

## **Uso de hongos como fuente proteica: potencialidades y aplicaciones**

**Maria Camila Millan Rojas**

**Código: 202059871**

**Luisa Maria Salazar Diaz**

**Código: 202059838**

**Universidad del Valle  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en alimentos  
Tuluá-Valle del Cauca  
2025**

**Uso de hongos como fuente proteica: potencialidades y aplicaciones**

**Maria Camila Millan Rojas**

**Código: 202059871**

**Luisa Maria Salazar Diaz**

**Código: 202059838**

**Directora**

**Anna María Polanía Rivera, PhD.**

**Codirectora**

**Cristina Ramirez Toro, PhD.**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera de Alimentos**

**Universidad del Valle**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Ingeniería en alimentos**

**Tuluá-Valle Del Cauca**

**2025**

## Tabla de contenido

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción.....                                             | 4  |
| 2. Planteamiento del problema.....                               | 5  |
| 3. Justificación.....                                            | 6  |
| 4. Objetivos.....                                                | 8  |
| 4.1 Objetivo general.....                                        | 8  |
| 4.2 Objetivos específicos.....                                   | 8  |
| 5. Estrategia de búsqueda.....                                   | 9  |
| 6. Marco teórico.....                                            | 12 |
| 6.1 Hongos.....                                                  | 12 |
| 6.1.1 Características macroscópicas de los hongos.....           | 14 |
| 6.1.2 Características microscópicas de los hongos.....           | 14 |
| 6.1.3 Hongos comestibles y su contenido proteico.....            | 15 |
| 6.1.4 Cultivo de los hongos.....                                 | 24 |
| 6.1.6 Digestibilidad de los hongos.....                          | 26 |
| 6.2 Efectos en el medio ambiente.....                            | 27 |
| 6.3 Hongos comestibles como sustituto de la proteína animal..... | 29 |
| 6.4 Salud humana a partir de los hongos.....                     | 35 |
| 6.5 Limitaciones de los hongos comestibles.....                  | 41 |
| 6.6 Antecedentes Investigativos.....                             | 42 |
| 6.7 Aplicación real.....                                         | 47 |
| 7. Conclusiones.....                                             | 51 |
| 8. Bibliografía.....                                             | 52 |

## 1. Introducción

El sector agroalimentario aporta alrededor de 17.300 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cada año, lo que representa el 35 % de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, lo más probable es que estas tasas aumenten aún más, esto se debe al continuo crecimiento de la población, que alcanzó los 8 mil millones en noviembre de 2022 y se estima que alcanzará los 9 mil millones en 2037. Esto resultaría en una creciente demanda de alimentos (+40%), lo que genera una mayor presión sobre los recursos naturales. Una solución a estos desafíos podría ser proporcionar más alimentos con menos insumos para su producción, así como reducir el inevitable desperdicio de alimentos, desarrollar sistemas de economía circular (EC) y reutilizar y reciclar materiales de desecho orgánicos. De lo anterior, un sector que podría beneficiarse particularmente de la bioconversión de residuos agrícolas como paja, hojas, tallos, bagazo y estiércol es la producción de hongos. Esto se debe a que, aunque normalmente crecen en estado silvestre en suelos forestales húmedos y ricos en nutrientes, también pueden cultivarse eficazmente en desechos orgánicos y materiales derivados de plantas, como madera gastada procedente de diversos productos de desecho agroindustriales (Vinci et al., 2023).

Los basidiomicetos son un filo de hongos grande e increíblemente diverso que, junto con los ascomicetos, forman el subreino Dikarya, a menudo denominado "hongos superiores". Los basidiomicetos son hongos casi exclusivamente filamentosos que tienen ciclos de vida complejos, se reproducen sexualmente y producen basidiosporas en células especializadas llamadas basidios. la clase Agaricomycetes, que constituye el 98 % de Agaricomycotina, el subfilo más grande de los basidiomicetos. Las funciones ecológicas de los agaricomycetos los hacen importantes dentro de las sociedades humanas debido a las funciones que desempeñan en industrias como la silvicultura y la agricultura, pero también nos impactan más directamente, como una valiosa fuente de nutrientes y como especies medicinalmente relevantes. La gran mayoría de los hongos comestibles son agaricomycetos; son una excelente fuente de nutrientes, son bajos en calorías y grasas y no contienen colesterol, simultáneamente aportan proteínas, vitaminas, fibra y minerales como potasio, hierro y fósforo (De Mattos-Shipley et al., 2016).

En todo el mundo, hay aproximadamente 12.000 especies de estos hongos disponibles. Entre las diversas especies, se han identificado un total de 2000 especies como comestibles, de las cuales 35 se producen comercialmente a escala mundial (Jayaraman et al., 2024). El 85 % de la producción total está cubierta por cinco especies: *Lentinus edodes* (Shiitake), *Pleurotus ostreatus* (Oyster), *Boletus edulis* (Porcini), *Agaricus bisporus* (Champiñón) y *Flammulina Velutipes*. Estas cinco especies aportan alrededor de 16 700 millones de dólares al mercado de los hongos, con una producción mundial de alrededor de 11,8 millones de toneladas, +57 % en el período 2010-2020, lo que demuestra su considerable importancia. En particular, esto se debe a una mayor conciencia sobre sus cualidades nutricionales, como la fibra cruda (19 % del peso seco total), las vitaminas (A, C, E, K), los carbohidratos y minerales, los compuestos antioxidantes, ácidos grasos monoinsaturados y su valor proteico que los convierte son una buena fuente vegetal de aminoácidos esenciales (Vinci et al., 2023).

China en recursos de hongos comestibles y también es un importante productor y consumidor de hongos comestibles. Según estadísticas de la FAO en 2021, la producción anual de hongos en el mundo alcanzó los 44,97 millones de toneladas en ese año, mientras que la producción anual de hongos en China alcanzó los 44,13 millones de toneladas, este aumento de consumo se debe a que al pasar de los años se observa y se reconoce los beneficios que ofrece los hongos comestibles que además de ser de gran valor nutricional, también es reconocido por su valor medicinal debido a que son una fuente de compuestos fisiológicamente activos que brindan beneficios antibacterial, antioxidantes, antihipercolesterolémicos, antiinflamatorios, antivirales, antidiabéticos y cardiovasculares; por ejemplo, se usa como suplemento dietético, la *Flammulina velutipes* que tiene un efecto positivo en la reducción de la presión arterial alta, el colesterol y el azúcar en sangre (Sun et al., 2024).

## **2. Planteamiento del problema**

Los problemas en la salud humana que genera el consumo de carne roja y procesada en exceso, generando enfermedades como diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Flores-Fernández, et al./Vol. 7 (2022) 13-19). En los últimos años el sector agroalimentario en todo el mundo se ha enfrentado a la diseminación de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos debido al uso de productos veterinarios por encima o por debajo de la dosis recomendada, ocasionando problemas de salud pública a corto o largo plazo, como la aparición de cepas bacterianas o parasitarias resistentes, toxicidad, alergias, mutagénesis, teratogenicidad

y efectos carcinogénicos. Diversas autoridades de todo el mundo han implementado medidas para reducir el uso de antimicrobianos (UMA) en la producción ganadera debido a la creciente preocupación por la aparición de bacterias resistentes a los antibióticos y su potencial transmisión a las personas a través de la ganadería (Mesfin et al., 2024); además este tipo de proteína de origen animal genera un aumento de la huella de carbono, el sector ganadero es un importante emisor de GEI (emisión de gases de efecto invernadero). La mayor contribución de N<sub>2</sub>O se produce a partir de las excretas animales, principalmente las líquidas, mientras que el CH<sub>4</sub>, se produce principalmente por fermentación entérica, siendo esta última la emisión de mayor significación en sistemas pecuarios; El Inventario Nacional de GEI muestra que un 49% de estas emisiones provienen del sector agropecuario, y dentro de este sector el 58% de los GEI son generados a partir de las distintas fuentes derivadas del ganado bajo pastoreo (Costantini et al., 2018). Esto influye de manera negativa en el medio ambiente.

Estos factores afectan la salud del consumidor. Ante esto es de gran importancia que el consumidor tome conciencia sobre estos problemas empezando a considerar fuentes alternativas que generen una menor huella de carbono y que al mismo tiempo pueda aportar nutrientes al consumidor y beneficios para su salud; una de estas alternativas que se han hecho más comunes son los hongos comestibles, esto se debe a que un alimento que se puede consumir por la población, son diversos en forma y tienen alta calidad nutritiva, valores medicinales y alta cantidad proteica; últimamente han ganado aceptación en la industria alimentaria debido a que en comparación con las fuentes animales y vegetales, las proteínas de los hongos normalmente tienen un perfil completo de aminoácidos esenciales, lo que satisface los requisitos dietéticos y al mismo tiempo tiene ciertas ventajas económicas.

Varios hongos también pueden crecer en residuos agroindustriales y producir altos rendimientos en poco tiempo (Ayimbila & Keawsompong, 2023). De lo anterior se logra observar un interés creciente en los hongos comestibles como alternativa proteica; entonces se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo contribuyen los hongos comestibles al bienestar humano y la sostenibilidad ambiental, considerando tanto su aporte proteico como su capacidad para promover prácticas agrícolas más amigables con el ambiente?

### **3. Justificación**

En la industria alimentaria se ha vuelto más que una tendencia, una necesidad y obligación de crear y mejorar procesos de producción en pro de cuidar el medio ambiente y la salud humana, por medio de una reducción en el nivel de residuos y contaminación generando una economía circular; una de las problemáticas que genera la producción de alimentos es que

es una fuente importante de gas de efecto invernadero (GEI) generando un 34% de contaminación, del anterior porcentaje, el 40% pertenece al sector de la producción de alimentos, es decir, la fase agrícola. Las razones que genera la mayor huella de carbono de los alimentos son las carnes de origen animal, generando grandes cantidades de emisiones de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> procedentes de la fermentación entérica, la gestión del estiércol y el consumo de energía necesario para mantener recintos durante la producción, representando entre el 62% y el 78% de la huella de carbono. Además, la producción animal depende de la producción de cultivos para la alimentación, haciendo que la huella de carbono por la producción de alimentos sea relativamente alta (Shi et al., 2023); mientras que otros estudios realizados presentan que la producción y el cultivo de hongos comestibles se considera carbono positivo, lo que significa que genera menores emisiones de GEI en comparación con otros productos de diferentes sectores agrícolas, cultivos, frutas y cría de animales para la producción de carne en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> (Jayaraman et al., 2024).

