechnological perspectives

Melissa González Ruiz ¹, Francisco Rodríguez Ixmattlahua ¹, Luis Daniel Ortega Martínez ¹, Mayra Natacha Elizabeth García ¹, Rodolfo Francisco Sánchez Román ², Alfonso Barona Rosales ³, Alfredo C. Benítez Rojas ^{1, *}

¹ Facultad de Ingeniería Molecular y Tecnologías Sustentables, Decanato de Ingenierías, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán

³ Universidad Tecnológica de Puebla

* Autor de correspondencia: alfredocesar.benitez@upaep.mx; Tel: (222) 2299400 Ext.7773

Fecha de Recepción: 11 de agosto del 2026.

Fecha de Revisión: 26 de agosto del 2026.

Fecha de Publicación: 30 de septiembre del 2026.

ISSN: 3061-838X.

DOI: 10.82580/revatech.v3i3.59

Citación: Melissa González Ruiz, Francisco Rodríguez Ixmattlahua, Luis Daniel Ortega Martínez, Mayra Natacha Elizabeth García, Rodolfo Francisco Sánchez Román, Alfonso Barona Rosales, Alfredo C. Benítez Rojas. Micoproteínas como fuente alternativa para el desarrollo de alimentos con alto valor proteico: Avances, aplicaciones y perspectivas biotecnológicas. Revista en Ciencia y Tecnología del Valle de Tehuacán, 2026, 3, 44-58.

Copyright: © 2026 por los autores. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

Resumen

Las proteínas fúngicas representan una alternativa biotecnológica para el desarrollo de alimentos ricos en proteínas que, a su vez, contribuyen al uso de sistemas alimentarios más sostenibles mediante la producción controlada y el aprovechamiento de residuos agroindustriales. El presente estudio analiza la evidencia reciente sobre el uso de proteínas fúngicas en el desarrollo de alimentos ricos en proteína. Se realizó una revisión sistemática con análisis bibliométrico, siguiendo los lineamientos de reporte PRISMA 2020. Se realizaron búsquedas especializadas en Scopus y PubMed, posteriormente, se depuró la información eliminando los duplicados y seleccionando la literatura relevante. Se analizaron 103 artículos publicados en los últimos 5 años (2022-2026) con el apoyo de RStudio, Excel, Bibliometrix y VOSviewer para identificar patrones de coocurrencia de palabras clave y la distribución geográfica de la investigación científica. De igual manera, se compararon y analizaron los microorganismos utilizados, así como los sustratos, las estrategias de procesamiento y las aplicaciones alimentarias. Se observó una predominancia de hongos filamentosos de los géneros *Fusarium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Neurospora spp.*, *Pleurotus spp.*, *Rhizopus spp.* y *Lentinus spp.* Los contenidos proteicos variaron ampliamente y las aplicaciones alimentarias se orientaron principalmente hacia análogos cárnicos, alternativas a productos lácteos e ingredientes funcionales. Finalmente, la evidencia sugiere que las proteínas fúngicas representan una alternativa con potencial nutricional, tecnológico y ambiental.

Palabras clave: Proteínas fúngicas, micoproteína, biomasa fúngica, fermentación, alimentos alternativos.



Abstract

Fungal proteins represent a biotechnological alternative for developing protein-rich foods that contribute to more sustainable food systems through controlled production and the utilization of agro-industrial waste. This study analyzes recent evidence regarding the use of fungal proteins in the development of protein-rich foods. A systematic review with bibliometric analysis was conducted, following the PRISMA 2020 reporting guidelines. Specialized searches were performed in Scopus and PubMed, followed by data refinement to remove duplicates and select relevant literature. A total of 103 articles published within the last 5 years (2022-2026) were analyzed using RStudio, Excel, Bibliometrix, and VOSviewer to identify keyword co-occurrence patterns and the geographical distribution of scientific research. Additionally, the microorganisms employed, as well as the substrates, processing strategies, and food applications, were compared and analyzed. A predominance of filamentous fungi from the genera *Fusarium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Neurospora spp.*, *Pleurotus spp.*, *Rhizopus spp.*, and *Lentinus spp.* was observed. Protein content varied widely, and food applications focused primarily on meat analogues, dairy alternatives, and functional ingredients. Finally, the evidence suggests that fungal proteins represent an alternative with significant nutritional, technological, and environmental potential.

Keywords: Fungal proteins, mycoprotein, fungal biomass, fermentation, alternative foods.

1. Introducción

La transición hacia sistemas alimentarios más sostenibles ha puesto a las proteínas alternativas en el centro de la investigación en ciencia, tecnología e innovación alimentaria. Este interés no responde únicamente a la sustitución parcial de proteínas animales, sino también a la necesidad de diversificar las fuentes proteicas frente a presiones convergentes como: crecimiento poblacional, demanda creciente de alimentos densos en proteína, uso intensivo de tierra y agua, emisiones asociadas a la producción pecuaria y vulnerabilidad de las cadenas de suministro. En este contexto, las proteínas derivadas de hongos representan una plataforma biotecnológica especialmente atractiva porque combinan productividad fermentativa, independencia relativa de las condiciones climáticas, posibilidad de producción controlada y potencial para integrarse en modelos de economía circular. La micoproteína puede ofrecer ventajas ambientales frente a la carne y, en ciertos escenarios, emisiones de gases de efecto invernadero menores o comparables a las de alternativas vegetales procesadas, aunque todavía se requieren evaluaciones de ciclo de vida más homogéneas para comparar sistemas, regiones y unidades funcionales

(Linder, 2024; Shahid et al., 2024; Firincă et al., 2026). Las proteínas fúngicas incluyen biomasa micelial comestible, micoproteína producida mediante la fermentación de hongos filamentosos y productos derivados de especies como *Fusarium venenatum*, *Neurospora intermedia*, *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus spp.*, entre otros hongos con historial de uso alimentario o potencial tecnológico. A diferencia de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles, cuya densidad proteica puede verse limitada por su alto contenido de agua, la biomasa micelial obtenida mediante fermentación puede concentrar proteína, fibra estructural y compuestos bioactivos en una matriz con propiedades funcionales relevantes para alimentos ricos en proteína. La micoproteína como una fuente con perfil de aminoácidos favorable, bajo contenido de grasa saturada, ausencia de colesterol y una matriz rica en fibra, principalmente quitina y β -glucanos, componentes que pueden influir tanto en la textura como en la digestibilidad y en posibles efectos metabólicos (Ahmad et al., 2022; Derbyshire, 2023; Majumder et al., 2024). Estas características explican su creciente interés no solo como ingrediente proteico, sino también como estructura alimentaria capaz de aportar a productos



con atributos nutricionales y sensoriales diferenciados.

