

Concientifica



Empaques hechos de hongos: Una alternativa ecológica al poliestireno

Mushroom-Based Packaging: An eco-friendly alternative to polystyrene

Resumen

Los empaques a base de hongos son una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, como el poliestireno. Se producen combinando residuos agrícolas o forestales con hongos, lo que resulta en materiales biodegradables y de bajo impacto ambiental. Este proceso reduce las emisiones contaminantes y promueve la reutilización de desechos. Estos empaques destacan por su ligereza, resistencia y rápida degradación, siendo ideales para empresas que buscan prácticas más responsables. Aunque enfrentan desafíos como los costos de producción y producción en masa, su potencial para reemplazar empaques no renovables es significativo en un contexto de creciente interés por soluciones ecológicas a los plásticos.

Palabras clave: Micelio, empaques, biodegradable.

Summary

Mushroom-based packaging is a sustainable alternative to conventional plastics, such as polystyrene. These materials are produced by combining agricultural or forestry residues with fungi, resulting in biodegradable and environmentally low-impact products. This process reduces pollutant emissions and promotes the reuse of waste. The packing solutions are notable for their light weight, durability, and rapid decomposition, making them ideal for companies seeking more responsible practices. Although they face challenges such as production costs and mass manufacturing, their potential to replace non-renewable packaging is significant in the context of growing interest in eco-friendly solutions to plastics.

Keywords: Mycelium, packaging, biodegradable.

Aldo Gutiérrez-Chávez
Jared Hernández-Huerta*

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad
Autónoma de Chihuahua, Chihuahua,
México.

*Autor para la correspondencia:
jahuerta@uach.mx

La contaminación por plásticos es un problema ambiental significativo, con millones de toneladas de residuos plásticos que se acumulan cada año y cuya degradación en el ambiente puede tardar siglos. Por ejemplo, los empaques de poliestireno expandido, comúnmente conocido como unicel, son ampliamente utilizados en la industria de alimentos, logística y comercio debido a su ligereza, bajo costo y capacidad aislante. Sin embargo, su baja degradabilidad genera acumulaciones en los ecosistemas, afectando la biodiversidad y ocasionando problemas de contaminación [1]. En este contexto, se ha impulsado la búsqueda de alternativas ecológicas que reduzcan el uso de este tipo de materiales. Entre las soluciones que están tomando relevancia, destacan los empaques elaborados a base de hongos, los cuales son una opción innovadora y ecológica.

Estos envases son elaborados mediante el crecimiento controlado de hongos comestibles sobre residuos agrícolas o forestales. Este proceso permite moldear los hongos y los residuos en formas específicas, creando empaques sostenibles de bajo impacto ambiental ya que son biodegradables. Además, de acuerdo con la empresa Ecovative dedicada a la producción de materiales biodegradables, la pro-

Propiedades Físicas

- **Densidad:** 25-954 kg/m³
- **Absorción de agua:** 24.5 -560 %
- **Degradación térmica:** 225 - 375 °C
- **Absorción de sonido:** 70-75%_c

Propiedades Mecánicas

- **Resistencia a compresión:** 0.03-4.44 MPa
- **Resistencia a tracción:** 0.01-1.55 MPa
- **Resistencia a flexión:** 0.05-4.40 MPa

Propiedades Químicas

- **pH:** 4.3-6.5
- **Contenido de nitrógeno:** 0.5-1.6%

Propiedades Biológicas

- **Biodegradabilidad** 19.1-70.0%
- **Resistencia a termitas:** Baja-Moderada



Los empaques a base de hongos se elaboran principalmente utilizando especies de hongos medicinales y comestibles como el reishi (*Ganoderma lucidum*) y el hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Estos hongos son especies clave en la producción de este tipo de empaques, debido a su seguridad para el ser humano y sus múltiples aplicaciones. Estos hongos no solo son biodegradables, sino también versátiles. Por ejemplo, el hongo reishi, es reconocido por sus propiedades medicinales, se emplea en forma de extractos y suplementos para fortalecer el sistema in-

munológico [3]. Aunque no es comestible en su forma natural, su estructura rígida y ligera es ideal para fabricar empaques biodegradables. En el caso del hongo seta, es ampliamente utilizado como alimento gracias a su alto contenido nutricional, además se ser fácil de cultivar y adaptable a diversos sustratos [4].