Debido a lo anterior se está buscando generar nuevas alternativas que brinden la misma cantidad de nutrientes y vitaminas como una carne tradicional sin tener que pasar por todo este proceso de contaminación. Unas de las alternativas más recientes son los hongos, estos pueden beneficiarse especialmente de la bioconversión de residuos agrícolas como paja, hojas, tallos, bagazo, y estiércol, para su producción. Esto se debe a que, aunque normalmente crecen en estado silvestre como son los suelos forestales húmedos y ricos en nutrientes, también se pueden cultivar eficazmente a partir de desechos orgánicos y materiales de origen vegetal, como madera gastada procedente de diversos productos de desecho agroindustriales. que contiene lignocelulosa y/o en asociación con el estiércol. Actualmente existen aproximadamente 2.000 especies de hongos comestibles en el mundo, se cubre el 85 % de la producción total por cinco especies: *Lentinus edodes* (Shiitake), *Pleurotus ostreatus* (Ostra), *Boletus edulis* (Porcini), *Agaricus bisporus* (Champiñón) y *Flammulina velutipes*. Estas cinco especies aportan alrededor de \$16,7 mil millones en mercado de hongos, por una producción global de alrededor de 11,8 millones de toneladas , lo que demuestra su considerable importancia. En particular, esto se debe a una mayor conciencia sobre su cualidades nutricionales, como fibra bruta (19 % del peso seco total), vitaminas (A, C, E, K), carbohidratos y minerales (potasio y selenio), compuestos antioxidantes (flavonoides, taninos, etc.), Ácidos grasos monoinsaturados ( $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, etc.) y su valor proteico. Además, el cultivo de hongos comestibles ofrece una oportunidad para abordar el problema de la eliminación o quema insostenible de residuos agrícolas como estiércol y biomasa agrícola. Al integrar hongos a los cultivos, podemos lograr múltiples beneficios

simultáneamente, incluyendo la recuperación de materias primas, la reducción de residuos y la bioconversión de estos residuos en productos agroalimentarios de alta calidad. Por tanto, el cultivo de hongos podría ser una alternativa potencial para equilibrar las deficiencias nutricionales y la inseguridad alimentaria, así como para afrontar el declive de recursos naturales y cambio climático(Vinci et al., 2023).

Según los datos estadísticos de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT), la tendencia actual de la producción mundial de hongos está aumentando, en el periodo 2018-2019 la producción mundial alcanzó las 43 millones de toneladas métricas. Se espera que aumente el consumo de hongos, lo que indica una tendencia al alza continua en la producción de hongos. Donde el mercado mundial de hongos estaba valorado en 45.300 millones de dólares en 2020 y se prevé que aumente a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 7% entre 2022 y 2027. Los hongos comestibles tienen una capacidad inigualable para descomponer la materia orgánica y reciclar los nutrientes nuevamente en el suelo, pueden transformar residuos agrícolas lignocelulósicos en biomasa valiosa rica en proteínas, proporcionando una alternativa sostenible. El cultivo de hongos no sólo es respetuoso con el medio ambiente, sino que también crea subproductos que pueden utilizarse como estiércol, alimento para animales, acondicionadores de suelos y biorremediadores; además, este enfoque proporciona beneficios económicos y ambientales al permitir que los residuos agrícolas se utilicen como sustratos para el crecimiento de hongos de forma sostenible (Hamza et al., 2024). De acuerdo a lo anterior se demuestra que los hongos son una gran opción para afrontar deficiencias de otros procesos alimentarios.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Realizar un análisis bibliométrico sobre los beneficios que tiene para la salud el consumo de hongos, clasificando cual de ellos aporta mayor contenido proteico además de observar su relevancia frente a otras fuentes proteicas y su contribución en el aspecto ambiental.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Clasificar los tipos de hongos que pueden ser utilizados para el consumo humano y sus características como fuente de proteína comparadas con carnes y legumbres.

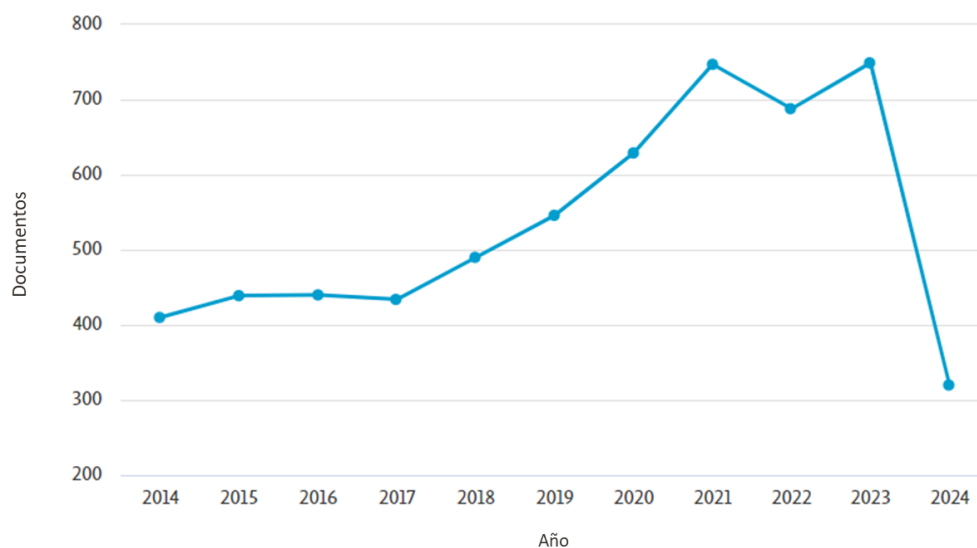
2. Evaluar las diferentes aplicaciones que generan los hongos comestibles en la industria alimentaria, su nivel de aceptación ante el consumidor, así como los desafíos y futuras direcciones de estos.
3. Identificar y describir los hongos comúnmente consumidos, incluyendo su aporte proteico y los beneficios a la salud que estos brindan.

## **5. Estrategia de búsqueda**

Se realizará una búsqueda bibliográfica con el fin de cumplir con los objetivos planteados en bases de datos como lo son ScienceDirect , google académico y Scopus utilizando palabras claves como (“Edible mushrooms” OR “comestible mushrooms”) AND (“protein” OR “contenido proteico”) AND (“mushrooms” OR “hongos”) AND (“carbon footprint” OR “huella de carbono”), (“health” OR “salud”), (“sustainability” OR “sostenibilidad”; para las aplicaciones en la industria, se usaron las siguientes ecuaciones (“food industry” OR “industrial alimentaria”) AND (“industrial applications” OR “aplicaciones industriales”).

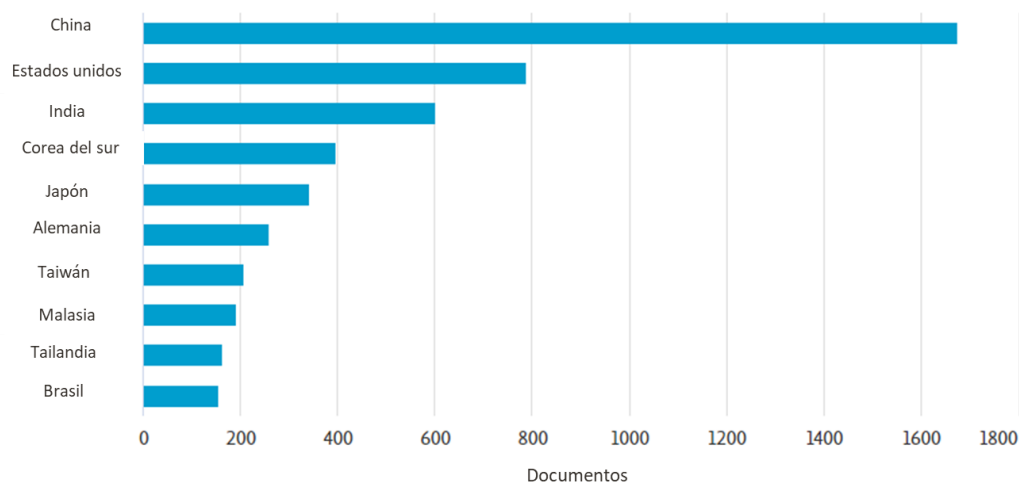
Este tema fue elegido ya que actualmente las proteínas alternativas han tenido mucho auge reemplazando las proteínas de origen animal, siendo los hongos uno de ellos por su valor nutricional y buen contenido proteico y así también ayudando a mejorar el medio ambiente con el tema de la disminución de la huella de carbono . Los artículos científicos utilizados para esta búsqueda bibliográfica son artículos que van desde el año 2014 hasta el año 2024.

En la figura 1 se presenta el número de documentos publicados en la revista Scopus en los últimos 10 años observándose que ha ido aumentando al pasar de los años y que donde más se ha publicado artículos sobre este tema han sido los años 2021 y 2023.



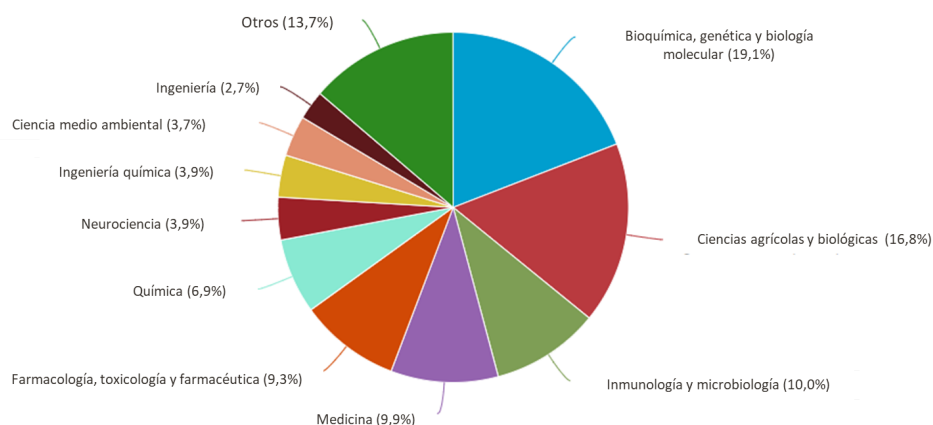
**Figura 1.** Documentos publicados por año sobre hongos comestibles ricos en proteína  
Fuente: (scopus, 2024).

En la figura 2. se encuentran los documentos publicados por países siendo China el país que más ha investigado y publicado sobre este tema.



**Figura 2.** países con mayor número de investigaciones relacionadas con los hongos comestibles ricos en proteína.  
Fuente: (Scopus, 2024).

En la figura 3. Se observaron las diferentes áreas de estudio donde se realizaron investigaciones sobre hongos comestibles ricos en proteínas siendo así la bioquímica, la agricultura y otros las de mayor aplicación.

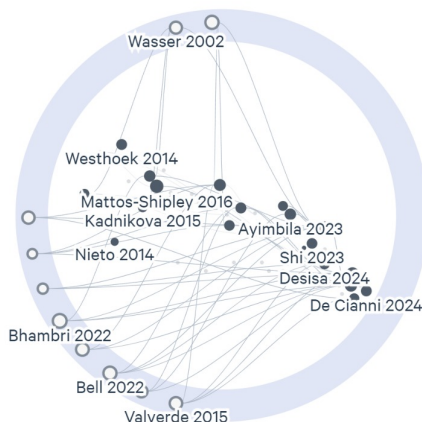


**Figura 3.** *Diferentes áreas de estudio donde se realizaron investigaciones sobre hongos comestibles ricos en proteína*

*Fuente: (Scopus, 2024).*

En la figura 4. Se presenta un análisis bibliométrico generado a partir de la plataforma litmaps utilizando la ecuación de búsqueda “Edible mushrooms” , “protein”, “health”. Este enfoque permite identificar las investigaciones relacionadas con los hongos comestibles, el contenido proteico y sus beneficios para la salud; esta plataforma permite visualizar las conexiones de los autores con diferentes estudios proporcionando un mapa interactivo entre las citas y las diferentes publicaciones.