Desde el punto de vista tecnológico, la producción de proteínas fúngicas se apoya principalmente en la fermentación sumergida y en la fermentación en estado sólido, dos estrategias con implicaciones distintas en la escalabilidad, el control del proceso, el costo y las propiedades del producto final. La conversión de pan residual y bagazo cervecero en productos enriquecidos con proteína mediante hongos filamentosos comestibles demuestra que los sustratos de desecho pueden transformarse en matrices alimentarias con una mejor composición nutricional y un mayor potencial tecnológico (Gmoser *et al.*, 2020; Majumder *et al.*, 2024). Por ello, el análisis de tendencias emergentes debe considerar no solo la especie fúngica, sino también el sustrato, el tipo de fermentación, la eficiencia de conversión, la inocuidad, la funcionalidad tecnofuncional y la viabilidad de escalamiento. El desarrollo de alimentos ricos en proteína a partir de biomasa fúngica se ha vinculado a la formulación de análogos cárnicos, productos híbridos, ingredientes texturizados, alimentos fermentados enriquecidos y matrices de alto valor nutricional. La estructura filamentosa del micelio puede aportar una ventaja relevante para imitar la fibrosidad de productos cárnicos, reduciendo la dependencia de procesos intensivos de texturización empleados en algunos productos vegetales (Khan *et al.*, 2024). Sin embargo, su adopción no está exenta de retos, como el sabor, el olor, la textura, la percepción de naturalidad, la asociación cultural con los mohos, la neofobia alimentaria, la regulación de nuevos alimentos, la gestión de la alergenicidad y el control de metabolitos indeseables son factores críticos para la aceptación y la seguridad del producto (Monaco *et al.*, 2024). La familiaridad con las proteínas fúngicas, la percepción de beneficios ambientales y de salud, y la confianza en la tecnología de producción influyen en la aceptación por parte del consumidor (Chezan *et al.*, 2022; Dean *et al.*, 2022). Sin embargo, la evidencia

sobre micoproteína y alimentos basados en hongos permanece fragmentada entre estudios de fermentación, nutrición, sostenibilidad, inocuidad, análisis sensorial y formulación de análogos cárnicos. Por ello, una revisión sistemática con análisis de tendencias permite ordenar la evidencia, identificar líneas consolidadas y reconocer vacíos estratégicos relacionados con las nuevas cepas comestibles, la valorización de subproductos, la digestibilidad, la fibra fúngica, el análisis del ciclo de vida, la aceptación del consumidor y la regulación. En este contexto, esta revisión analiza la evidencia reciente sobre las proteínas fúngicas como fuente alternativa de alimentos ricos en proteínas e identifica las tendencias emergentes que orientan su desarrollo biotecnológico, nutricional y tecnológico hacia sistemas alimentarios más sostenibles.

2. Metodología

Se realizó una revisión sistemática con base en los lineamientos de PRISMA 2020 (**Figura 1**), con el objetivo de identificar, seleccionar y sintetizar la evidencia científica fortaleciendo la transparencia del proceso de búsqueda y síntesis de literatura (Page *et al.*, 2021) sobre el uso de organismos fúngicos como fuente alternativa de proteína para la dieta humana. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo el 23 de junio de 2026 en PubMed, utilizando la cadena: (mycoprotein[Title/Abstract] OR mycoproteins[Title/Abstract] OR "fungal protein"[Title/Abstract] OR "fungal proteins"[Title/Abstract] OR "single-cell protein"[Title/Abstract] OR "microbial protein"[Title/Abstract] OR "fungal biomass"[Title/Abstract] OR "edible fungal biomass"[Title/Abstract] OR "mycelium protein"[Title/Abstract] OR "mycelial protein"[Title/Abstract]) AND (fermentation[Title/Abstract] OR "submerged fermentation"[Title/Abstract] OR "solid-state fermentation"[Title/Abstract] OR bioprocess*[Title/Abstract] OR biotechnolog*[Title/Abstract] OR "fungal fermentation"[Title/Abstract] OR "biomass



production"[Title/Abstract] AND
(food[Title/Abstract] OR
foods[Title/Abstract] OR "food
application"[Title/Abstract] OR "food
ingredient"[Title/Abstract] OR "alternative
protein"[Title/Abstract] OR "meat
alternative"[Title/Abstract] OR
nutrition[Title/Abstract]). Mientras en
Scopus se usó la cadena: TITLE-ABS-
KEY(mycoprotein OR mycoproteins OR
"fungal protein" OR "fungal proteins" OR
"single-cell protein" OR "microbial protein"
OR "fungal biomass" OR "edible fungal
biomass" OR "mycelium protein" OR
"mycelial protein") AND TITLE-ABS-
KEY(fermentation OR "submerged
fermentation" OR "solid-state fermentation"
OR bioprocess* OR biotechnolog* OR
"fungal fermentation" OR "biomass
production") AND TITLE-ABS-KEY(food
OR foods OR "food application*" OR "food
ingredient*" OR "alternative protein*" OR
"meat alternative*" OR nutrition). Se
filtraron únicamente aquellos resultados
catalogados como artículos y no se empleó
filtrado para el idioma. La búsqueda inicial
en PubMed recuperó 273 resultados, de los
cuales 193 fueron seleccionados por haber
sido publicados en los últimos 5 años (2022-
2026). Por otra parte, la búsqueda en Scopus
arrojó 897 resultados, de los cuales se
consideraron 608, ya que fueron publicados
en los últimos 5 años (2022-2026). Los
metadatos bibliográficos fueron exportados
en formatos .txt para la búsqueda en
PubMed y .csv para los resultados de
Scopus. Posteriormente, los datos se
procesaron con el paquete bibliometrix en R
y se tamizaron los resultados obtenidos para
descartar 671 artículos que documentan
información no relevante para el artículo
(nutrición animal, proteínas de origen no
especificado, aplicaciones no alimentarias y
artículos fuera de tema), resultando en la
remoción de 153 resultados de la base de
datos de PubMed y 518 de la base de datos
de Scopus. Del tamizaje se obtuvieron 90
resultados en la base de datos de Scopus,
mientras que para la base de datos extraída
de PubMed se mantuvieron 40 documentos.