Ambos hongos se han seleccionados por su capacidad de producir filamentos llamados hifas, los cuales forman una estructura conocida como micelio al crecer sobre un sustrato. El micelio del reishi y del hongo seta destaca por su rápido crecimiento y su capacidad para colonizar materiales como el aserrín, paja o cáscaras de cultivos. El micelio no solo proporciona cohesión al empaque, sino que también permite darle formas personalizadas al cultivarlo en moldes o bandejas con la forma deseada. Los empaques resultantes son ligeros, resistentes y sostenibles, características que los hacen ideales para empaquetar una amplia

Figura 1. Propiedades de empaques elaborados a base de hongos y residuos orgánicos. Basado en Aiduang et al. [5].

ducción de empaques a base de hongos requiere tan solo 12% de energía y genera hasta 90% menos emisiones de bióxido de carbono en comparación con los procesos industriales necesarios para la fabricación de los plásticos [2]. El uso de empaques a base de hongos no solo responde a la necesidad de disminuir la contaminación ambiental, sino que también contribuye a fortalecer prácticas sostenibles hacia la reducción de residuos plásticos. Esto permite, además aprovechar desechos agrícolas y forestales que de otro modo se desperdiciarían o se subutilizarían.

El presente trabajo analiza el proceso de producción de este tipo de empaques, sus ventajas y desafíos como alternativa al poliestireno, destacando su potencial para reducir la huella ecológica de los empaques tradicionales y contribuir a la sostenibilidad.

