

DE RESIDUOS ORGÁNICOS A LA ALTA COCINA: LOS HONGOS COMESTIBLES QUE TRANSFORMAN LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE

FROM ORGANIC RESIDUES TO HAUTE CUISINE: THE EDIBLE MUSHROOMS THAT TRANSFORM SUSTAINABLE AND SUSTAINABLE FOOD

ALEJANDRA RENDÓN BENJUMEA¹

MARIO ALBERTO CRUZ HERNÁNDEZ²

ARACELI LOREDO TREVIÑO¹

ROSA MARÍA RODRÍGUEZ JASSO²

HÉCTOR ARTURO RUIZ LEZA¹

RUTH ELIZABETH BELMARES CERDA¹

RESUMEN

El desperdicio de alimentos representa un desafío ambiental y económico de gran magnitud, con volúmenes significativos de residuos generados en hogares, mercados, restaurantes, industrias y el sector agrícola. El aprovechamiento de estos residuos es esencial para mitigar los impactos mencionados, una de las estrategias más innovadoras es la bioconversión microbiana, donde los hongos desempeñan un papel crucial. La producción de hongos comestibles permite transformar residuos orgánicos de cocina, como restos de café, cáscaras de frutas y vegetales, en una fuente de alimento altamente nutritiva. Su cultivo en casa requiere la desinfección del sustrato, la inoculación con esporas y el control de temperatura y humedad hasta su crecimiento y cosecha. Desde una perspectiva nutricional y médica, los hongos comestibles poseen un perfil excepcional: hiperproteicos, bajos en calorías y lípidos y alto contenido de minerales y vitaminas esenciales, además de compuestos bioactivos como fenoles y terpenos, con efectos antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antivirales y hepatoprotectores. Estos hongos tienen la capacidad para modular la respuesta inmunitaria y actuar como prebióticos, favorecen el equilibrio de la microbiota intestinal reduciendo microorganismos patógenos y promoviendo la proliferación de bacterias beneficiosas. Asimismo, aportan minerales esenciales como potasio, fósforo y calcio, lo que los convierte en un complemento nutricional valioso. El presente trabajo busca mostrar el potencial de los residuos orgánicos de cocina como sustrato en la producción de hongos comestibles, fomentando su integración como estrategia sostenible para la reducción de desperdicio alimentario y el desarrollo de métodos de producción más sostenibles.

1. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
ruthbelmares@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1362-4691>

Fecha de recepción
4 de abril de 2025.

Fecha de aceptación
14 de mayo de 2025.

Palabras clave: economía circular; producción de hongos; valor nutricional; residuos orgánicos

ABSTRACT

Food residues represent a major environmental and economic challenge, with significant volumes of residue generated in homes, markets, restaurants, industries, and the agricultural sector. Recycling these residues is essential to mitigate the impacts mentioned, and one of the most innovative strategies is microbial bioconversion, where fungi play a crucial role. The production of edible mushrooms enables the transformation of organic kitchen waste, such as coffee grounds, fruit and vegetable peels, into a highly nutritious food source. Home cultivation requires substrate disinfection, inoculation with spores, and the control of temperature and humidity until growth and harvest. From a nutritional and medical perspective, edible mushrooms have an exceptional profile: they are high in protein, low in calories and lipids, and rich in essential minerals and vitamins. Furthermore, they contain bioactive compounds such as phenols and terpenes, with antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antiviral, and hepatoprotective effects. These mushrooms can modulate the immune response and act as prebiotics, supporting the balance of the gut microbiota by reducing pathogenic microorganisms and promoting the proliferation of beneficial bacteria. Additionally, they provide essential minerals such as potassium, phosphorus, and calcium, making them a valuable nutritional supplement. In this sense, this work aims to demonstrate the potential of organic kitchen residues as a substrate to produce edible mushrooms, promoting their integration into households as a sustainable strategy for reducing food waste and developing methods for more sustainable production.

Keywords: circular economy; mushroom production; nutraceutical value; organic residues.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, demográfico y la industrialización han impulsado un incremento significativo en la generación de residuos orgánicos, especialmente los residuos alimentarios. Actualmente, se producen aproximadamente 1,050 millones de toneladas de residuos orgánicos a nivel mundial (Zhang y col., 2025), y se estima que, la generación mundial de residuos orgánicos podría alcanzar los 3.4 mil millones de toneladas para el 2050 (Soong y col., 2024). Dentro de esta problemática, los residuos orgánicos de cocina representan una proporción considerable, incluyendo restos de alimentos en mal estado, sobras y materiales no aptos para el consumo humano, cuya composición varía según los hábitos alimentarios y las prácticas culinarias (Fayaazuddin y col., 2023).