Después, se unificaron las bases de datos y
se eliminaron 24 registros duplicados, por lo
que se llegó a un total de 106 registros. A
partir de los 106 artículos obtenidos, se
solicitó la recuperación de 8 registros, pero
se descartaron 3 por ser de licencia que están
fuera del alcance. Se realizó una lectura
crítica de artículos enfocados en el
desarrollo de alimentos alternativos altos en
proteína a partir de hongos microscópicos y
macroscópicos, en los que se resumen los
hallazgos biotecnológicos más recientes.
Para el análisis de la distribución geográfica
de la producción científica se utilizó un
esquema de conteo completo (whole
counting) basado en las afiliaciones
institucionales de los autores. Cada país
recibió un conteo completo por cada
publicación en la que estuvo representado
por al menos una afiliación. En los artículos
con colaboración internacional, una misma
publicación fue contabilizada para cada uno
de los países participantes; por ello, la suma
de las frecuencias por país puede superar el
número total de documentos analizados.
Finalmente, se emplearon RStudio, Excel,
Bibliometrix y VOSviewer para construir y
diseñar las redes bibliométricas, así como las
gráficas que se presentan a lo largo de la
revisión. La revisión se restringió al periodo
2022–2026 y a las bases Scopus y PubMed,
sin incluir Web of Science ni literatura gris.
Además, no se aplicaron restricciones de
idioma.

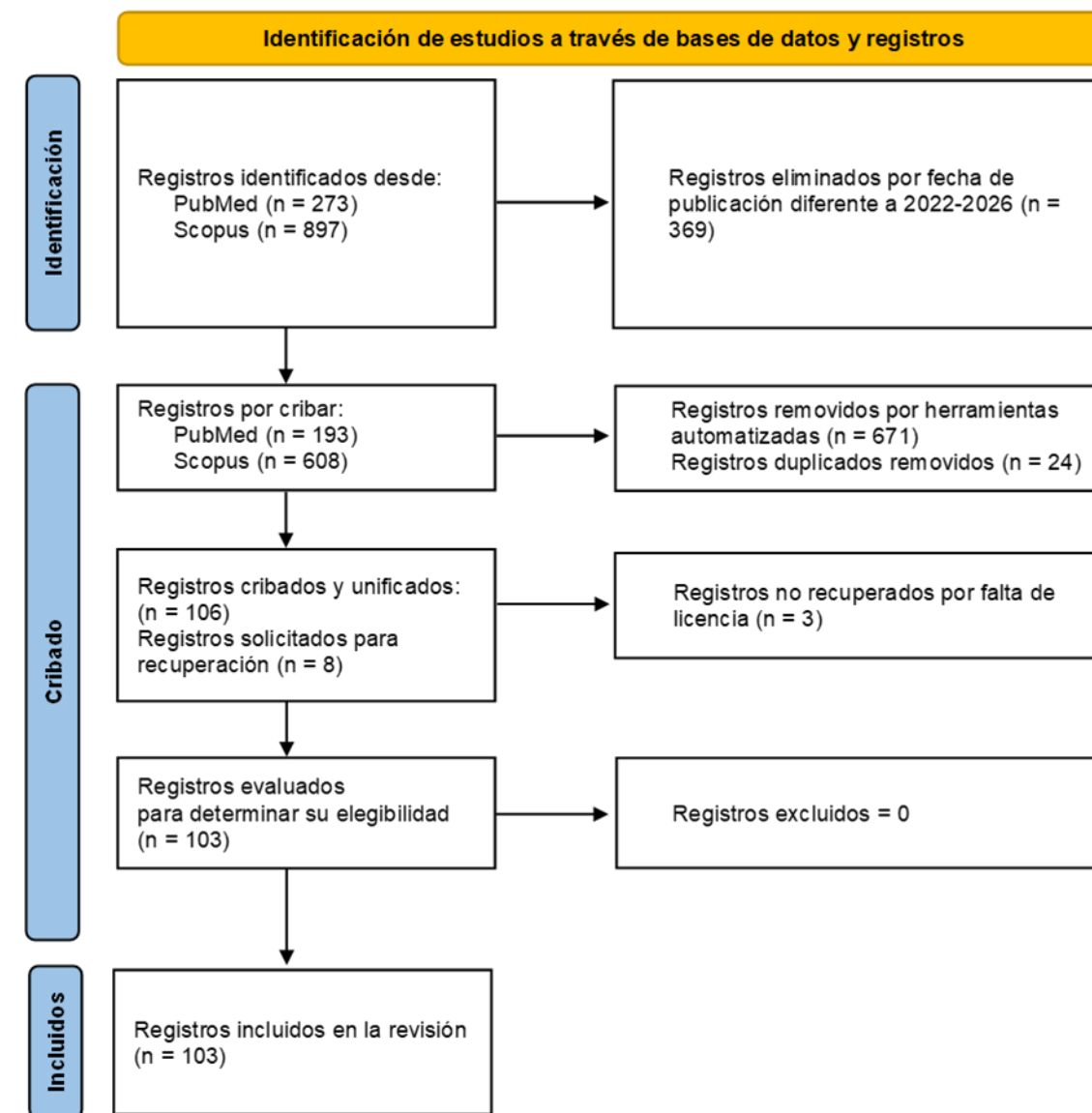


Figura 1. Diagrama PRISMA del proceso de revisión sistemática y selección de referencias.

3. Resultados y discusión

Los estudios sistematizados evidenciaron una marcada diversidad taxonómica y tecnológica en la producción de proteínas alternativas, con predominio de hongos filamentosos de los géneros *Fusarium*, *Aspergillus*, *Neurospora*, *Pleurotus*, *Rhizopus* y *Lentinus*, aunque también se identificaron levaduras y bacterias productoras de proteínas unicelulares (Tabla 1). Los contenidos proteicos oscilaron entre 13.4 y 71% en base seca, con valores particularmente elevados en *Pleurotus salmoneostramineus* (66.71%). Esta amplitud confirma que la concentración de proteína no depende únicamente del

microorganismo, sino también de la composición del sustrato, del régimen de fermentación y de las operaciones posteriores de recuperación. La literatura especializada sitúa habitualmente a las proteínas microbianas entre el 30 y el 70% de la biomasa seca y reconoce a la micoproteína por su matriz de quitina-glucano, su perfil de aminoácidos y sus propiedades estructurantes, lo cual es congruente con los intervalos observados en la **Tabla 1** (Ahmad et al., 2022; Gnaim et al., 2026). Sin embargo, es importante considerar que, aunque los contenidos declarados en la literatura revisada van desde valores prácticamente marginales hasta resultados muy



prometedores, los estudios de nitrógeno total empleados para cuantificar dichos datos son especialmente susceptibles a

sesgos cuando se trata de evaluar organismos fúngicos.