 Litmaps



**Figura 4.** *Análisis bibliométrico de los autores con diferentes artículos relacionados para los hongos comestibles*

*Fuente: (Litmaps, 2024).*

## **6. Marco teórico**

Los hongos comestibles se han vuelto actualmente una de las alternativas más usadas y que su consumo a aumentado en el paso con años; siendo utilizadas para mejorar cambios en el medio ambiente y en la salud humana brindando una buena alternativa para las proteínas animales, debido a que nuestros hábitos pueden contribuir positiva o negativamente a nuestra salud y al medio ambiente.

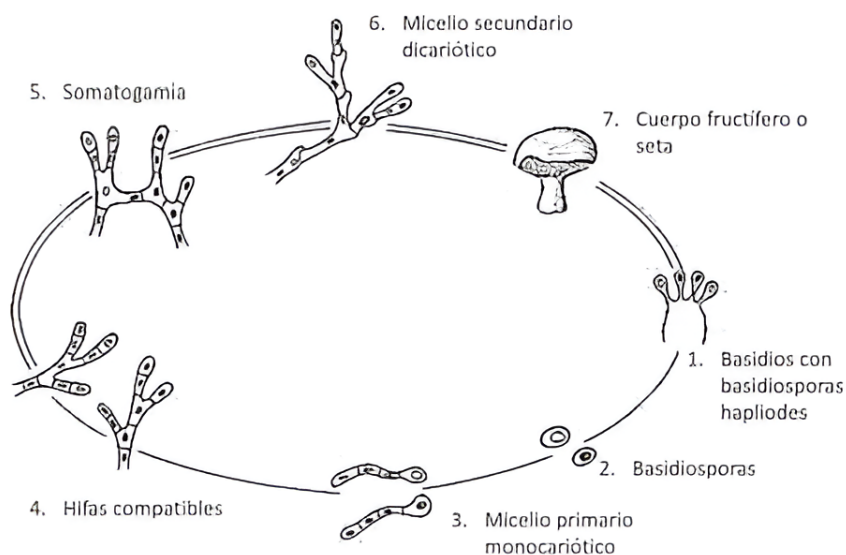
### **6.1 Hongos**

Por mucho tiempo los hongos fueron considerados un tipo de plantas “sin flores”, agrupados junto a las algas, musgos y helechos, sin embargo, las estructuras y funciones del hongo son totalmente 8 distintas a las de las plantas y hoy conforman un reino único y diferente, el Reino Fungi. En los cinco reinos de la naturaleza podemos encontrar algunos seres vivos que pueden producir su propio alimento, llamados “autótrofos”, como las plantas, que al poseer clorofila en sus hojas (lo que les da el color verde) pueden generar la fotosíntesis a partir de la energía del sol y producir azúcares para alimentarse. Los hongos y los animales en cambio son “heterótrofos”, es decir que obtienen su alimento de la materia orgánica (Montenegro & Stuardo, 2021); se considera un macrohongo con un cuerpo fructífero distintivo y lo suficientemente grande como para verlo a simple vista y recogerlo con la mano. Los hongos pertenecen a la familia Agaricaceae. Los tipos de hongos difieren en colores, formas, superficies y actividades. Se producen sobre el suelo o en sus fuentes de alimento, como la madera en descomposición en un ambiente húmedo y frío (Assemie & Abaya, 2022).

En algunos círculos se la denomina "carne vegetal", según su uso previsto, los hongos suelen clasificarse como comestibles (54%), medicinales (38%) o silvestres (8%). Sólo se cultivan unas 35 especies de hongos para el consumo humano, mientras que aproximadamente 200 especies silvestres se utilizan con fines terapéuticos. Las características de los hongos los hacen ver como una alternativa muy atractiva debido a que presentan un contenido de humedad bastante alto, normalmente ronda entre los 95 - 100 g, presentan un alto contenido en proteína entre 200-250 g/kg de materia seca, siendo especialmente abundantes los aminoácidos leucina, valina, glutamina, ácido glutámico y aspártico, el ácido linoleico, el ácido oleico y el ácido

palmítico son los tres ácidos grasos principales que se encuentran en los hongos, lo que hace que estos alimentos sean bajos en calorías.

Los hongos están compuestos por una parte vegetativa del hongo o tallo suele ser filamentosa, formada por hifas microscópicas cuyo conjunto recibe el nombre de micelio. Las hifas pueden ser septadas (con tabiques internos) o xenobióticas (carecen de ellos) y están recubiertas de una pared celular compuesta fundamentalmente por quitina, además de componentes como la celulosa y otros polisacáridos. A lo que llamamos seta o carpóforo es en realidad el cuerpo fructífero del hongo, formado como resultado del crecimiento diferenciado y del entrelazamiento de las hifas, junto con una rápida expansión debida a la gran absorción de agua. Las setas pueden ser tanto espigas, creciendo en superficie, o hipogeas, se desarrollan bajo tierra como es el caso de las trufas. En la naturaleza las setas tienen la principal función de producir, madurar y diseminar las esporas formadas mediante reproducción sexual, con el fin de asegurar la supervivencia del hongo a largo plazo. Su reproducción puede ser también asexual, la cual, aunque no proporciona variabilidad genética, es mucho más rápida y la más habitual en hongos, aunque con frecuencia alternan ciclos sexuales y asexuales. Las setas pueden presentar una gran diversidad de formas, tamaños, colores y texturas. Pueden variar desde hongos microscópicos unicelulares hasta micelios (Romero, 2019).

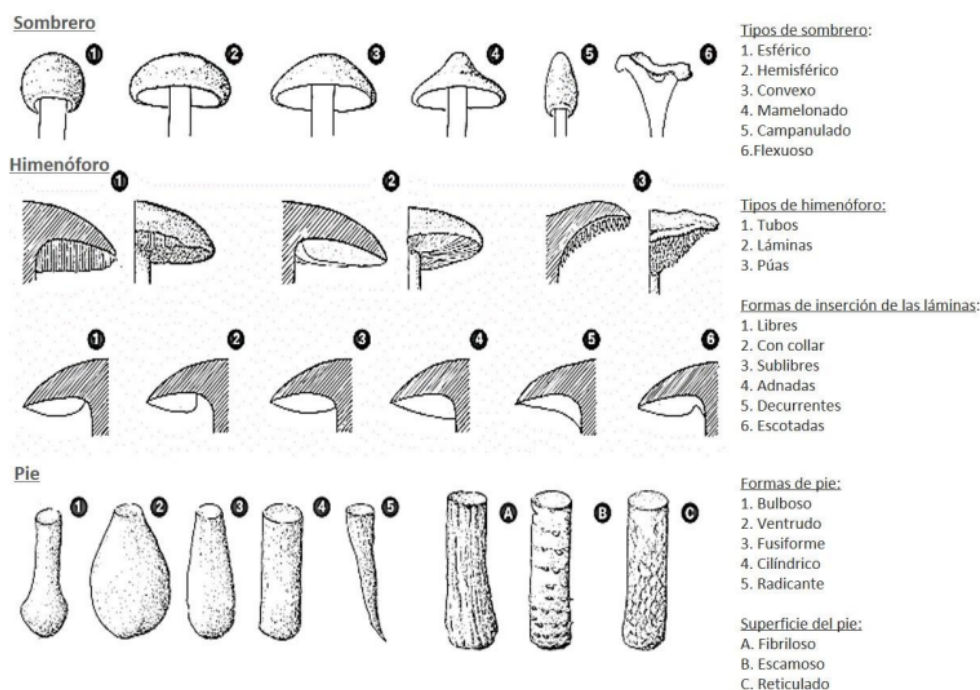


**Figura 5.** Ciclo de desarrollo de los hongos

*Fuente: (Romero, 2019).*

### 6.1.1 Características macroscópicas de los hongos

A partir del micelio secundario subterráneo se forma la seta, la cual puede adoptar formas muy diversas: globosas, coraliformes, claviformes, en copa, etc. La estructura de las setas es un elemento taxonómico muy importante a la hora de su clasificación; Las partes básicas de una seta típica son el sombrero, el himenóforo y el pie. El sombrero puede estar cubierto de escamas, restos de un velo general, debajo de la cuales se encuentra la cutícula. El himenóforo es la parte encargada de sostener el himenio o parte fértil portadora de esporas, y finalmente el pie que sirve de sostén. El pie puede llevar un anillo, restos del velo parcial, y también puede presentar una volva o restos del velo general (Romero, 2019).



**Figura 6.** Características morfológicas de los hongos

fuelle: (Romero, 2019)

### 6.1.2 Características microscópicas de los hongos

**Las hifas.** Son la unidad estructural de la mayoría de hongos, en particular de los hongos filamentosos y aparecen generalmente divididas por tabiques transversales llamados septos; el conjunto de hifas recibe el nombre de micelio.

**La cutícula o pellis.** Constituye la capa superficial del cuerpo fructífero, su disposición, propiedades y forma constituyen características taxonómicas muy importantes.

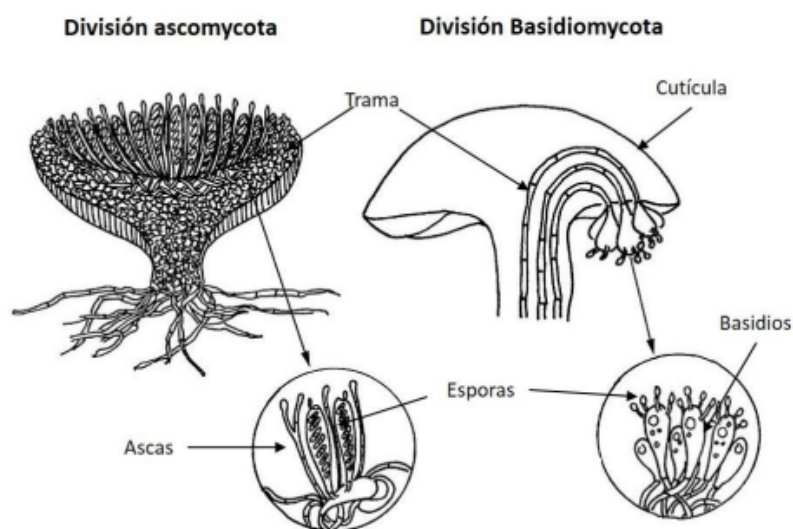
**La trama.** Constituye la porción interna del carpóforo y puede presentar diferencias en su estructura de gran significado taxonómico.