Su impacto ambiental y económico es especialmente preocupante en el ámbito doméstico, lo que ha llevado a numerosos estudios a analizar sus causas y proponer soluciones para reducir su producción (Fayaazuddin y col., 2023). Ante esta problemática, es fundamental promover la educación ambiental y desarrollar estrategias innovadoras para la revalorización de los residuos alimentarios, contribuyendo así a una gestión más sostenible de los recursos. Sin embargo, en la actualidad, ninguno de los métodos disponibles para reutilizar los residuos de cocina ha alcanzado una etapa de madurez suficiente para manejar el inmenso volumen que se genera anualmente (Mahish y col., 2024). Una de las estrategias innovadoras que puede resolver esta problemática es la producción de hongos comestibles a base de residuos orgánicos de cocina, ya que los hongos comestibles tienen la capacidad para descomponer materia orgánica, participar en ciclos nutricionales y resistir condiciones adversas, siendo un método de bioconversión beneficioso, transformando materiales de residuo en recursos potencialmente valiosos (Soong y col., 2024).

Se considera que existen más de 140,000 especies de hongos en la naturaleza, de las cuales solo alrededor de 2,000 han sido identificadas como comestibles. Sin embargo, únicamente 25 especies se comercializan activamente como alimento, destacando *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus ostreatus* (hongo ostra), *Lentinula edodes* (shiitake), *Cordyceps militaris* (beldar-mazo), *Hericium erinaceus* (melena de león), *Volvariella volvacea* (champiñón de paja), y *Auricularia spp* (hongo de oreja). Algunas especies, como *Ganoderma lucidum* (reishi), si bien se encuentran dentro de

este grupo, su uso es principalmente medicinal más que culinario, debido a sus propiedades bioactivas. (Hamza y col., 2024; Jahedi y col., 2024).

Los hongos comestibles son una fuente segura y eficiente de proteínas vegetales, con un alto contenido de aminoácidos esenciales como leucina, treonina, ácido glutámico, valina, arginina y ácido aspártico, además de aminoácidos no esenciales como el GABA (ácido gamma-aminobutírico) y la ornitina, que desempeñan funciones metabólicas y neurotransmisoras (Hamza y col., 2023). Los hongos comestibles están siendo cada vez más apreciados por su distintivo sabor umami, utilizándolos como potenciadores naturales de sabor con bajo contenido de sodio, lo que los hace ideales para la formulación de productos sustitutos de carne. Los hongos comestibles producen compuestos bioactivos que son sustancias químicas que intervienen en las actividades celulares y fisiológicas adquiriendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud. Los compuestos bioactivos de los hongos comestibles tienen un importante valor nutricional y medicinal que varían según su especie. La industria del cultivo de hongos comestibles está experimentando un crecimiento significativo gracias a la capacidad de transformar residuos orgánicos en alimentos, contribuyendo a reducir la contaminación ambiental asociada con la eliminación inadecuada de residuos (Zhang y col., 2025). Este enfoque no solo es económicamente viable, sino que también resalta la importancia de la economía cero residuos y la eficiencia en la producción alimentaria. El uso de residuos orgánicos de cocina para la producción de hongos comestibles resalta la necesidad de innovación y sostenibilidad en la gestión de residuos, integrando los hongos en la cadena alimentaria destacándose como un pilar clave para el desarrollo de un modelo agroindustrial y gastronómico sostenible y sustentable.

2. ¿CÓMO LOS HONGOS COMESTIBLES PUEDEN CRECER EN RESIDUOS ORGÁNICOS DE COCINA?

Los residuos orgánicos de cocina están compuestos en gran parte por lignocelulosa, un complejo estructural presente en las paredes celulares de las plantas. Este está formado por tres biopolímeros que se encuentran firmemente entrelazados y químicamente unidos, lo que genera una barrera física altamente resistente y dificulta su descomposición. La proporción de