Tabla 1. Comparativa de organismos, sustratos y parámetros de calidad de proteínas alternativas derivadas de la fermentación microbiana.

Organismo/co nsorcio utilizado	Sustrato utilizado	Método de purificación de la proteína	Producto final obtenido	Contenido/conce ntración de proteína	Calidad nutricional y digestibilidad	Aplicación alimentaria	DOI
<i>(Fusarium venenatum, Aspergillus oryzae, Neurospora intermedia)</i>	Corrientes secundarias agroindustriales	Reducción de ARN mediante calor	Micoproteína	13.6 - 71% (peso seco)	Perfil completo de AA; PDCAAS 0.996	Análogos de carne y alimentos funcionales	10.3390/fermentation12010007
<i>Neurospora intermedia</i>	Orujo de uva y lías de vino	Liofilización de biomasa	Albóndigas análogas de carne	Hasta 37% (base seca) en producto	Estructura fibrosa; rica en minerales (P, Mg, Fe, Zn)	Análogos de carne veganos y sin gluten	10.1016/j.ifs-et.2025.104409
<i>Pleurotus ostreatus</i> (HK35)	Harina de amaranto y nuez Bambara	Liofilización	Micelio rico en nutrientes	17.6 - 55.4% (según sustrato)	Balance de AA comparable al hongo fresco	Ingredientes para alimentos funcionales	10.3390/foods15091584
Varios (agricultura celular)	Paja, cascarilla de avena, salvado	No reportado	Biomasa microbiana (teórica)	No reportado	No reportado	Proteína para consumo humano/animal	10.1016/j.fufo.2026.100951
<i>Pleurotus ostreatus</i> (DEF630)	Caldo de papa dextrosa (PDB)	Liofilización; extracción acuosa	Extracto de micelio funcional	21.33% (biomasa)	Digestibilidad proteica 81.71% (Infogest)	Medios de cultivo y agricultura celular	10.1007/s44187-026-00952-7
<i>Pleurotus eryngii</i>	Micelio sumergido + Proteína levadura	Reducción de ARN por calor a 70 °C	Análogo de carne fúngico mejorado	14%	Alta fibra (12.7%), sin colesterol	Alimentos fúngicos de alta calidad	10.1016/j.ifs-et.2025.104322
<i>Fusarium venenatum</i>	Jarabe de glucosa	Separación celular y formulación	Biomasa de micelio formulada	13.4%	Modelo Quorn; alta calidad de AA	Sustituto de carne (cerdo)	10.1007/s11367-026-02637-w
<i>Kluyveromyces lactis</i>	Suero lácteo (Whey)	Sonicación y centrifugación	Yogur análogo (mezcla soja)	4% (en producto final)	Red elástica reforzada; rica en fibra	Lácteos análogos de base vegetal	10.1021/acso-mega.5c13283
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Azúcares y ácido oleico	Lavado y secado (horno/liofilización)	Biomasa micelial densa	Hasta 39.7%	Rica en vitaminas, minerales y AA esenciales	Alimento vegano grado alimenticio	10.1039/d5fb00752f
<i>Lentinus squarrosulus</i>	Soja hidratada	Secado y molido	Micelio en estado sólido (SSF)	36.43%	AA esenciales; β -glucanos; bajo en grasa	Suplemento para salud cardíaca	10.14720/abs.69.1.23213
<i>Fusarium venenatum</i>	Subproductos agrícolas	Fermentación SSF/SmF	Biomasa fúngica	~50% (promedio biomasa)	Accesibilidad de AA 81-92%	Sustitutos de carne y polvos	10.2174/0113895575399738251007060021



<i>Fusarium venenatum</i> , bacterias hidrógeno oxidantes, algas (Arthrospira)	Residuos y sustratos C1	Reducción de ácidos nucleicos	Alimentos microbianos	30 - 70% (base seca)	Matriz quitina-glucano; AA esenciales	Formatos cotidianos (platos comunes)	10.1038/s41467-026-73987-0
<i>Neurospora intermedia</i>	Orujo de uva y lías de vino	Extracción fenólica y proteómica	Ingrediente proteico fúngico	49.0 - 68.3% (cruda)	Alta en lisina y leucina; rica en PUFAs	Análogos de carne y alimentos funcionales	10.1016/j.food.2025.108142
<i>Aspergillus awamori</i>	Cáscara de almendra	Microfiltración y filtración al vacío	Alimento micológico	~98 mg proteína/g cáscara	Textura fibrosa; bajo costo	Ingrediente alimentario competitivo	10.1007/s11947-025-04202-z
<i>S. cerevisiae</i> , <i>R. glutinis</i>	YPD + Selenio	Centrifugación y secado	Levadura enriquecida con Se	38 - 55% (referencia)	EAAI 1.42-2.05 (R. glutinis)	Alimentos funcionales y suplementos	10.3390/molecules31020254
Basidiomycetes (<i>P. pulmonarius</i>)	Arroz integral, BSG, altramuz	Liofilización	Sustratos fermentados (micelio+grano)	Aumento de proteína total	Degradación de fitatos (80%)	Nuevas fermentaciones alimentarias	10.1016/j.cris.2025.101278
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Okara de avena	Tratamiento térmico (60-90 °C)	Ingrediente basado en micelio	No reportado	Purinas estables al calor; reducción microbiota	Ingredientes para análogos de carne	10.1016/j.ifs.2026.104649
<i>Pleurotus salmoneostramineus</i>	Hidrolizados de salvado y pan duro	Lavado y liofilización	Micoproteína	66.71%	Rica en glutamato (umami); AA exceden FAO	Alimentos de base vegetal	10.3390/foods15101773
<i>Aspergillus niger</i> FS10	Agua de remojo de maíz (CSW)	Inactivación de ARN (60 °C) y liofilización	Gel análogo de carne	46.88%	Rica en Zn y Mg; reduce micotoxinas >90%	Geles tipo "pastel de pescado"	10.1016/j.foodchem.2026.149675