**Las ascas.** Son sacos en el interior de los cuales se desarrollan las esporas de origen sexual en la división Ascomycota. Su forma puede ser variable y pueden presentar, según la especie, distinto número de esporas.

**Los basidios.** Son células himeneales de la división Basidiomycota, donde se desarrollan las esporas de origen sexual, generalmente cuatro. Estas esporas son exógenas y permanecen unidas al basidio por los esterigmas.

**Los cystidios.** Son células terminales estériles de hifas que se colocan en el himeneo, en la superficie del cuerpo fructífero o, en ocasiones, en la trama de los basidiocarpos y presentan una morfología muy variada.

**Las esporas.** Son las unidades de propagación sexual de los hongos, que al germinar en las condiciones adecuadas originan el micelio. Presentan diferentes formas, tamaños, colores y ornamentaciones dependiendo de la especie, siendo muy importantes a nivel taxonómico (Romero, 2019).



**Figura 7.** composición microscópica del hongo

*Fuente: (Romero, 2019)*

### 6.1.3 Hongos comestibles y su contenido proteico

Los hongos aptos para el consumo humano tienen niveles importantes de cenizas entre 80 y 120 g/kg de materia seca y son una buena fuente de minerales como potasio, fósforo, magnesio, calcio, cobre, hierro y zinc, entre ellos se encuentran quitina, glucógeno, trehalosa y manitol como carbohidratos, y también tienen fibra, betaglucanos, hemicelulosas y compuestos

pécticos (Malinowski et al., 2021). Además de su eficacia comprobada como medicamento, los hongos también son una nueva clase de elementos conocidos como alimentos funcionales, nutraceuticos y suplementos dietéticos debido a su impacto positivo en la salud humana. Se ha descubierto que la ingesta regular de hongos o productos de hongos es útil en el tratamiento y protección contra una amplia variedad de enfermedades.

Los hongos se incluyen en la dieta vegetariana porque contienen los nueve aminoácidos esenciales, que se observan principalmente en las proteínas musculares (Panda et al., 2024) , Cultivando a escala industrial 20 especies, como *Agaricus bisporus*, *Lentinus edodes* (*shiitake*), *Pleurotus spp.* (*hongos ostra*), *Auricularia auricula*, *Flammulina velutipes*, *Volvariella volvacea* (Zhang et al., 2021).

Los hongos tienen un alto contenido de proteínas. En promedio, los hongos contienen entre un 19% y un 35% de proteínas en peso seco, que es mucho más alto que el vegetal común, comparable o incluso más alto que alguna proteína de origen animal como el cerdo (17,43% - 21,10%), la carne de res (17,51% - 21,98%), cordero (16,32% - 17,91%), pollo (16,52% - 22,50%), pavo (18,73% - 21,89%) y diferentes tipos de pescados (16,38% - 24,40%) (Bohrer, 2017) Siendo cercano al contenido de proteínas de la soja (36,5%) (*FoodData Central*, 2019) Según un estudio realizado sobre las ventajas nutricionales de los hongos comestibles y su situación de desarrollo industrial en análogos proteicos de carne, muestra los 8 hongos comestibles más comunes y su contenido proteico que son los siguientes (Wang & Zhao, 2023).

El contenido de proteína de cada especie varía según las cepas, las diferencias físicas y químicas en el medio de cultivo, la composición del sustrato, el tamaño del píleo y el momento de la cosecha (Deepalakshmi & Sankaran, 2014).

1. *Lentinula edodes* (*shiitake*): Shiitake es el nombre japonés común para *Lentinula edodes* y Japón es el líder mundial en la producción de este tipo de hongo; su morfología es la de un basidiomiceto, el cultivo de este hongo se practica desde hace mil años y se originó en China. Los shiitake son hongos comestibles tradicionalmente conocidos por su alto valor nutritivo. En forma cruda o seca, estos hongos tienen excelentes propiedades nutricionales ya que contienen todos los aminoácidos, incluyendo los esenciales; los aminoácidos esenciales que contiene este hongo son Fenilalanina (Phe), Histidina (His), Isoleucina (Ile), Leucina (Leu), Lisina (Lys), Metionina (Met), Treonina (Thr), Triptófano (Trp) y Valina (Val) El aminoácido esencial que se encuentra en mayor cantidad es Leucina (Leu), que varía entre 6,18-9,68 mg/g en base seca; los aminoácidos no esenciales son los siguientes Ácido aspártico (Asp), Ácido glutámico (Glu), Alanina

(Ala), Arginina (Arg) , Asparagina (Asn), Cisteína (Cys), Glicina (Gly), Glutamina (Gln), Prolina (Pro), Serina (Ser) y Tirosina (Tyr) los aminoácidos no esenciales que se encuentran en mayor cantidad son, Alanina (Ala) que oscila entre 4,17-7,85 mg/g, Arginina (Arg) que fluctúa entre 5,85-6,23 mg/g y Asparagina (Asn) 9,46 mg/g. en base seca. También contiene varios compuestos bioactivos como el  $\alpha$ -glucano,  $\beta$ -glucano, tocoferoles, compuestos fenólicos, eritadenina y Ergosterol. El hongo Shiitake posee un alto contenido de proteínas que oscila entre 14,9-20,8 gramos(Ibarra Tapia, 2023); es el segundo hongo comestible más popular del mundo por su atractivo sabor y calidad. Habita naturalmente en muchas especies de árboles leñosos muertos y utiliza troncos naturales como sustratos de crecimiento, pero lleva mucho tiempo producir los cuerpos fructíferos (Desisa et al., 2024). En la figura 7 se puede observar la morfología de este hongo.



**Figura 8.** Morfología y apariencia del hongo shiitake

Fuente: Rivera Morales, (2010)

2. *Auricularia auricula*: En Japón, este hongo se conoce como "medusa de árbol", en China se denomina "oreja de madera" y en Rusia "hongo negro"(Kadnikova et al., 2015). Este hongo es cultivado principalmente en regiones templadas y se cultiva en la mayoría de los países asiáticos, es conocida por su forma distintiva, que se asemeja a una oreja o una copa irregular con un color marrón. Se utiliza comúnmente como alimento saludable y medicina tradicional principalmente en países del este de Asia. Su alto consumo se puede atribuir a su paladar, textura suave, sabor, nutrición y composición química que promueve la salud. Contiene proteínas, carbohidratos, grasas y enormes cantidades de fibras, carotenos, calcio, fósforo y hierro (Islam et al., 2021). Este hongo contiene un 12,5% de proteína por cada 100 g de materia seca y los carbohidratos son el nutriente principal constituyendo el 66,1% por cada 100 g de materia seca; este hongo es una

materia prima valiosa para producir alimentos dietéticos bajos en calorías, así como una buena fuente de actividad biológica, polisacáridos y aminoácidos esenciales (Kadnikova et al., 2015). Los compuestos bioactivos de las especies de *Auricularia*, que incluyen principalmente polisacáridos, son conocidos por sus propiedades antitumorales, antioxidantes, anticoagulantes e inmunomoduladoras (Román Mata., 2023). En la figura 8 se presenta una imagen de la morfología de este hongo.



**Figura 9.** Apariencia del hongo *Auricularia auricula*

Fuente:Steinke, (2024)

3. *Pleurotus ostreatus*: Este hongo es conocido también como la gírgola o hongo ostra y es la segunda especie más cultivada después del *Agaricus bisporus* (Sánchez, 2009). El origen de *Pleurotus* se remonta a la Primera Guerra Mundial en Alemania como medida de subsistencia para el almacenamiento de alimentos y la primera documentación de cultivo la realizó Kaufert (Investigador experto). Actualmente, varias especies de *Pleurotus* se cultivan comercialmente debido a su rico contenido mineral y propiedades medicinales, ciclo de vida corto, reproducibilidad en el reciclaje de ciertos desechos agrícolas e industriales y baja demanda de recursos y tecnología. Muchas investigaciones de diferentes regiones del mundo confirmaron que el hongo *Pleurotus* tiene un alto valor nutricional, tiene un sabor y propiedades aromáticas únicas y se considera que es rico en proteínas, fibra, carbohidratos, minerales y vitaminas, así como bajo en grasas y también contiene varios compuestos bioactivos que incluyen terpenoides, esteroides, fenoles,

alcaloides, lectinas y nucleótidos, que se han aislado e identificado del cuerpo frutal, el micelio y el caldo de cultivo de los hongos y se ha demostrado que tienen efectos biológicos prometedores (Deepalakshmi & Sankaran, 2014). El hongo tiene un contenido de proteína del 22,61% de proteína cruda (Duru Majesty et al., 2018). En la figura 9 se presenta este hongo.



**Figura 10.** Apariencia del hongo *Pleurotus ostreatus*/ hongo ostra

Fuente: Isela, (2024)

4. *Flammulina velutipes*: también conocido como Enoki, este hongo crece de forma natural en los tocones del árbol de almez chino, conocido como enoki en japonés. Morfológicamente, existe una clara distinción entre las cepas cultivadas de forma natural y las domesticadas. Las cepas cultivadas de manera domestica tienen tallos blancos, delgados y esbeltos mientras que las silvestres tienen basidiocarpos de color amarillento a marrón. Los registros históricos muestran que el hongo enoki se cultivó por primera vez en China durante el siglo VIII y luego se extendió a Japón. Durante más de 300 años, el enoki se cultivó en troncos de madera en condiciones semisilvestres. Hasta la década de 1990, Japón fue el principal productor mundial de hongos enoki. Desde entonces, China ha reemplazado a Japón en la producción. En la actualidad, la mayoría de las unidades de producción de enoki en China están completamente mecanizadas con una capacidad de producción anual de 2,4 millones de toneladas métricas (Al-Khayri et al., 2021) ; es un delicioso hongo comestible cultivado en China, Japón y otros países asiáticos (Al-Khayri et al., 2021); la producción mundial de *F. Velutipes* fue de 2.7 mil

millones de kg en 2013, ocupando el quinto lugar en la producción de hongos comestibles (Fukushima-Sakuno, 2020). Es reconocido por sus propiedades culinarias, nutricionales y medicinales, Contiene nutrientes esenciales que incluyen proteínas, ácidos grasos insaturados, minerales y fibra que necesita el cuerpo humano (Al-Khayri et al., 2021). Este hongo presenta un contenido de 13,5% de proteína (Banerjee et al., 2020), este hongo presenta un olor afrutado y sabor dulce (Lechner et al., 2018).

Varios compuestos de alto peso molecular como polisacáridos, proteínas y glicoproteínas se han aislado de *F. velutipes* y se clasifican como moléculas bioactivas importantes con efectos beneficiosos para la salud, además, varios compuestos de bajo peso molecular como polisacáridos, proteínas y glicoproteínas se han aislado de *F. velutipes* y se clasifican como moléculas bioactivas importantes con efectos beneficiosos para la salud (Fukushima-Sakuno, 2020).