estos biopolímeros, 1) celulosa, 2) hemicelulosa y 3) lignina, varían según la especie vegetal (Olakanmi y col., 2024). La celulosa y la hemicelulosa están formadas por azúcares que pueden ser degradadas por diferentes microorganismos para obtener carbono y energía, mientras que la lignina es más compleja y resistente a la degradación. Los materiales con altos contenidos de lignina (>15%) presentan una descomposición más lenta debido a la complejidad de su estructura química y solo ciertos hongos comestibles pueden degradarla eficientemente (Grimm & Wösten, 2018). Durante la colonización del sustrato, es decir, el proceso en el que el micelio se desarrolla y se extiende sobre el material, los hongos comestibles liberan enzimas extracelulares como lacasa, manganeso peroxidasa (MnP) y lignina peroxidasa (LiP). Estas enzimas actúan sobre los componentes lignocelulósicos insolubles, descomponiéndolos en compuestos más simples y solubles. Estos compuestos son tomados para la nutrición del hongo por enzimas intracelulares. Las enzimas extracelulares participan activamente en la degradación del sustrato bajo condiciones de fermentación en estado sólido, facilitando la colonización del micelio y la aparición de los primordios que dan origen al cuerpo fructífero del hongo (Chanakya y col., 2015). Como resultado de esta actividad enzimática, los residuos orgánicos, que comúnmente son subutilizados, pueden transformarse en un sustrato eficiente para el cultivo tanto doméstico como comercial de hongos comestibles. Esto ha abierto nuevas posibilidades para aprovechar estos materiales como base en sistemas sostenibles de producción fúngica.

3. TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS EN HONGOS COMESTIBLES

Para la formulación del sustrato se emplea una mezcla de residuos orgánicos de cocina, como cártamo, chícharo, trigo y frijol, cascaras de frutas, mazorca de maíz, entre otros. En el proceso de transformación, el sustrato debe triturarse hasta alcanzar un tamaño de partícula entre 0.2 y 0.5 mm, lo que facilita su hidratación y colonización por el micelio. En el caso de la mazorca de maíz, se recomienda humedecerla un día antes de la mezcla debido a su menor capacidad de retención de agua. Posteriormente, se drena el exceso

de humedad y los sustratos se ajustan a un contenido de agua cercano al 60-70% (Atila y col., 2018).

El proceso de pasteurización se realiza sumergiendo las bolsas con sustrato en agua a 75 °C durante un periodo de 90 a 120 minutos. Este tratamiento térmico permite disminuir significativamente la carga microbiana presente, pero sin eliminar por completo los microorganismos beneficiosos como ocurre con la esterilización.

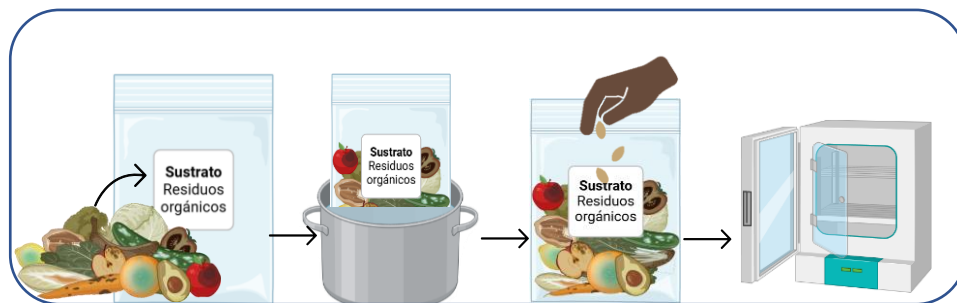


Figura 1. Inoculación.

Una vez enfriados a temperatura ambiente ($\approx 25^{\circ}\text{C}$), se procede a la inoculación con esporas o fragmentos de micelio (conocidos como spawn) de la especie fúngica de interés, como *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes*, *Agaricus bisporus* o *Hericiium erinaceus*, en una proporción del 3 % en peso húmedo del sustrato. En la fase de incubación, las bolsas son almacenadas bajo condiciones ambientales controladas, manteniéndose a una temperatura de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa entre el 80 y el 85 %. El tiempo requerido para la colonización del sustrato por el micelio oscila entre 10 y 29 días, dependiendo tanto de la especie de hongo cultivada como de las características del sustrato utilizado (Atila, 2019; Chanakya y col., 2015).



Figura 2. Preparación del sustrato.

Cuando la colonización se ha completado, las bolsas son llevadas a fructificación con temperatura controlada ($20\text{-}22^{\circ}\text{C}$), humedad relativa del 80-

90% y un fotoperíodo de 8 horas diarias de luz, para inducir la formación de primordios y cuerpos fructíferos (Du y col., 2021). El periodo de fructificación tiene una duración aproximada de 8 a 15 días. La cosecha debe llevarse a cabo cuando los cuerpos fructíferos alcanzan su punto óptimo de desarrollo morfológico, lo cual varía según la especie cultivada. Sin embargo, en la mayoría de los casos, este momento coincide con la apertura del sombrero, pero antes de que se produzca una liberación masiva de esporas. Después de cosechar, el sustrato es llevado a reposo durante 5 a 7 días, en esta etapa, se reduce la humedad por debajo del 70% para prevenir contaminaciones y permitir la recuperación del micelio antes de la siguiente producción (Xu y col., 2023).