Una de las propiedades características de los hongos es su pared celular, principalmente compuesta por quitina. Gracias a este factor, los números reportados a través del nitrógeno total pueden resultar superiores a la realidad, pues una fracción significativa corresponde a nitrógeno no proteico proveniente de la pared celular y los ácidos nucleicos, tal como mencionan Hoxha *et al.*, (2026). A lo largo del estudio mencionado, se determinó que mientras el contenido reportado de proteína cruda abarca un rango de entre 49 y 68.3% del peso seco, el valor real representa únicamente entre el 21.4 y 32%. Un hallazgo central fue el uso recurrente de corrientes secundarias agroindustriales como fuente de carbono y nutrientes. Orujo de uva, lías de vino,

cáscara de almendra, salvado, pan duro, agua de remojo de maíz, suero lácteo, residuos hortícolas y okara de avena fueron bio-convertidos en biomasa proteica o en ingredientes alimentarios. Este patrón muestra que el desarrollo de proteínas fúngicas se articula con estrategias de economía circular, al transformar residuos de bajo valor en matrices con mayor densidad nutricional. Sin embargo, de acuerdo con la literatura, la eficiencia de conversión y la composición de la biomasa están estrictamente reguladas por la estequiometría del medio, principalmente por las relaciones carbono/nitrógeno y carbono/fósforo. Un suministro optimizado de nitrógeno asimilable estimula las rutas metabólicas de aminación para la



acumulación proteica, en cultivos sumergidos de *Pleurotus ostreatus*, una relación C/N de 2.6 permitió maximizar la concentración de proteína micelial hasta un 39.7% en peso seco. Por el contrario, cuando se provee un exceso de nitrógeno y los carbohidratos accesibles se encuentran limitados, las hifas recurren a la desaminación para obtener carbono y energía, lo que reduce la densidad proteica del producto además de liberar amoníaco libre. La fermentación sólida y la fermentación sumergida fueron las rutas más frecuentes; la primera favoreció productos integrales micelio-sustrato, mientras que la segunda permitió un mayor control del crecimiento, la cosecha de biomasa y la estandarización del producto. *Pleurotus ostreatus* ha demostrado que los hidrolizados agroindustriales pueden sostener la producción de micoproteína con un perfil aminoacídico equilibrado, mientras que revisiones recientes confirman el potencial de los residuos agroindustriales para reducir costos y la presión ambiental en la fabricación de proteína microbiana (Bajić et al., 2023; Bakratsas et al., 2023; Finnigan et al., 2025).

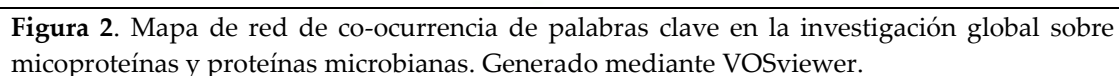
Las operaciones de purificación y estabilización variaron desde procedimientos simples, como el lavado, la centrifugación, el secado y la liofilización, hasta procesos más específicos, como la precipitación alcalina-ácida, la microfiltración, la sonicación, la extracción acuosa y la reducción térmica de ARN. Esta última operación constituye un punto crítico para la inocuidad, ya que la biomasa microbiana puede contener concentraciones elevadas de ácidos nucleicos y purinas. Consultando la literatura, se observa que, en la fermentación sumergida, la aplicación de tratamientos térmicos activa ARNasas endógenas y desnaturaliza el ARN. Esto permite que los nucleótidos degradados se difundan hacia la fase líquida extracelular, de donde se separan mediante filtración o centrifugación. Por el contrario, en la fermentación en estado sólido, el tratamiento térmico inactiva la microbiota contaminante pero no logra eliminar las

purinas totales debido a la ausencia de una fase líquida que extraiga los compuestos degradados. Esta limitación implica que se requieran procesos de extracción adicionales. Por otro lado, en términos de calidad nutricional, varios productos presentaron perfiles completos de aminoácidos esenciales, accesibilidad de aminoácidos de 81-92%, digestibilidad in vitro de hasta 81.71% y valores de puntuación de aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína (PDCAAS) cercanos a 1.0. No obstante, la calidad no es uniforme: en un estudio publicado por la revista Foods, el polvo de *R. eutropha* (bacteria Gram negativa) de proteína unicelular, muestra una elevada concentración proteica pero un PDCAAS de 0.71. Estas diferencias en la literatura indican que el contenido proteico bruto, por sí solo, no es suficiente para predecir el valor nutricional; deben considerarse la digestibilidad, el aminoácido limitante, la matriz celular y el efecto del procesamiento (Caliskan et al., 2026; Montebello et al., 2026; You et al., 2026).

Las aplicaciones alimentarias evidenciaron una transición de la obtención de biomasa al diseño de productos con una funcionalidad tecnológica definida. Los principales destinos fueron análogos de carne, geles tipo pescado, yogures no lácteos, ingredientes para la fortificación y alimentos funcionales. La estructura filamentosa natural de los hongos favoreció la formación de matrices fibrosas gracias a su arquitectura tridimensional basada en hifas, mientras que la combinación con proteínas de levadura, extrusión de alta humedad y tratamientos térmicos permitió mejorar la cohesión, elasticidad y masticabilidad, similares a aquellas de los productos cárnicos. De manera paralela, las proteínas microbianas no fúngicas reportadas a lo largo de la bibliografía mostraron capacidad para generar productos estructurados como la proteína de *Clostridium autoethanogenum* obtenida del gas de síntesis que pudo transformarse mediante extrusión en análogos cárnicos fibrosos. La tendencia emergente no se limita a incrementar el



necesario tener en cuenta las características sensoriales de los alimentos basados en hongos obtenidos a través de los procesos fermentativos y de procesamiento anteriormente mencionados, pues propiedades organolépticas como el olor y el sabor de los alimentos análogos forman parte fundamental de la percepción del público y su eventual adopción como alimento recurrente.



fuertemente representados son “proteins”, “mycoprotein”, “metabolism” y “biomass”, lo que refleja su relevancia como términos esenciales en la producción biotecnológica de biomasa, en el producto obtenido y en su digestibilidad en el cuerpo humano (Khan *et al.*, 2024). Por otro lado, términos como “nutrition”, “nutritional value”, “amino acid composition” y “protein intake” evidencian la relevancia de evaluar la calidad nutricional de las proteínas fúngicas, mientras que “food industry”, “meat



substitute” y “alternative protein” reflejan la orientación de las investigaciones hacia aplicaciones alimentarias y el desarrollo de sustitutos de productos de origen animal. En cuanto a los términos de sostenibilidad, se observan “environmental impact”, “sustainable development” y “carbon source”, lo que demuestra que la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente son dimensiones relevantes en este campo. En relación con esto, términos como “valorisation”, “fermentation” y “protein

production” sugieren una orientación hacia el aprovechamiento de sustratos para generar estos productos ricos en proteína (Finnigan *et al.*, 2025).