**Figura 11.** Apariencia del hongo *Flammulina velutipes*

Fuente:Al-Khayri et al, (2021)

5. *Agaricus bisporus*: también llamado como champiñón blanco o común. El gran desarrollo en el cultivo de hongos vino de Francia cuando se cultivó por primera vez *Agaricus bisporus* en el siglo XVII, esta especie representa hasta el 38% de la producción mundial de hongos, que incluye miembros de la especie *A bisporus* (por ejemplo, las variedades de champiñón, portobello y marrón suizo), así como miembros de la especie *Agaricus campestris* (Ali & Smith, 2024), además de considerarse uno de los hongos más importantes por sus valores culinarios y medicinales, la producción y el consumo han aumentado de manera constante durante las últimas seis o siete décadas; en la

actualidad, la producción mundial de hongos comestibles cultivados frescos es de alrededor de 20 millones de toneladas por año (Zarlenga, 2022). La producción mundial de hongos se multiplicó por 30 entre 1978 y 2016 alcanzando más de 44 millones de toneladas métricas en 2021. China, el mayor productor de hongos, produjo más de 40 millones de toneladas, mientras que la Unión Europea produjo más de 1 millón de toneladas en 2021. El consumo promedio mundial es de unos 100 g per cápita por semana lo que convierte a los hongos en una parte importante de la dieta de los consumidores y una fuente importante de proteína no animal (Goglio et al., 2024), logrando considerar una valiosa fuente de alimentos y de varios compuestos bioactivos importantes como los compuestos fenólicos, serotonina tiene el potencial de prevenir la enfermedad de Alzheimer, tocoferol y los polisacáridos (Usman et al., 2021). Es rico en proteínas 29,14%, carbohidratos 51,05% y grasas 1,56% en comparación con *Pleurotus erythrorhynchus*, *Volvariella volvacea* y *Lentinula edodes* (Atila et al., 2017).



**Figura 12.** Apariencia del hongo *Agaricus bisporus*

Fuente: Clements y Fulton (2024)

6. *Pleurotus eryngii*: es un hongo apetecido a nivel mundial, debido a su alto aporte nutricional como en proteínas (19,73%), humedad (5,5%), lípidos (5,89%), carbohidratos (50,18), fibra (11,33%) cenizas (7,2%) presentando una característico sabor y olor fúngico agradable presentando olor frutal (Acosta Urdapilleta, 2020) . Este alimento está asociado a la alta cocina, por lo cual no es común verlo en los mercados locales. Adicionalmente, posee gran versatilidad y adaptabilidad, soportando un rango amplio de temperaturas en las cuales se cultiva comúnmente en espacios oscuros a 25°C (Acosta

Urdapilleta, 2020), así como una resistencia relativa mayor que otras especies a plagas y enfermedades, pudiéndose cultivar prácticamente sobre cualquier sustrato, tales como troncos, cortezas de madera, aserrín, bagazo de caña, entre otros (Galvis & Pineda, 2018). Presentar la imagen.



**Figura 13.** *Pleurotus eryngii*/ seta del cardo

Fuente:Galvis & Pineda, (2018)

7. *Agrocybe aegerita*: También conocido como seta de chopo (Blasco- Zumeta, 2021). O hongo de álamo negro, es un hongo comestible muy conocido y es popular entre los consumidores por su agradable aroma y sabor. *A. aegerita* es rico en diversos nutrientes, entre ellos proteínas en donde su contenido de proteína cruda estuvo en el rango de 25,40–29,60% (Li et al., 2024), polisacáridos, vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales. Además, el sabor umami es la característica sensorial más destacada de *A. aegerita*. El umami es el quinto sabor básico percibido por los humanos y se ha descrito como un sabor agradable (Yang et al., 2024); Esta especie de hongo leñoso prospera en las zonas subtropicales y templadas, con una distribución que abarca Japón, el sur de Europa y China. Es un hongo de elección para el cultivo en numerosos países y se cultiva ampliamente, particularmente en el sur de China. Según las estadísticas de la Asociación de Hongos Comestibles de China, el rendimiento de *A. aegerita* se estimó en 894.700 toneladas en 2021, y la escala de la industria de los hongos comestibles continúa expandiendo la producción de 7,8 millones de toneladas en 2001 a 41,3396 millones de toneladas en 2021 (Li et al., 2024).



**Figura 14.** Apariencia del hongo *Agrocybe aegerita*

Fuente: Blasco- Zumeta, (2021)

8. *Volvariella volvacea*: se cultivó por primera vez en la India en 1940; el hongo de paja de arroz también se conoce como “hongo cálido” porque crece a temperaturas relativamente altas (Biswas, 2014) , en climas cálidos y húmedos, en su cosecha la temperatura óptima de cultivo es de 25°C mientras que en la parte de incubación su temperatura es de 28 - 35 °C, manejando una humedad relativa entre el 75-85% (Kamaliah et al., 2021). Es un hongo de crecimiento rápido y, en condiciones de crecimiento favorables, el ciclo total de cultivo se completa en un plazo de 4 a 5 semanas; este hongo tiene varias ventajas, como la necesidad de un clima tropical o subtropical, una tasa de crecimiento rápida, una tecnología de cultivo sencilla y una buena aceptación por parte de los consumidores (Biswas, 2014); se produce en cantidades anuales de 330.000 toneladas solo en China, lo que representa más del 80% de la producción mundial. En base seca, tiene un contenido de proteína de aproximadamente 25,9%–29,6% y un contenido de grasa de 2,24%–3,60% (Wang et al., 2023).



**Figura 15.** Apariencia del hongo *Volvariella volvacea*

Fuente: Miller, (2020)

De acuerdo a lo investigado anteriormente se puede evidenciar que los hongos comestibles son reconocidos no solo por su valor culinario, si no también por su aporte nutricional ya que se demuestra que presenta un alto contenido proteico incluso superior al de carne de origen animal, también los hongos comestibles contienen aminoácidos esenciales y compuestos bioactivos convirtiéndolos en excelente opciones para incluirlos en alimentos funcionales, nutraceuticos y dietéticos siendo un impacto positivo a la salud; por ejemplo el hongo que tiene un alto porcentaje proteico es el *Lentinula edodes* más conocido como shiitake que contiene entre 14,9-20,8% y aporta todos los aminoácidos esenciales, el hongo que presenta el menor contenido proteico es la *Auricularia auricula* este se destaca por su alto contenido en fibra y polisacáridos, siendo así los hongos comestibles no solo representan una fuente importante de proteínas sino que también ofrecen compuestos bioactivos y pueden ser desarrollados para la creación de productos análogos a la carne siendo una alternativa prometedora ya que va a aportar muchos beneficios no solo a la salud sino también al medio ambiente.

#### **6.1.4 Cultivo de los hongos**

En sus orígenes, el cultivo de hongos se realizaba en cuevas que, paulatinamente, han sido sustituidas por cámaras climatizadas, para controlar las condiciones climáticas, requiriendo únicamente consumo de energía y sistemas de refrigeración. Las cámaras climatizadas permiten

un mayor control de las condiciones climáticas dentro de las cámaras de cultivo, la temperatura y la humedad, en comparación con el proceso de cultivo tradicional (Leiva Lázaro et al., 2015).

El cultivo de un hongo conlleva 3 pasos, aislamiento, propagación y crecimiento que consisten en lo siguiente.

1. Aislamiento, consiste en la preparación de medios de cultivo en placas de Petri, que proporcionan los nutrientes necesarios para el desarrollo del micelio; estos medios de cultivo pueden ser preparados con insumos comunes o adquiridos ya listos, como lo es el agar con extracto de malta o el agar de papa dextrosa. Al generarse una colonia o cepa, el micelio puro se aísla a partir de un fragmento de hongo o de sus esporas, que luego se aísla a partir de un fragmento del hongo o mediante esporas; para evitar contaminaciones, se puede añadir antibióticos como gentamicina o penicilina al medio de cultivo. El micelio tiene una vida útil de seis meses, por lo que es necesario transferirlo periódicamente a nuevos medios para mantener su viabilidad (Montenegro & Stuardo, 2021).
2. Propagación, en esta etapa se lleva a cabo usando granos como trigo, avena, centeno, cebada o arroz integral; este proceso consiste de dos fases:
  - a. Obtención de inóculo primario: El micelio se propaga en semillas estériles a partir de una cepa previamente crecida, que se obtuvo en la fase de aislamiento.
  - b. Obtención de inóculo secundario: A partir del inóculo primario, se multiplica el micelio para generar una mayor cantidad de estos, la cual se utiliza para sembrar en el sustrato elegido previamente para la producción de hongos.

Este proceso es fundamental para asegurar que haya suficiente micelio para un cultivo exitoso, permitiendo el crecimiento de hongos a mayor escala en los sustratos seleccionados (Montenegro & Stuardo, 2021).

3. Crecimiento, esta última etapa consiste en que el sustrato (como la paja de trigo) debe pasteurizarse para reducir los microbios y evitar la competencia por espacio y nutriente; además de asegurarse de que el sustrato no haya sido tratado previamente con plaguicidas o fungicidas. La siembra del hongo se realiza en un área cerrada y limpia, donde la paja pasteurizada y escurrida se deposita sobre una superficie desinfectada, la siembra se inicia cuando el sustrato se ha enfriado a menos de 30 °C. Luego se genera la etapa de incubación, que dura entre 20 y 30 días bajo condiciones óptimas, el micelio se

extiende en el sustrato. Esta fase puede prolongarse si las temperaturas son bajas o si el tamaño y densidad del sustrato no son adecuados (Montenegro & Stuardo, 2021).

El proceso de cultivo tradicional se lleva a cabo en bodegas antiguamente utilizadas para la producción de vino, lo que ayuda a mantener las condiciones de temperatura ideales para el cultivo de las setas. Estas bodegas cuentan únicamente con un sistema de ventilación que renueva el aire interior con aire fresco, sin control de temperatura ni humedad en el interior de la sala. Las bodegas se utilizan de forma rectangular de 35 metros de largo, 4,5 metros de ancho y 2,4 metros de alto con una puerta frontal para carga y descarga de entrada. El sistema de La ventilación está colocada en la parte delantera y trasera de la bodega, como resultado que el flujo de aire en el interior de la nave sea adecuado (Leiva Lázaro et al., 2015).

El proceso de cultivo climatizado se lleva a cabo en salas climáticamente controladas (humedad relativa y temperatura). Estas salas cuentan con un sistema de aire acondicionado y numerosas tomas de aire para una distribución homogénea en la sala. Las bodegas se utilizan de forma rectangular de 32 metros de largo, 7 metros de ancho y 4 metros de alto con una puerta trasera para carga y descarga de paquetes de compost y material de tripa, y una frontal para acceso de personal. Todos los parámetros están controlados y monitorizados constantemente (Leiva Lázaro et al., 2015).