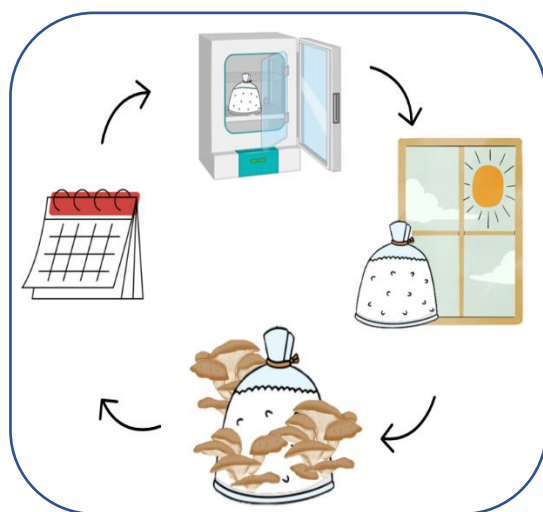


Figura 3. Fructificación.

4. BENEFICIOS NUTRACÉUTICOS DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Los hongos comestibles han sido valorados por su equilibrada composición nutricional, son bajos en calorías, con alto contenido proteico, ricos en lípidos, minerales y vitaminas esenciales. En términos de calidad proteica, su perfil de aminoácidos es comparable al de los alimentos de origen animal como los huevos, la leche e incluso la carne, posicionándolos como una excelente alternativa para dietas vegetarianas y veganas (Aswathy y col., 2024; De y

col., 2023) Su contenido proteico varía entre el 10.5% y el 42% de su biomasa seca, según la especie y las condiciones de cultivo. Estudios recientes han cuantificado los niveles de proteína en diferentes especies, destacando: *Agaricus bisporus* (4.702 g/L), *Pleurotus ostreatus* (3.99 g/L), *Pleurotus eryngii* (1.91 g/L) y *Agaricus subrufescens* (0.612 g/L) (Hamza y col., 2023). Por otra parte, los carbohidratos presentes en los hongos representan entre el 50% y el 65% del peso seco, estando mayormente conformados por fibras dietéticas y polisacáridos estructurales como β -glucanos, quitina, hemicelulosas y pectina. Estos compuestos no solo aportan valor nutricional, sino que también han demostrado efectos beneficiosos en la salud intestinal, inmunológica y metabólica.

En el caso de los β -glucanos, especialmente los $\beta(1 \rightarrow 3)$ y $\beta(1 \rightarrow 6)$, activan receptores inmunitarios como dectina-1 y TLR-2 en macrófagos y células dendríticas, desencadenando una respuesta inmunológica innata y adaptativa, por lo que se le confieren propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas y se encuentran en especies como *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* y *Ganoderma lucidum* (Basso y col., 2020; Chen y col., 2024). La quitina y el quitosano, presentes en la pared celular de los hongos, juegan un papel clave en la regulación de las funciones del riñón, el hígado y el tracto gastrointestinal. Estos compuestos actúan interactuando con células del sistema inmunitario, como macrófagos y células dendríticas, a través de receptores especializados llamados PRR (receptores de reconocimiento de patrones), como la dectina-1, lo que desencadena respuestas inmunológicas clave (Hamza y col., 2024). Además, los polisacáridos de los hongos tienen un alto potencial prebiótico, ya que aumentan la producción de ácidos grasos de cadena corta en el intestino y favorecen el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus*, mientras reducen microorganismos patógenos como *Klebsiella* y *Escherichia coli* (Hamza y col., 2023).