En su totalidad, las conexiones entre los términos del mapa de red sugieren un campo interdisciplinario en el que convergen la microbiología, la nutrición, la ciencia de los alimentos y la biotecnología fermentativa.

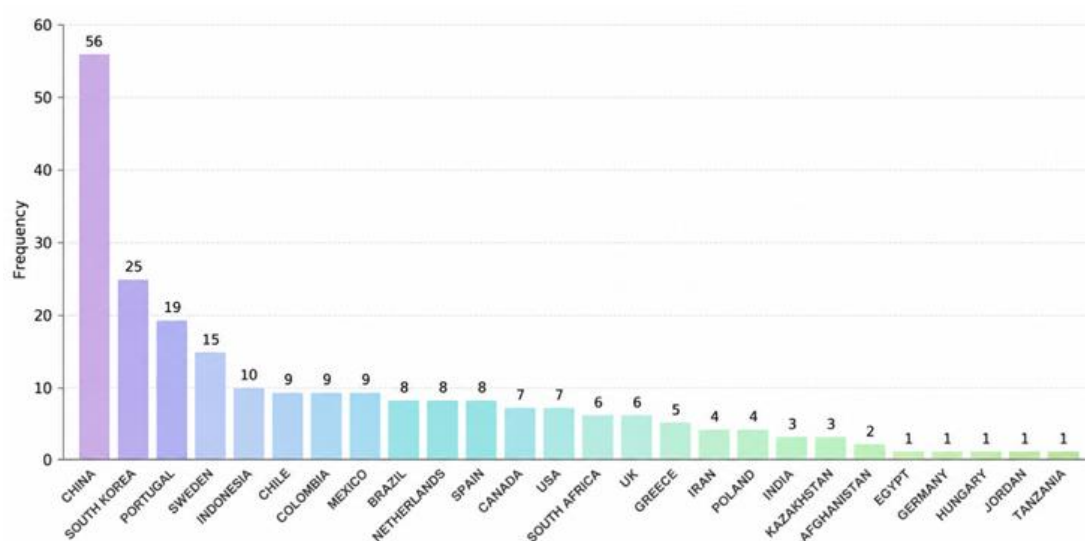


Figura 3. Distribución geográfica de la producción científica y tecnológica relacionada con las micoproteínas y las proteínas de origen microbiano. Conteo completo (whole counting) basado en afiliaciones de autores.

La distribución geográfica de la producción científica mostró una marcada concentración en Asia, encabezada por China, que registró presencia en 56 publicaciones, seguida de Corea del Sur (25) y Portugal (19); posteriormente se ubicaron Suecia (15), Indonesia (10), Chile, Colombia y México con nueve publicaciones cada uno, mientras que Brasil, Países Bajos y España registraron ocho documentos (**Figura 3**). En contraste, la mayoría de los países restantes presentaron una contribución inferior a ocho publicaciones, lo que evidencia una estructura asimétrica y una amplia dispersión internacional del campo. El liderazgo chino puede relacionarse con el creciente interés en la fermentación de biomasa, la valorización de subproductos

agroindustriales y el desarrollo de fuentes proteicas capaces de reducir la dependencia de los sistemas pecuarios convencionales. Asimismo, la participación de países de Europa, Asia y América Latina indica que las proteínas fúngicas constituyen una línea de investigación global, impulsada tanto por la búsqueda de alimentos de menor impacto ambiental como por la necesidad de aprovechar los residuos agrícolas mediante procesos biotecnológicos. No obstante, la elevada concentración de publicaciones en pocos países sugiere diferencias regionales en la infraestructura de fermentación, el financiamiento, la capacidad de escalamiento y los marcos regulatorios para nuevos alimentos. En este sentido, aunque la producción de micoproteína presenta



ventajas nutricionales y tecnológicas, su consolidación requiere fortalecer la cooperación internacional, la estandarización de procesos y los estudios

sobre la inocuidad, la funcionalidad y la aceptación del consumidor (Ahmad *et al.*, 2022; Bajić *et al.*, 2023; Gnaim *et al.*, 2026).

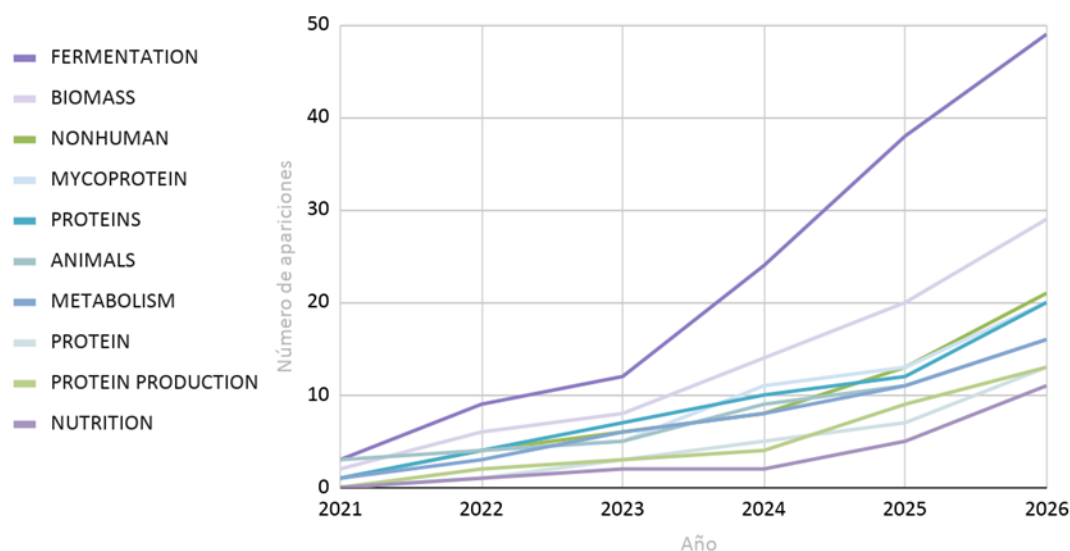


Figura 4. Frecuencia acumulada de aparición de palabras clave en el periodo analizado.