Desarrollo de empaques a base de hongos

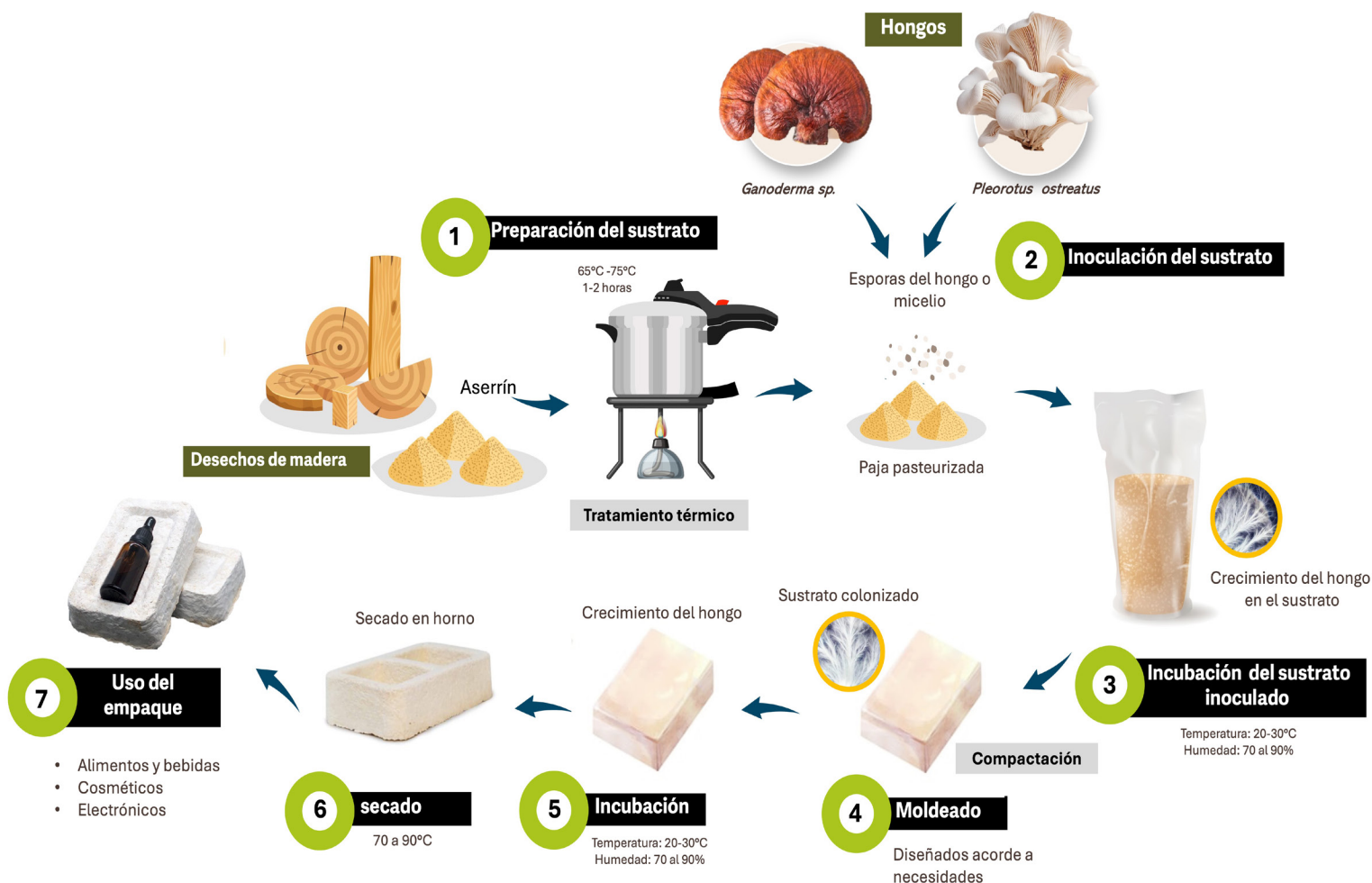


Figura 2. Proceso de producción de empaques a base de hongos.

variedad de productos [5] (Figura 1).

La producción de empaques a base de hongos como alternativa ecológica al poliestireno, se desarrolla mediante un proceso organizado en varias etapas [6] (Figura 2):

1. El proceso inicia con la **preparación del sustrato**, donde se utilizan residuos agrícolas o forestales, como cáscaras de cereales, restos de cultivos o aserrín. Estos materiales son seleccionados cuidadosamente por su capacidad para servir como fuente de nutrientes para el crecimiento de los hongos. Una vez recolectados, los residuos se limpian, retirando partículas no deseadas y posteriormente se les aplica un tratamiento térmico, lo cual consiste en calentar el sustrato con agua a una temperatura de 65 a 75°C, durante 1-2 horas. Este paso es fundamental para reducir la presencia de microorganismos contaminantes que puedan interferir con el crecimiento y la colonización

del hongo. Además, el tratamiento térmico conserva los nutrientes del sustrato y no los degrada como otros métodos de esterilización.

2. **Inoculación del sustrato**, consiste en la incorporación del hongo en el sustrato preparado previamente. En este paso se utilizan esporas o fragmentos de micelio del hongo seleccionado. El material biológico se mezcla de manera uniforme con el sustrato, realizando el proceso en condiciones controladas de higiene, evitando la introducción de contaminantes externos que puedan competir con el hongo. La mezcla inoculada se coloca en bolsas de plástico donde el hongo comienza a colonizar el sustrato.

3. **Incubación en condiciones controladas** de temperatura y humedad, esta etapa es clave para garantizar el desarrollo óptimo del hongo en todo el sustrato y se lleva a cabo en cuartos especiales. Durante

Tabla 1. Características comparativas entre empaques convencionales y hechos a base de hongos [7].

	Tipo de empaque			
Aspecto	Compuesto de hongo	Poliestireno expandido	Plástico de burbujas	Cartón triturado
Material base	Residuos agrícolas o forestales (celulosa) + micelio del hongo	Poliestireno (derivado del petróleo)	Poliestireno (derivado del petróleo)	Residuos vegetales (celulosa)
Degradabilidad	30-60 días	No biodegradable	500-1000 años	5 años
Sostenibilidad	Fuente renovable	Recurso no renovable	Recurso no renovable	Fuente renovable
Manejo después de su uso	Eliminación rápida por degradación	Proceso específico para su eliminación (recolección adecuada de desechos)	Proceso de reciclaje convencional (Reciclaje local)	Reciclaje de desechos locales
Retardante del fuego	Sí	No	No	No
Resistencia a la humedad	Moderada	Alta	Alta	Baja
Peso	Ligero	Muy ligero	Ligero	Moderado
Popularidad actual	Creciente	Muy alta	Alta	Moderada
Durabilidad	Moderada	Alta	Alta	Baja

la incubación, la temperatura se mantiene dentro de un rango ideal, de generalmente oscila entre 20 a 30°C, dependiendo de la especie de hongo utilizada. Asimismo, la humedad relativa del ambiente se controla cuidadosamente, manteniéndola entre un 70% y 90%, lo que favorece el crecimiento uniforme y vigoroso del hongo. Para garantizar una oxigenación adecuada, se debe contar con un sistema de ventilación y las bolsas de plástico con la mezcla debe tener agujeros que permita el intercambio gaseoso. El periodo de incubación puede variar entre 5 y 14 días, dependiendo del tipo de hongo y del tamaño o volumen del sustrato.