Algunas especies de hongos son ampliamente utilizadas en la medicina tradicional china y han demostrado efectos positivos en diversas enfermedades, en el ámbito oncológico, por ejemplo, compuestos triterpenoides aislados de *Pleurotus eryngii* han demostrado eficacia contra células de cáncer de mama, mientras que polisacáridos de *Coriolus versicolor* han mostrado efectos citotóxicos en células de hepatoma humano, lo que refuerza su potencial en la quimio prevención del cáncer (Balakrishnan y col., 2023). Así mismo, dado el creciente problema de la resistencia bacteriana, los hongos han sido explorados como una fuente prometedora de nuevos

antimicrobianos. Extractos de *Auricularia auricular-judae* han mostrado capacidad para inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Asimismo, derivados del benzoato obtenidos de *Stereum hirsutum* han demostrado actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* resistente a la metilina, lo que destaca el potencial de los hongos en la búsqueda de nuevas terapias antibacterianas. Además de su valor nutricional, sus propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas y prebióticas los posicionan como aliados clave en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades. Su uso en la medicina tradicional y las evidencias científicas emergentes refuerzan su importancia no solo en la alimentación, sino también en la biotecnología y en la farmacotecnología (Khan y col., 2024; Tan y col., 2024).

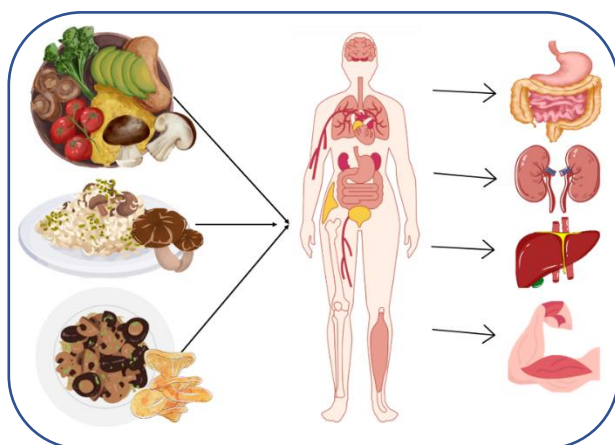


Figura 4. Beneficios de la ingesta de hongos.

5. CONCLUSIONES

El cultivo de hongos comestibles a partir de residuos orgánicos de cocina es una estrategia sostenible que convierte desechos en alimentos de alto valor nutricional y funcional. Esta práctica puede desarrollarse a nivel doméstico, comercial e industrial, optimizando el uso de recursos naturales, impulsando la economía circular, favoreciendo la autosuficiencia alimentaria y reduciendo el desperdicio mediante el aprovechamiento de recursos subutilizados. Además, promueve hábitos sostenibles en la producción y el consumo. Los hongos son una fuente rica en proteínas, minerales, vitaminas esenciales y

compuestos bioactivos fundamentales para la salud inmunológica e intestinal, así como para la prevención de enfermedades crónicas. Su cultivo representa una solución innovadora con importantes beneficios ambientales, nutricionales y sociales. La investigación, el desarrollo de tecnologías accesibles y la educación ambiental son claves para expandir esta práctica. Al establecer metodologías de cultivo doméstico, los hongos comestibles pueden contribuir significativamente a la seguridad alimentaria, la sostenibilidad global y una alimentación más saludable y nutritiva.

REFERENCIAS

- Aswathy, S., Shyamalagowri, S., Hari, S., Kanimozhi, M., Meenambiga, S. S., Thenmozhi, M., Karthiyayini, R., Suresh, D., & Manjunathan, J. (2024). Comparative studies on the cultivation, yield, and nutritive value of an edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (Rumph. ex Fr.) Singer, grown under different agro residue substrates. *3 Biotech*, *14*(4): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13205-024-03968-x>
- Atila, F. (2019). Compositional changes in lignocellulosic content of some agro-residues during the production cycle of shiitake mushroom. *Scientia Horticulturae*, *245*: 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.029>
- Atila, F., Tuzel, Y., Fernández, J. A., Cano, A. F., & Sen, F. (2018). The effect of some agro-industrial residues on yield, nutritional characteristics and antioxidant activities of *Hericium erinaceus* isolates. *Scientia Horticulturae*, *238*: 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.049>
- Balakrishnan, K., Nagarajan, S., Balakrishnan, G., Manickam, M., & Dharumadurai, D. (2023). Symbiotic microbial interactions in medicinal mushroom: an insight of phenotypic and genotypic characterization methods. *Microbial Symbionts: Functions and Molecular Interactions on Host*: 277–294. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99334-0.00044-X>
- Basso, V., Schiavenin, C., Mendonça, S., de Siqueira, F. G., Salvador, M., & Camassola, M. (2020). Chemical features and antioxidant profile by *Schizophyllum commune* produced on different agroindustrial residues and byproducts of biodiesel production. *Food Chemistry*, *329*: 127089. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127089>
- Chanakya, H. N., Malayil, S., & Vijayalakshmi, C. (2015). Cultivation of *Pleurotus* spp. on a combination of anaerobically digested plant material and various agro-residues. *Energy for Sustainable Development*, *27*: 84–92. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2015.04.007>
- Chen, S. K., Liu, J. J., Wang, X., Luo, H., He, W. W., Song, X. X., Nie, S. P., & Yin, J. Y. (2024).