La dinámica observada en la **Figura 4** revela un amplio crecimiento de la investigación relacionada a la producción de proteínas alternativas entre los años 2021 y 2026. En esta se puede encontrar el crecimiento acelerado del uso de términos como “fermentation”, el cual pasó de 3 apariciones a 49; o “biomass”, pasando de 2 a 29 apariciones. Esto marca una clara transición científica desde el estudio de organismos aislados hacia la optimización de procesos biológicos industriales. En primer lugar, se encuentra la palabra “fermentation” con 20 apariciones más que el segundo término (“biomass”). Las técnicas de fermentación se han consolidado como las estrategias de elección, ya que permiten transformar residuos provenientes de las corrientes agroalimentarias en alimentos de alta densidad nutricional. La aparición constante de términos como “mycoprotein”, “protein”, “protein production” y “nutrition” se debe a que las técnicas fermentativas permiten producir proteínas de manera independiente de factores ambientales, como las estaciones del año, y además pueden reducir significativamente el uso de suelo. Un análisis de ciclo de vida

reportó una reducción aproximada del 94% en el uso de suelo de la micoproteína respecto a la producción de carne de cerdo, considerando cadenas de producción actuales (Trembl *et al.*, 2026). El desarrollo de la fermentación de precisión y el uso de biorreactores a escala industrial han permitido estandarizar la calidad de los productos finales obtenidos, como en el caso de la micoproteína de *Neurospora intermedia* o de *Pleurotus ostreatus*, utilizada para generar matrices alimentarias análogas a la carne (Hoxha *et al.*, 2026).

La presencia de términos como “nonhuman” o “metabolism” responde a las necesidades regulatorias propias de toda investigación: las evaluaciones de seguridad y toxicidad. Diferentes organismos empleados en la producción de micoproteínas, como *Neurospora intermedia* o *Pleurotus ostreatus*, son considerados alimentos novedosos, por lo que la realización de ensayos preclínicos exhaustivos en modelos animales para determinar la digestibilidad y la ausencia de efectos adversos en humanos es una prioridad (Hoxha *et al.*, 2026). La presencia de la palabra “animal” en la literatura



analizada, refleja el interés por las proteínas microbianas en la sustitución de proteínas como las harinas de pescado y soja, empleadas en dietas acuícolas y ganaderas a gran escala (Asim *et al.*, 2026).

4. Reflexiones finales y/o conclusiones

La evidencia científica y tecnológica sistematizada subraya la posición estratégica que juegan las micoproteínas como una solución multifacética a las crecientes exigencias alimentarias a nivel local y global. La necesidad de diversificar las fuentes de proteína alimenticia se ha visto impulsada constantemente por la presión ejercida por fenómenos como la degradación acelerada de los recursos naturales y la explotación constante de los recursos hídricos. Se ha encontrado en la biomasa derivada de hongos una plataforma biotecnológica de alto rendimiento y sustentabilidad. Al utilizar corrientes laterales de la industria agroalimentaria, tales como orujo de uva, bagazo cervecero o residuos de panificación, los procesos fermentativos empleados en la producción de micoproteínas permiten la bioconversión de estos desechos en matrices alimentarias de alta densidad nutricional desde un enfoque sostenible. Así, el desarrollo de esta tecnología plantea la mitigación del impacto ambiental de la ganadería, constantemente relacionada con la contaminación por la emisión de gases de efecto invernadero y el uso excesivo de suelos. Desde una perspectiva nutricional, las proteínas fúngicas pueden entenderse como un rival frente a las fuentes de proteína tradicionalmente obtenidas de organismos animales y vegetales procesados. La biomasa proveniente del micelio fúngico no solo ha sido reconocida como una gran fuente de aminoácidos con perfiles satisfactorios, sino también como una matriz alimentaria compleja, compuesta por quitina y β -glucanos. Este perfil proporciona ventajas a nivel estructural, un aspecto valioso para la salud metabólica humana y especialmente importante para la industria de los alimentos procesados gracias a sus propiedades mecánicas. La morfología

filamentosa natural del micelio permite replicar la textura y la fibrosidad de los tejidos cárnicos sin depender de métodos de texturización intensivos. Así, los hallazgos técnicos han demostrado que, mediante la optimización de la fermentación sumergida o en estado sólido, es posible alcanzar concentraciones sumamente competitivas, acompañadas de un perfil nutricional bajo en grasas saturadas y libre de colesterol. Esto posiciona a las micoproteínas como un ingrediente funcional superior en múltiples aspectos, ideal para el diseño de dietas sostenibles y saludables. La transición hacia una adopción a escala no está exenta de desafíos complejos que se presentarán en los próximos años. La heterogeneidad de la calidad nutricional entre las especies fúngicas y los sustratos empleados subraya la necesidad de estandarizar los procesos de producción y purificación. Además, la aparición de barreras sociales como la aceptación cultural o la percepción sensorial de estos alimentos novedosos resulta ser un factor importante a tomar en cuenta. La aparición del escepticismo ante el uso de hongos, asociados históricamente al deterioro y la descomposición de alimentos, exige el desarrollo de técnicas de procesamiento que aseguren la obtención de perfiles de sabor y aroma neutrales para los consumidores. En última instancia, se suma una marcada asimetría en la producción científica global, en la que el liderazgo de ciertas regiones resalta la importancia de fomentar la cooperación internacional y el intercambio tecnológico, con el objetivo de cerrar brechas en infraestructura y en marcos regulatorios ante la aparición de nuevas alternativas alimentarias.

La integración de la evidencia analizada permite afirmar que el desarrollo de las micoproteínas constituye una línea de investigación estratégica para la construcción de los sistemas alimentarios del futuro. Observando tendencias claras hacia técnicas específicas y microorganismos relevantes, transformando procesos biotecnológicos en soluciones industriales que van más allá de la sustitución de la carne. Es posible identificar



cómo la investigación ha evolucionado desde el simple estudio de microorganismos en entornos aislados hasta la optimización de bioprocesos complejos que abordan problemáticas de sostenibilidad, digestibilidad y desempeño funcional. Así, las micoproteínas emergen no solo como una alternativa viable, sino también como un componente indispensable para una transición alimentaria justa y eficiente, capaz de conciliar los imperativos de la salud pública con la preservación de los ecosistemas globales mediante la innovación y la biotecnología aplicada. Como perspectivas futuras, será necesario profundizar en el estudio de nuevas cepas comestibles, la regulación de alimentos novedosos, las evaluaciones de ciclo de vida y la aceptación del consumidor. Asimismo, los resultados deben interpretarse considerando las limitaciones derivadas de la ventana temporal analizada y de las bases de datos incluidas.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Contribución de los autores: Conceptualización, A.C.B.R.; M.G.R.; metodología, F.R.I.; L.D.O.M.; software, M.G.R.; F.R.I.; validación, M.N.E.G.; investigación, A.C.B.R.; M.G.R.; F.R.I.; curación de datos, F.R.I.; A.B.R.; redacción: preparación del borrador original A.C.B.R.; redacción: revisión y edición R.F.S.R. Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