**Figura 16.** *Cultivo de hongos climatizado*

Fuente: Elaboración propia, (2024)

### 6.1.6 Digestibilidad de los hongos

La digestibilidad de los alimentos es un factor muy importante ya que este evalúa la calidad nutricional ya que son los nutrientes que son absorbidos por el organismo; en este caso las fuentes de proteínas contienen diferentes porcentajes de digestibilidad, como por ejemplo de las legumbres que son las más apropiadas para comparar con los hongos comestibles como el Frijol (64.80), Lenteja (82.93), Garbanzo (78), Soja Texturizada (96), Chícharo (59), Haba (80.52), Cacahuete (56.28); los cereales como Avena (70.40), Arroz (85), Arroz integral (74), Germen de trigo (81), Mazorca cocida (61), Amaranto (86), Quinoa (80) y las carnes rojas (94) ((Flores-Fernández, et al./Vol. 7 (2022) 13-19 ). un ejemplo de esto es un estudio realizado por Aguilar Huilca y Bustamante Flores que ofrece un aporte analizando la harina del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cuya digestibilidad in vitro fue del 90,8% (Huilca & Flores, 2020) este porcentaje es destacable ya que supera los valores de digestibilidad de las legumbres que fueron mencionadas a excepción de la soja texturizada que este fue mayor; las autoras realizaron la determinación de digestibilidad proteica con el método in vitro de análisis de piensos y forrajes Max Becker 1961 , el cual utiliza la pepsina como enzima para la digestión de la proteína presente en la muestra (Huilca & Flores, 2020).

Los hongos comestibles a pesar de estar siendo reconocidos como fuentes seguras de proteínas de alta calidad debido a su bajo contenido de grasa, alto contenido de fibra e ingredientes funcionales como los fenólicos y aminoácidos esenciales completos. satisfaciendo los requerimientos dietéticos. Tienen un alto contenido de aminoácidos de cadena ramificada (AACR), que se encuentra principalmente sólo en fuentes de proteína de origen animal. las proteínas de hongos tienen alta estabilidad térmica y de pH y su digestibilidad varía de 60 a 70%. Sin embargo, se ha demostrado que los fenólicos, fitatos y taninos presentes en los hongos inhiben las enzimas digestivas: amilasa, pepsina y pancreatina. Por otro lado, el alto contenido de fibra de los hongos puede provocar la liberación de azúcares reductores durante la digestión, lo que provoca una reacción de Maillard y una disminución de la lisina, la metionina y el triptófano asimilables. Los lípidos restantes también pueden oxidarse, provocando rancidez. Afortunadamente, la digestibilidad de las proteínas puede mejorarse eliminando los componentes alimentarios mencionados mediante el procesamiento como la fermentación (Ayimbila & Keawsompong, 2023).

La fermentación es un proceso de biotransformación donde intervienen microorganismos que permitirían ensalzar la biodisponibilidad de los compuestos y la digestibilidad proteica, procesos como germinación, remojo, fermentación, cocción y/o escaldado, que ayudan a eliminar los factores termoestables, es decir aquellos que no se degradan cuando pasan por un proceso térmico; lo que conlleva a un aumento en la digestibilidad y mejoramiento de las propiedades organolépticas del producto (Maure et al., 2022). Se recomienda realizar un proceso de molienda previo a la fermentación permitiendo reducir el tamaño de partícula y por consiguiente aumentar el área de superficie entre el sustrato y el microorganismo. Este incremento en la superficie de contacto confiere un mayor acceso de las enzimas liberadas por los microorganismos y promueve la degradación de factores antinutricionales, lo que ensalzaría la biodisponibilidad de los compuestos y la digestibilidad proteica (Mor Llobart, 2021)

Los hongos comestibles presentan diversas ventajas nutricionales como su bajo contenido graso, contiene todos los aminoácidos esenciales y estabilidad térmica; no obstante, también enfrentan desafíos importantes, como la presencia de inhibidores digestivos y la variabilidad en su digestibilidad, la cual depende de la especie o el procesamiento aplicado. Estos factores deben considerarse al momento de posicionarnos como una alternativa vegetal viable frente a las proteínas animales, asimismo para lograr su incorporación efectiva en dietas funcionales, sostenibles y adaptadas a diversas necesidades nutricionales; es necesario superar barreras tecnológicas como culturales.

En este sentido, la fermentación ha demostrado ser un método eficaz para mejorar la digestibilidad proteica de los hongos, sin embargo en regiones como centroamérica su aplicación es aún limitada. Por ello es fundamental realizar estudios que no solo optimicen las condiciones del proceso como la selección de sustratos y el tiempo de fermentación, sino que también adapten las características sensoriales del producto final al consumidor local. logrando una amplia aceptación y un aprovechamiento real del valor nutricional de los hongos en contextos alimentarios regionales.

## **6.2 Efectos en el medio ambiente**

En el consumo de carne animal se ha observado una tendencia creciente desde el siglo XX, por lo que ha ganado un lugar importante en las cocinas occidentales. Desde

una perspectiva cultural, muchos platillos tradicionales son impensables sin el uso de proteína de origen animal; socialmente, es común que las familias occidentales consideren incompleta una comida sin carne; este tipo de dietas tienden a tener una huella de carbono mayor a la de los basados en plantas, en donde producir un kilogramo de carne de res emite 60 kilogramos de GEI (equivalentes de CO<sub>2</sub>) (*Vista de el Impacto Ambiental del Consumo de Carne, Estudio En la UASLP*, 2022). aunque se está intentando trabajar en reducir el consumo de estos para así ayudar al medio ambiente es un gran desafío ya que el sector ganadero adquiere gran relevancia, sobre todo si se tiene en cuenta que a nivel mundial es la base de los medios de subsistencia y la disponibilidad alimentaria de casi mil millones de personas, y representa el 40% de la producción agropecuaria; atribuyen al sector ganadero una alta participación en la problemática ambiental global. Establecen que este sector es el responsable del 18% de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que emite el 9% del total del CO<sub>2</sub> y del 37% de las emisiones de gas metano (CH<sub>4</sub>) provenientes de la fermentación entérica y del estiércol. Asimismo, participa con el 65% de las emisiones globales de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y emite el 64% del amoníaco global (Nieto et al., 2014).

Una solución para este problema puede ser de involucrar alimentos alternativos a nuestras dietas como lo son los hongos que se profundizará sobre el tema, cereales, legumbres que pueden ser un sustituto de la carne, algas, insectos entre otros, teniendo una fuente importante de proteína, vitaminas y minerales para el consumo humano y así también poder garantizar una seguridad alimentaria con los nutrientes necesarios y ayudar al medio ambiente que podrían conducir a reducciones significativas en los impactos climáticos y del uso de la tierra, dependiendo del método de producción de carne. En una amplia gama de productos, las carnes de origen vegetal requieren entre un 47 % y un 99 % menos de tierra y entre un 72 % y un 99 % menos de agua, emiten entre un 30 % y un 90 % menos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y causan entre un 51 % y un 91 % menos de contaminación por nutrientes acuáticos en comparación con la carne de animales de granjas industriales. Esto se debe en gran medida a la elevada huella medioambiental de la carne, especialmente la de vacuno. Las emisiones de GEI de la carne de res son 15 veces mayores que las del arroz, el cultivo con mayores emisiones, y 20 veces mayores que las del tofu (Thornton et al., 2023).

Además, el cultivo de hongos exige recursos económicos y ambientales relativamente modestos y puede prosperar en diversos sustratos orgánicos derivados de subproductos de la industria alimentaria, lo que hace que su producción sea ambientalmente sostenible. También

requieren un espacio relativamente limitado para crecer y se consideran “organismos de rápido crecimiento y alto rendimiento”, un estudio ha desarrollado un modelo para evaluar las ventajas ambientales de las proteínas microbianas derivadas de la fermentación (micoproteínas), lo que indica que reemplazar el 20% del consumo per cápita de carne de rumiantes con micoproteínas para 2050 podría dar como resultado una reducción del 50% en la deforestación anual y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas (De Cianni et al., 2024).

### **6.3 Hongos comestibles como sustituto de la proteína animal**

Actualmente el consumo de productos cárnicos se ha relacionado con el riesgo de aparición de enfermedades crónicas, tales como enfermedades cardiovasculares, cáncer, hipertensión, diabetes y obesidad. Esto debido al alto contenido de grasa, nula cantidad de fibra y la adición de aditivos químicos que contienen los productos cárnicos comerciales (Del Estado de Hidalgo, 2020), también presenta graves problemas medioambientales, en particular altos niveles de nutrientes, consumo de agua, producción de gases de efecto invernadero, deforestación y extinción de especies (Ferrero et al., 2024). Debido a lo anteriormente mencionado ha habido una creciente preocupación por la salud lo cual genera una demanda de los consumidores por la disponibilidad de alimentos saludables, esto conduce a generar nuevas alternativas a partir de fuentes naturales. Bajo este contexto, los hongos comestibles se consideran una excelente alternativa como ingrediente en las formulaciones de productos cárnicos, debido a que son fuente importante de nutrientes, principalmente por su alto contenido de carbohidratos (fibra), de proteína (aminoácidos esenciales), así como su bajo contenido calórico y de grasa. Así pues, la adición de hongos comestibles en productos cárnicos puede mejorar la calidad nutricional de los productos cárnicos (Del Estado de Hidalgo, 2020).

Entre las fuentes alternativas del consumo de proteína animal, los hongos comestibles se han presentado como una opción prometedora, y que en un futuro su consumo va a ser más frecuente, esto se debe al gran alcance de beneficios que ofrece como brindar un papel importante en el tratamiento de residuos agrícolas e industriales, además de ser usada como un sustituto de la proteína animal, aumentando el consumo de estos hongos debido a la diversificación de las dietas; debido a que el contenido de proteína es mayor que el trigo, siendo cercano en contenido de proteína a la soja y guisantes; además los hongos tienen una gama completa de aminoácidos, los hongos son bajos en grasa, libres de colesterol y tienen un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados requeridos por el organismo, a diferencia de las grasas animales, que estas contienen una cierta cantidad de ácidos grasos insaturados, pero el

contenido de ácidos grasos saturados es mayor, lo que puede provocar problemas en la salud; Por lo tanto, utilizar hongos como “carne” puede cumplir con los requisitos la necesidad del cuerpo de ácidos grasos insaturados y evitar el daño causado por un consumo excesivo de ácidos grasos saturados. Los productos cárnicos animales como los huevos y la leche son fuentes importantes de vitaminas B y los hongos también son ricos en vitamina B, especialmente niacina (B3), que suele brindar más contenido a los frijoles y la carne animal (Wang & Zhao, 2023). y esto ha hecho que la industria cárnica se enfrente a nuevos desafíos como el desarrollo de productos nutritivos, inocuos y de buena calidad organoléptica. Principalmente se enfoca en la reformulación por medio de la adición de ingredientes funcionales. Ante la innovación de productos con potencial funcional hacen que materias primas como los hongos comestibles se consideren relevantes en la industria de alimentos. Por su disponibilidad y composición nutricional pueden emplearse para la elaboración de diversos productos que aporten características sensoriales atractivas para los consumidores. Actualmente poco se ha publicado respecto a la aplicación de hongos comestibles en alimentos procesados, sobre todo en productos cárnicos. En general se han utilizado de manera directa como ingrediente en productos horneados (pan, muffin, galletas), en carne para hamburguesa de cerdo, análogos de carne, sopas y bebidas. Sin embargo, han mostrado potencial para ser ingredientes benéficos en el desarrollo de nuevos productos. Algunos de los hongos comestibles como *Agaricus bisporus*, *Shiitake*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinus edodes*, *Tricholoma matsutake* y *Tremella fuciformis* se han añadido en productos cárnicos, como ingrediente funcional, mostrando de manera general como resultado efecto favorable en la textura, jugosidad y capacidad de retención de grasa, así como su funcionalidad y aceptación sensorial. La proteína presente en los hongos es de naturaleza fibrosa y su incorporación proporciona masticabilidad de los productos. Los hongos comestibles podrían contribuir para cumplir con los requerimientos diarios de proteínas, minerales y vitaminas (Del Estado de Hidalgo, 2020).