4. Modelado del material colonizado, una fase crucial para darle al empaque su forma final. En este paso, el sustrato ya colonizado se coloca en moldes previamente diseñados según especificaciones del producto final deseado. Los moldes pueden ser de

diversos materiales, como plástico reutilizable, metal o silicona. Una vez en el molde, el material se compacta cuidadosamente, aplicando presión uniforme para garantizar que el micelio se distribuya de manera homogénea en toda la estructura. Este proceso no solo define la forma del empaque, sino que también mejora su densidad y cohesión, características necesarias para lograr un producto resistente y funcional.

5. Segunda incubación en los moldes, una vez en los moldes, la mezcla de sustrato y hongo se somete a una segunda fase de incubación, que generalmente se lleva a cabo en cámaras con control estricto de temperatura y humedad. Esta segunda incubación favorece el crecimiento del hongo dentro del molde, permitiendo que el micelio actúe como un aglutinante natural que une firmemente las partículas del sustrato, dando como resultado una estructura sólida y co-

hesiva. La duración de esta etapa puede variar dependiendo de las características del empaque y de las condiciones ambientales, pero puede ser entre 3 a 7 días.

6. Secado del empaque en horno, paso crucial para detener el crecimiento del hongo y garantizar la estabilidad del empaque. En esta fase, los empaques ya moldeados se colocan en hornos a temperaturas entre 70 y 90°C, con la finalidad de inactivar las células del hongo sin comprometer la integridad del empaque. Durante el secado se elimina la humedad residual presente en el empaque, ya que la retención del agua podría favorecer la actividad de otros microorganismos como el moho. La duración el secado depende del grosor y tamaño de empaque, pero puede durar entre 4 y 12 horas.

Este proceso ha permitido el desarrollo de productos moldeables en diversas formas, utilizados principalmente en empaques para alimentos, bebidas, cosméticos, electrónicos, adornos y como sustituto del poliestireno expandido.

Ventajas de empaques a base de hongos

Este tipo de empaques, representan una alternativa sostenible frente a opciones tradicionales como el poliestireno expandido, el plástico de burbujas y el cartón triturado [7] (Tabla 1).

La principal ventaja de los empaques hechos a base de hongos es su biodegradabilidad y compostabilidad, lo que significa que puede descomponerse de manera natural en semanas, sin dejar residuos tóxicos ni contribuir a la acumulación de basura plástica [2]. Además, su fabricación utiliza menos energía de alrededor de 12.5% y emite alrededor de 10% de gases de efecto invernadero (CO₂), reduciendo la huella de carbono en comparación con los empaques hechos de derivados del petróleo. Este tipo de empaques aprovechan subproductos de la agricultura o forestería que de otro modo serían desechados, promoviendo un

modelo de economía circular (reutilizar, reciclar, regenerar recursos, reducir residuos y contaminación). Otra ventaja clave es su capacidad de adaptarse a diferentes formas y tamaños, ofreciendo propiedades similares al poliestireno en términos de ligereza y resistencia, pero sin el impacto ambiental negativo [8]. Esto los convierte en una alternativa ideal para industrias que buscan alinearse con prácticas más sostenibles y responsables.

Impacto ambiental

Los empaques a base de hongos, está emergiendo como alternativa sostenible frente a los plásticos convencionales. Su popularidad radica en que tienen algunas ventajas ambientales, respecto a los plásticos convencionales [8,9]. Por ejemplo, ayudan a reducir la acumulación de desechos en vertederos, debido a su degradabilidad, que tan solo en 60 días se puede integrar al suelo. Además, su producción aprovecha residuos agrícolas o forestales, minimizando con ello la extracción de nuevos recursos. Otro aspecto positivo es que no contienen compuestos tóxicos, como los plásticos convencionales, evitando contaminación química. Una vez desechados, estos empaques pueden integrarse al suelo como materia orgánica que favorece la calidad del suelo y promueve la diversidad microbiana. Además, de acuerdo con la empresa HAU Biotechnology, su fabricación requiere hasta un 82% menos agua que los plásticos convencionales, lo que reduce su huella hídrica.