Referencias

Ahmad, M. I., Farooq, S., Alhamoud, Y., Li, C., & Zhang, H. (2022). A review on mycoprotein: History, nutritional composition, production methods, and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.027>

Asim, Z., Shahzad, H. M. A., Ouararhni, K., Almomani, F., & Rasool, K. (2026). Bioprocess parameter screening and condition selection for single-cell protein

production using yeast co-culture and agro-food waste substrates. *Process Safety and Environmental Protection*, 211, 108834. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2026.108834>

Bajić, B., Vučurović, D., Vasić, Đ., Jevtić-Mučibabić, R., & Dodić, S. (2022). Biotechnological Production of Sustainable Microbial Proteins from Agro-Industrial Residues and By-Products. *Foods*, 12(1), 107. <https://doi.org/10.3390/foods12010107>

Bakratsas, G., Polydera, A., Nilson, O., Chatzikonstantinou, A. V., Xiros, C., Katapodis, P., & Stamatis, H. (2023). Mycoprotein Production by Submerged Fermentation of the Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus* in a Batch Stirred Tank Bioreactor Using Agro-Industrial Hydrolysate. *Foods*, 12(12), 2295. <https://doi.org/10.3390/foods12122295>

Caliskan, C., Nyhan, L., Hernández-Olivas, E., Feng, S., Zannini, E., Sozer, N., Brodtkorb, A., & Arendt, E. K. (2026). Techno-functional and nutritional evaluation of Solein single-cell protein and its application in non-dairy yoghurt alternatives. *Food Research International*, 229, 118467. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118467>

Chezan, D., Flannery, O., & Patel, A. (2022). Factors affecting consumer attitudes to fungi-based protein: A pilot study. *Appetite*, 175, 106043. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106043>

Dean, D., Rombach, M., Koning, W. D., Vriesekoop, F., Satyajaya, W., Yuliandari, P., Anderson, M., Mongondry, P., Urbano, B., Luciano, C. A. G., Hao, W., Eastwick, E., Achirimbi, E., Jiang, Z., Boereboom, A., Rashid, F., Khan, I., Alvarez, B., & Aguiar, L. K. (2022). Understanding Key Factors Influencing Consumers' Willingness to Try, Buy, and Pay a Price Premium for Mycoproteins. *Nutrients*, 14(16), 3292. <https://doi.org/10.3390/nu14163292>



- Derbyshire, E. J., Theobald, H., Wall, B. T., & Stephens, F. (2023). Food for our future: The nutritional science behind the sustainable fungal protein – mycoprotein. A symposium review. *Journal of Nutritional Science*, 12, e44. <https://doi.org/10.1017/jns.2023.29>
- Ding, T., Chen, Z., Zhao, Y., Wang, H., Liang, X., Wang, J., Yang, J., Zhu, Y., Ma, S., & Xue, M. (2026). From syngas to food—High-moisture extrusion of *Clostridium autoethanogenum* protein into fibrous meat analogues. *Food Research International*, 233, 119003. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.119003>
- Finnigan, T. J. A., Theobald, H. E., & Bajka, B. (2025). Mycoprotein: A Healthy and Sustainable Source of Alternative Protein-Based Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 16(1), 105–125. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-111523-121802>
- Firincă, C., Constantin, M., Răut, I., Zamfir, L.-G., Jecu, M.-L., Doni, M., & Gurban, A.-M. (2026). Fungal factories for feeding the future: Mycoproteins as a sustainable protein source at the interface of food, health, and biotechnology innovation. *Sustainable Food Technology*, 4(4), 3493–3510. <https://doi.org/10.1039/D5FB00914F>
- Gmoser, R., Fristedt, R., Larsson, K., Undeland, I., Taherzadeh, M. J., & Lennartsson, P. R. (2020). From stale bread and brewers spent grain to a new food source using edible filamentous fungi. *Bioengineered*, 11(1), 582–598. <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1768694>
- Gnaim, R., Kassim, H., Neidhardt, L., Gassler, T., & Ledesma-Amaro, R. (2026). Navigating adoption barriers for microbial proteins in future food. *Nature Communications*, 17(1), 5279. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-73987-0>
- Hoxha, L., Sucic, I., Taherzadeh, M. J., & Marangon, M. (2026). Development of new meat analogues from filamentous fungi cultivated on oenological by-products: A quality perspective. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 108, 104409. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104409>
- Khan, R., Brishti, F. H., Arulrajah, B., Goh, Y. M., Abd Rahim, M. H., Karim, R., Hajar-Azhari, S., Kin Kit, S., Anwar, F., & Saari, N. (2024). Mycoprotein as a meat substitute: Production, functional properties, and current challenges-a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(1), 522–544. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16791>
- Linder, T. (2024). What next for mycoprotein? *Current Opinion in Food Science*, 58, 101199. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101199>
- Majumder, R., Miatur, S., Saha, A., & Hossain, S. (2024). Mycoprotein: Production and nutritional aspects: a review. *Sustainable Food Technology*, 2(1), 81–91. <https://doi.org/10.1039/D3FB00169E>
- Monaco, A., Kotz, J., Al Masri, M., Allmeta, A., Purnhagen, K. P., & König, L. M. (2024). Consumers' perception of novel foods and the impact of heuristics and biases: A systematic review. *Appetite*, 196, 107285. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107285>
- Niemi, J. K., Nappa, M., Ritala, A., & Nordlund, E. (2026). Exploring new cellular agriculture-based value chains via an analysis on potential feedstock sources in Finland. *Future Foods*, 13, 100951. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2026.100951>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated



guideline for reporting systematic reviews. BMJ, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Shahid, M., Shah, P., Mach, K., Rodgers-Hunt, B., Finnigan, T., Frost, G., Neal, B., & Hadjikakou, M. (2024). The environmental impact of mycoprotein-based meat alternatives compared to plant-based meat alternatives: A systematic review. *Future Foods*, 10, 100410. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100410>

You, X., Zhang, L., Chen, L., Wang, H., Zou, H., Zhu, Z., & Zhao, G. (2026). Nutritional Value and Food Safety Assessment of Single-Cell Protein Derived from *Ralstonia eutropha* for Food Applications. *Foods*, 15(10), 1813. <https://doi.org/10.3390/foods15101813>