Además de su uso en la producción de sustitutos de productos de origen animal, la biomasa fúngica también se puede utilizar en otros alimentos, como bebidas nutritivas a base de hongos. Otras aplicaciones incluyen el uso de productos fúngicos como pigmentos en alimentos. Se puede producir un amplio espectro de colores (clases químicas de pigmentos como azafilonas, melaninas, flavinas, quininas y fenazinas) utilizando hongos ascomicetos y basidiomicetos (setas) (Awasthi et al., 2022).

A continuación se presentan algunos artículos de productos realizados a base de hongos comestibles como sustituto de la proteína de origen animal demostrando las diferentes aplicaciones que tienen estos hongos en la industria alimentaria, presentando buen contenido nutricional para tener una dieta con los requerimientos necesarios:

En una tesis realizada por Martha Alicia Cena Gonzales titulada “Desarrollo de un producto tipo hamburguesa a base de hongo cremini (*A. bisporus var brunnescens*)” realizó una formulación de hamburguesa a partir de hongo de la siguiente manera: 366 g de hongo, 45 g de cebolla, 6 g de cilantro, 9 g de sal, 15 ml de huevo, 75 g de pan molido, 15 g de almidón de maíz y 10,5 g de perejil y también una formulación de hamburguesa a partir de carne con la misma cantidades anteriormente mencionadas pero reemplazando el hongo por carne; demostrando que el contenido de materia seca total de la hamburguesa elaborada a partir de hongos fue de 93,17% y a partir de carne 84,2%; el contenido de cenizas con mayor contenido fue a partir de hongos con un 11,13% y a partir de carne con un 8,83%; en el caso de contenido de proteína el que presentó mayor porcentaje fue a base de carne con un 42,68%. La investigadora refiere que eso se puede atribuir al tipo de carne utilizada que fue (sirloin 90/10) y también a la incorporación de huevo. Por otro lado, la hamburguesa a base de hongo presentó un contenido de 19,59%; se menciona en el estudio que este tipo de características convierten a la hamburguesa de hongos en una buena opción para obtener y satisfacer los requerimientos diarios de proteínas, las cuales son de 0,8 a 1 g de proteína por kg de peso corporal de acuerdo a lo recomendado por la OMS y como conclusión refiere que se propone a la hamburguesa elaborada a partir de hongos variedad Cremini, como una posible alternativa para consumo y sustituto de carne, debido a las cualidades que esta presenta como menor contenido de lípidos, mayor contenido de fibra un considerable contenido de proteínas y minerales y por ser de origen fúngico tiene un menor contenido calórico, en comparación con la hamburguesa a base de carne (Cena González, 2015).

Otro ejemplo es una tesis realizada por Fátima Germania Perugachi Cerna titulada “Uso del hongo comestible *Agaricus bisporus var. brunnescens* en la elaboración de una alternativa vegana tipo nugget” en este trabajo se realizaron diferentes pre tratamientos al hongo, que consisten en el primer tratamiento, utilizó un hongo con humedad del 90%, considerándose como el hongo hidratado. Para el segundo tratamiento, deshidrató al portobello en una freidora de aire por 20 minutos a 150°C, hasta que alcanzó una humedad del 45% y para el tercer tratamiento, el hongo tuvo una humedad del 15%, que fue deshidratado por 55 minutos

a 150°C. Para la elaboración del nugget la autora realizó una formulación para cada tratamiento, para el primer tratamiento fue de 64% del hongo, 28% de avena, 4% de aceite, 2% de sal y 2,2% de especias; para el segundo tratamiento fue de 75% del hongo, 18% de avena, 4% de aceite, 2% de sal y 1,7% de especias y por último fue de 73% del hongo, 13% de avena, 8% de aceite, 5% de sal y 1% de especias, y desarrolló un análisis sensorial donde demostró que el tipo nugget en el tratamiento número 2 tuvo mayor aceptabilidad por parte de los consumidores; en el análisis proximal que realizó demostró que el nugget presentó un contenido de proteínas del 10% que es menor al de un nugget de pollo que es del 13% ella refiere que eso se puede atribuir a la aplicación de altas temperaturas ya que este hongo en estado fresco presenta un mayor contenido de proteína del 10% y como conclusión en su tesis dice que el pretratamiento de los hongos no impacta en las características organolépticas de los nuggets, únicamente en el sabor de estos, permitiendo elaborar una alternativa vegana que sea aceptable para los consumidores con características que puedan parecerse a alimentos convencionales y no genere rechazo por los consumidores (Perugachi Cerna, 2024).

Un estudio realizado por Antonio Pérez Montes y compañeros titulado “Los hongos comestibles como nueva tendencia en el desarrollo de productos cárnicos más saludables” habla sobre la reducción del consumo de carne ya que se ha asociado a enfermedades crónicas como la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes tipo 2 y varios tipos de cáncer, y el desarrollo de nuevos productos cárnicos más saludables y sostenibles que ha representado un desafío para la sociedad moderna. En este contexto, los hongos surgen como una fuente prometedora de compuestos bioactivos para la industria cárnica. Los hongos poseen propiedades antimicrobianas y antioxidantes que podrían prolongar la vida útil de los productos cárnicos. También indican que la incorporación de hongos en la formulación de productos cárnicos mejora significativamente el contenido de proteínas, fibra dietética y cenizas, sin alterar considerablemente sus propiedades fisicoquímicas. Además, debido a su alto contenido de fibra, proteínas de fácil digestión y textura similar a la carne, los hongos pueden sustituir ingredientes como sal, fosfatos, proteínas y grasas. Por último, los hongos, ricos en aminoácidos libres, pueden contribuir a mejorar las propiedades sensoriales de los productos cárnicos. En tal sentido la creciente demanda de productos cárnicos más saludables y funcionales ha alentado la investigación a la búsqueda de nuevos ingredientes capaces de reducir o sustituir algunos compuestos problemáticos como la grasa, la sal, los nitritos, incluso la carne.

Mencionan que los estudios iniciales que consideran la introducción de hongos molidos mezclados *Pleurotus sajor caju* en hamburguesas de pollo y carne de res como sustitutos de la

carne con buenas propiedades funcionales (rendimiento de cocción, retención de humedad) y atributos sensoriales al 25% de reemplazo de carne; también nombran una investigación sobre la carne de pollo que fue prácticamente reemplazada por mezclas de tallos de *Pleurotus sajor caju* y harina de garbanzo en nuggets de pollo con buenos resultados en las propiedades de textura, aunque refieren que se observó un aumento significativo de la humedad. La inclusión de hongos en formulaciones de carne generalmente conduce a un aumento de humedad, pérdida de cocción, modificación del color y disminución de la dureza como se ha informado en varios estudios, independientemente del hongo agregado o su función en el producto cárnico. Mencionan que Wang Liyan et al. observaron el mismo fenómeno utilizando *Pleurotus eryngii* como sustituto de la grasa de la espalda de cerdo, o L. edodes como sustituto de la carne de cerdo en salchichas. Indicaron que la proteína y la fibra de los hongos ayudan a la retención de agua y aumentan la humedad de los productos cárnicos, lo que conduce a texturas más suaves (Pérez-Montes et al., 2020).

Otro estudio realizado por Jiwon Jang y Dong Woo Lee titulado “Avances en análogos de carne de origen vegetal que mejoran los atributos sensoriales y nutricionales” habla sobre cómo el sector ganadero, incluida la carne y los productos lácteos, tiene un impacto significativo en el medio ambiente, contribuyendo a la deforestación, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación del agua. Además, el consumo elevado de carne roja está vinculado a riesgos para la salud, como enfermedades cardiovasculares, cáncer colorrectal y diabetes tipo 2; entonces ahora en día los análogos de la carne de origen vegetal (PBMA, por sus siglas en inglés) han comenzado a ser reconocidas debido a preocupaciones ambientales, de salud y éticas, y los análogos de carne de origen vegetal han ganado atención por su potencial para proporcionar un perfil más nutritivo que la carne roja y refieren que estas alternativas tienen como objetivo replicar la textura y el sabor de las carnes animales utilizando ingredientes derivados de plantas, pero enfrentan desafíos para replicar auténticamente la carne convencional.

Los autores mencionan sobre los análogos de la carne derivados de hongos como *Fusarium venenatum* se destaca por su rico contenido proteico, fibra, así como por sus beneficios para la salud, y que la producción implica el uso de subproductos agrícolas e industriales aunque presentan obstáculos relacionados con el color, el olor y la textura en la integración de PBMA; el artículo también mencionan unas microalgas como *Chlorella* y *Spirulina* están ganando atractivo en las aplicaciones de PBMA debido a sus ricos perfiles de nutrientes y propiedades funcionales (Jang & Lee, 2024).

Un artículo realizado por Umesh Singh y compañeros titulado “Hongos comestibles: un nuevo ingrediente sostenible para los análogos de la carne” en este artículo hablan sobre cómo el consumo de carne ha aumentado debido al crecimiento acelerado de la población y está generando impactos negativos al medio ambiente, problemas de salud y preocupaciones sobre el bienestar animal. Ante esto, se ha buscado una alternativa para sustituir la carne y así resolver estos problemas que son los hongos comestibles que no solo ayudan al medio ambiente sino que también traen beneficios para la salud ya que son conocidos por sus compuestos nutraceuticos, compuestos fenólicos, antioxidantes, proteínas entre otros entre los beneficios que aportan; los autores refieren que ahora en día ya la gente acepta alimentos procesados y análogos de carne a base de hongos como alimentos y suplementos alimenticios ya que presentan una textura masticable y el sabor a carne de los hongos, en comparación con las hamburguesas de carne, los análogos de la carne proporcionan menos energía, menos grasas saturadas, menos sodio, cero colesterol y una rica fuente de fibra, lo que constituye un enfoque dietético nutritivo; los hongos son ricos en ácido glutámico, ácido aspártico y ribonucleótidos, que aportan un sabor umami característico y se asocian con un sabor salado, caldoso, rico o carnoso.