- Hericium erinaceus* β -glucan/tannic acid hydrogels based on physical cross-linking and hydrogen bonding strategies for accelerating wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279(P4), 135381. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135381>
- De, A., Mridha, D., Roychowdhury, T., Bandyopadhyay, B., & Panja, A. S. (2023). Substrate level optimization for better yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production, using different ratio of rice straw and sugarcane bagasse. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10): 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03714-0>
- Du, F., Qu, J., Hu, Q., Yuan, X., Yin, G., Wang, L., & Zou, Y. (2021). Maximizing the value of Korshinsk peashrub branches by the integration of *Pleurotus tuoliensis* cultivation and anaerobic digestion of spent mushroom substrate. *Renewable Energy*, 179: 679–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.053>
- Fayaazuddin, T., Prakash, P., Shakena Fathima, T., & Dhanasekaran, D. (2023). Commercial Astaxanthin Production from Green Alga *Haematococcus pluvialis*. Dhanasekaran, D. (Ed.), *Food Microbiology Based Entrepreneurship: Making Money From Microbes*. (pp. 255-270). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5041-4_15
- Grimm, D., & Wösten, H. A. B. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18): 7795–7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>
- Hamza, A., Ghanekar, S., & Santhosh Kumar, D. (2023). Current trends in health-promoting potential and biomaterial applications of edible mushrooms for human wellness. *Food Bioscience*, 51: 102290. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102290>
- Hamza, A., Mylarapu, A., Krishna, K. V., & Kumar, D. S. (2024). An insight into the nutritional and medicinal value of edible mushrooms: A natural treasury for human health. *Journal of Biotechnology*, 381: 86–99. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2023.12.014>
- Jahedi, A., Ahmadifar, S., & Mohammadigoltapeh, E. (2024). Revival of wild edible-medicinal mushroom (*Herichium erinaceus*) based on organic agro-industrial residue- achieving a commercial protocol with the highest yield; optimum reuse of organic residue. *Scientia Horticulturae*, 323, 112510. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112510>
- Khan, A., Murad, W., Salahuddin, Ali, S., Shah, S. S., Halim, S. A., Khalid, A., Kashtoh, H., Khan, A., & Al-Harrasi, A. (2024). Contribution of mushroom farming to mitigating food scarcity: Current status, challenges and potential future prospects in Pakistan. *Heliyon*, 10(23): e40362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40362>
- Mahish, P. K., Verma, D. K., Ghritlahare, A., Arora, C., & Otero, P. (2024). Microbial bioconversion of food residue to bio-fertilizers. *Sustainable Food Technology*, 2(3): 689–708. <https://doi.org/10.1039/d3fb00041a>
- Olananmi, G. B., Lateef, S. A., & Ogunjobi, A. A. (2024). Utilization of disposable face masks for cultivation of *Pleurotus ostreatus* mushroom as a strategy for reducing environmental plastic pollution. *Journal of Material Cycles and Residue Management*, 26(1): 578–590.

<https://doi.org/10.1007/s10163-023-01859-6>

Soong, W. S., Chew, J., & Gew, L. T. (2024). Insights of bacterial communities in kitchen and agricultural residue composts for environmental sustainability: a systematic review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3): 2073–2094. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05898-w>

Tan, R. Y., Ilham, Z., Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I., Abdul Halim-Lim, S., Ahmad Usuldin, S. R., Ahmad, R., & Adlim, M. (2024). Mushroom oils: A review of their production, composition, and potential applications. *Heliyon*, 10(11): e31594. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31594>

Xu, A., Yang, D., Jacob, M. S., Qian, K., Yang, X., Zhang, B., & Li, X. (2023). Comprehensive evaluation of agronomic traits and mineral elements of *Auricularia heimuer* cultivated on corncob substrates. *Scientia Horticulturae*, 314: 111942. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111942>

Zhang, L., Fan, R., Li, W., Li, G., Luo, W., & Xu, Z. (2025). Unravelling biotic and abiotic mechanisms of mature compost to alleviate gaseous emissions in kitchen residue composting by metagenomic analysis. *Bioresource Technology*, 419: 132102. <https://doi.org/10.1016/j.bi>