Sin embargo, también presentan algunas desventajas ambientales. Aunque son biodegradables, su descomposición eficiente depende de condiciones de específicas, como humedad alta, oxígeno y la presencia de microorganismos, que no siempre están presentes en los basureros. Además, el aprovechamiento de residuos agrícolas o forestales como sustrato podría competir con otras aplicaciones, como el compostaje o alimentación animal, cuando se producen a gran escala. Asimismo, si se adoptará su producción a gran escala podría incentivar el uso intensivo de residuos agrí-

colas, promoviendo monocultivos y afectando la biodiversidad.

Desafíos de los empaques a base de hongos

Los empaques a base de hongos representan una solución innovadora y sostenible frente a la contaminación plástica, en particular al poliestireno. Sin embargo, su adopción enfrenta retos significativos. Entre los principales desafíos destacando los costos de producción: por ejemplo; mientras la producción de una bolsa de plástico convencional cuesta alrededor de un centavo de dólar, un empaque elaborado a base de hongos tiene un costo aproximado de 2.5 a 3 dólares [9]. Además, es necesario avanzar en su escalabilidad a nivel industrial, lo cual podría lograrse mediante mayor investigación. Otro desafío importante es su limitada resistencia en condiciones extremas, como alta humedad superior al 70% o cuando deben soportar cargas pesadas. Además, la falta de infraestructura para su fabricación y comercialización masiva limita su disponibilidad en los mercados globales [10]. Sin embargo, las perspectivas son prometedoras gracias al creciente interés en soluciones ecológicas y al desarrollo de tecnologías que mejoren la eficiencia del proceso productivo de este tipo de empaques. Con avances en biotecnología, inversiones en investigación y políticas de incentivo hacia materiales sostenibles, los empaques a base de hongos tienen el potencial de posicionarse como una alternativa viable, ayudando a reducir la dependencia de plásticos convencionales.

Conclusiones

Los empaques de micelio de hongo podrían ser una alternativa sostenible al poliestireno, destacando por su biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y uso de residuos agrícolas y forestales. Aunque enfrenta desafíos como costos y escalabilidad, su potencial para reducir la contaminación plástica los posiciona como una solución prometedora en la transición hacia materiales más ecológicos. **iBIO**

Referencias

- [1] Kik, K., Bukowska, B., & Sicińska, P. (2020). Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, distribution in tissues, accumulation, and toxicity to various organisms. *Environmental pollution*, 262, 114297. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114297>
- [2] Mojumdar, A., Behera, H.T., & Ray, L. (2021). Mushroom mycelia-based material: an environmentally friendly alternative to synthetic packaging. *Microbial polymers: applications and ecological perspectives*, 131-141. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0045-6_6
- [3] Porter, D.L., Hotz, E.C., Uehling, J.K. et al (2023). A review of the material and mechanical properties of select *Ganoderma* fungi structures as a source for bioinspiration. *Journal of Materials Science* 58, 3401–3420. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08214-y>
- [4] Lesa, K. N., Khandaker, M. U., Mohammad Rashed Iqbal, F., Sharma, R., Islam, F., Mitra, S., & Emran, T. B. (2022). Nutritional Value, Medicinal Importance, and Health-Promoting Effects of Dietary Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Quality*, 2022(1), 2454180. <https://doi.org/10.1155/2022/2454180>
- [5] Aiduang, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T.,...& Suwasnnarach, N. (2022). Amazing fungi for eco-friendly composite materials: A comprehensive review. *Journal of fungi*, 8(8), 842. <https://doi.org/10.3390/jof8080842>
- [6] Rajendran, R. C. (2022). Packaging applications of fungal mycelium-based biodegradable composite. In *Fungal biopolymers and Biocomposites: Prospects and Avenues* (pp.189-208). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1000-5_9
- [7] Kundanati, L. (2022). Fungi-based biomimetic approach to address plastic pollution: A developing nation's perspective. *Preprints*, 2022090255. <https://doi.org/10.20944/preprints202209.0255.v1>
- [8] Sydor, M., Cofta, G., Doczekalska, B., & Bonenberg, A. (2022). Fungi in mycelium-based composites: usage and recommendations. *Materials*, 15 (18), 6283. <https://doi.org/10.3390/ma15186283>
- [9] Sdg_Thematic_Experts. (2024, 13 julio). Can mushrooms eliminate plastic? SDG Knowledge Hub. <https://sdg.iisd.org/commentary/generation-2030/can-mushrooms-eliminate-plastic/>
- [10] Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A.K. (2022). Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial. *International journal of biomaterials*, 2022(1), 8401528. <https://doi.org/10.1155/2022/8401528>