La producción de análogos de carne a base de hongos aún se encuentra en una etapa de desarrollo y las revisiones pertinentes son escasas y se utilizan técnicas como la extrusión, impresión 3D que permiten que se obtengan texturas similares a la carne y también mejoran las características nutricionales, sensoriales y propiedades fisicoquímicas. Los autores informaron que los hongos pueden sustituir totalmente a la carne o añadirse como extensores para desarrollar análogos de carne más saludables debido a su idoneidad con las carnes, su sabor umami y sus características inherentes similares a las de la carne. Sobre la percepción de los consumidores juega un papel importante porque se ve influenciada por las preferencias personales, los beneficios sobre la salud que brindan, edad, precio entre otros; hablaron sobre estudio que se realizó en tres países (Estados Unidos, China e India) y demostraron que el atractivo, el desagrado mínimo y la emoción fueron los principales indicadores confiables de la compra de sustitutos de la carne en los Estados Unidos, mientras que la salud general, la sostenibilidad, el atractivo y el sabor fueron los principales factores predictivos en China; pero en cambio, la salubridad, la sostenibilidad, la necesidad y la emoción han sido predictores significativos del comportamiento de compra de análogos de la carne en la India.

Por último los autores concluyen que los hongos se pueden utilizar como alternativas sostenibles a la carne para formular alimentos funcionales; y que la necesidad de alternativas a la carne está creciendo debido al aumento del veganismo, la salud, el medio ambiente y los

factores climáticos. Por lo tanto, el uso de hongos para satisfacer esta demanda podría servir como una solución inteligente, ya que son fáciles de cultivar, tienen un alto valor nutricional (vitaminas, minerales, proteínas, etc.) y un bajo contenido de grasas y calorías, y se pueden cultivar de forma más sostenible (U. Singh et al., 2023).

No solo se encuentran artículos relacionados sobre este tema sino que también hay noticias donde se ve como los hongos comestibles se han comenzado a implementar como una alternativa para sustituto de la carne un ejemplo de esto es una noticia titulada “ Los ingenieros de UC Davis luchan contra la inseguridad alimentaria mediante la agricultura sostenible” donde cuentan que dos investigadores de la Universidad de California, Davis están afrontando el desafío y encontrando nuevas formas de producir alimentos de manera sustentable, al tiempo que conservan los recursos mediante el uso de microbios para producir nuevas fuentes de proteínas, gestionar y regar los cultivos con gran precisión, la profesora Ruihong Zhang afirma que una forma de producir alimentos de forma más sostenible es aprovechando el enorme potencial de microbios como los hongos y las algas, los cuales pueden ser cultivados subproductos agrícolas, realizó junto con sus estudiantes un estudio del hongo *Asperigullus awamori*, un hongo comestible que se utiliza en la industria alimentaria para la fermentación, y la microalga *Chlorella sorokiniana*, que se puede cultivar rápidamente con o sin luz solar, y esperan extraer el alto nivel de nutrientes de ambos microbios para una fuente de alimentos sostenible. Estos microbios contienen entre un 20 y un 60 por ciento de proteínas y proporcionan todos los aminoácidos esenciales, junto con lípidos beneficiosos, fibras dietéticas y vitaminas que los hacen saludables y de fácil digestión (Pflueger-Peters & Ditterich, 2020).

Estos trabajos realizados demuestran que los hongos comestibles pueden ser usados como sustituto de la carne de origen animal, aportando beneficios a la salud humana, ya que contienen buena fuente de carbohidratos, proteínas, vitaminas, este contenido depende de la forma que se vaya a preparar el hongo y la cepa que se utilice, además de presentar que tienen una buena aceptación por parte de los consumidores haciendo que las personas conozcan más sobre esta alternativa para que se implemente en la vida cotidiana.

#### **6.4 Salud humana a partir de los hongos**

Los hongos comestibles han sido reconocidos por sus propiedades nutricionales y por su alto contenido de proteína, así mismo los hongos tienen más de 100 actividades terapéuticas, siendo los usos medicinales principales ricos en antiparasitarios, antibacterianos, antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antitumorales, anticoagulantes, citotóxicos,

hipolipidémicos, antitrombóticos, hipocolesterolémicos, anti-VIH, antidiabéticos y hepatoprotectores, contribuyendo positivamente en la salud humana como por ejemplo el hongo *Pleurotus ostreatus* es alto en vitaminas, aminoácidos y minerales y juegan un papel importante en los procesos de desintoxicación humana. Investigaciones recientes han demostrado su función fundamental en la reducción de los niveles de colesterol en sangre, hay otras clases de hongos que también presentan beneficios para la salud como soporte inmune, ayudan para la depresión y ansiedad, con la salud del corazón, con el hígado, ayudan a los pulmones, son anticancerígenos; . Los compuestos polifenólicos presentes en los hongos tienen importantes capacidades antioxidantes que les permiten neutralizar los radicales libres dañinos, reducir el estrés oxidativo y tener efectos antiinflamatorios si las personas incluyen hongos ricos en selenio en sus dietas pueden fortalecer sus defensas antioxidantes, apoyar la función inmunológica y mejorar la salud celular (Hamza et al., 2024).

Ante las nuevas tendencias de los consumidores conscientes y preocupados de su salud se ha llevado al uso de alimentos funcionales y medicina complementaria o alternativa. Según el Centro Nacional de Estadísticas de Salud, el uso de productos naturales para tratar enfermedades aumentó entre los pacientes en Estados Unidos. Algunos pacientes han estado usando cápsulas o preparaciones de hongos para complementar el tratamiento del cáncer. Los científicos han observado que a partir de los hongos se ha obtenido una gran variedad de moléculas activas, y sus polisacáridos han sido objeto de intensas investigaciones, habida cuenta de su alto potencial de aplicación en diferentes sectores. Los investigadores han observado que los homo y heteropolisacáridos de ascomicetos y basidiomicetos mostraron actividades biológicas como efectos antitumorales, inmunomoduladores, antiinflamatorios, antinociceptivos, antivirales, antioxidantes, hipoglucemiantes y hepatoprotectores (Ruthes et al., 2016). A continuación se muestra detalladamente qué beneficios tiene los hongos para la salud humana de los 8 hongos comestibles más comunes anteriormente mencionados.

1. *Lentinula edodes* (shiitake): Es uno de los hongos más conocidos y caracterizados utilizados con fines medicinales ya que se ha evidenciado que tiene efecto antitumoral , antioxidante, antiviral, antibacteriano y bajo contenido de colesterol (Desisa et al., 2024). *L. edodes* se ha utilizado durante mucho tiempo como un ingrediente importante de la medicina popular oriental para el tratamiento de varias enfermedades y trastornos, como la gripe, los tumores, la hipertensión arterial, los trastornos cardiovasculares, la obesidad, la disfunción sexual, el envejecimiento, las enfermedades respiratorias, la

diabetes; *L. edodes* contiene numerosos biocomponentes que poseen potencia farmacológica contra diversos trastornos y el cáncer (Ponnusamy et al., 2022).

2. *Auricularia auricula*: Cuenta con propiedades medicinales, como: antibacteriana, antiviral, antioxidante para prevenir daños oxidativos inducidos por radicales libres, antiinflamatoria, inmunomoduladora, antitumoral, cardioprotectora, anticoagulante, antiplaquetaria y efectos anticancerígenos. propiedades medicinales están: antibacteriana, antiviral, antioxidante, antiinflamatorio, inmunomodulador, antitumoral, cardioprotector, hipoglicémico, anticoagulante, antiplaquetaria y efectos anticancerígenos (Román Mata., 2023). También equilibra los niveles de glucosa y lípidos en sangre para aliviar la diabetes, la hiperlipidemia y la obesidad; estimula los macrófagos y las citocinas inflamatorias para prevenir la inflamación; exhibe propiedades anticancerígenas al estimular la apoptosis celular y previene la disbiosis microbiana intestinal al estimular el crecimiento de la microbiota intestinal saludable (Islam et al., 2021).
3. *Pleurotus ostreatus*: Se ha informado que tiene actividades antidiabéticas, antibacterianas, antiolestrólicas, antiartríticas, antioxidantes, anticancerígenas, para la salud ocular y antivirales; Los oligoelementos son esenciales para la salud humana y tienen un efecto fisiológico importante sobre diferentes órganos y mecanismos celulares. Los cuerpos fructíferos de los hongos son ricos en vitaminas, principalmente vitamina B1, vitamina B2, vitamina C y vitamina D2 (Deepalakshmi & Sankaran, 2014). Este hongo es el mejor ejemplo de hongos dietéticos que tiene grandes propiedades medicinales y potencial farmacológico; como es bajo en colesterol, calorías y grasas tiene propiedades Antihipercolesterolémico (Lesa et al., 2022).
4. *Flammulina velutipes*: *F. Velutipes* exhibe múltiples actividades farmacológicas, incluidas propiedades antitumorales, reductoras del colesterol, antioxidantes e inmunomoduladoras (Fukushima-Sakuno, 2020). También se ha informado que tanto los cuerpos fructíferos como los micelios fúngicos de *F. velutipes* contienen polisacáridos bioactivos con actividad biológica beneficiosa sobre los hepatocitos (Yan et al., 2014). En un estudio realizado se evaluó el estado de la piel en mujeres adultas sanas al consumir este hongo durante 4 semanas y demostró que el *F. Velutipes* Oki-Shirayuki 919 qué es

el que contiene más glucosilceramida que las variedades existentes aumentó la hidratación de la piel en el grupo de prueba (Nagae et al., 2023).

5. *Agaricus bisporus*: Tiene propiedades anticancerígenas, antioxidantes, antiobesidad y antiinflamatorias. Los compuestos bioactivos extraídos de este hongo se pueden utilizar para el tratamiento de varias enfermedades humanas comunes, como el cáncer, las infecciones bacterianas y fúngicas, la diabetes, los trastornos cardíacos y los problemas de la piel; Por lo tanto, el consumo de *A. bisporus* hace que el cuerpo humano sea más resistente a varias enfermedades, ya que estimula el funcionamiento inmunológico del cuerpo. Diversos estudios han confirmado las actividades antidiabéticas de *A. bisporus* posee niveles significativos de antioxidantes como vitamina C, D y B12, así como polifenoles, folatos y fibras dietéticas, que tienen efectos inhibidores contra la diabetes y los trastornos cardiovasculares; aislaron una variedad de compuestos bioactivos de *A. bisporus* que tienen el potencial de defender al cuerpo contra la diabetes tipo 2 (Usman et al., 2021).
  
6. *Pleurotus eryngii*: Estos hongos son valorados por su sabor deseable, bajo contenido de grasa y aplicaciones medicinales tradicionales chinas, que resultan en un alto valor comercial, siendo rico en sustancias biológicamente activas, como polisacáridos, fibra dietética, lípidos, péptidos y esteroides, a lo que se le otorga una variedad de actividades farmacológicas. Uno de los componentes más estudiados de este hongo son los polisacáridos; Numerosos estudios han demostrado que estos polisacáridos tienen múltiples funciones promotoras de la salud, como antioxidante, antitumoral, mejora de la inmunidad, hepatoprotección y antihiperlipidemia. La extracción eficiente de polisacárido y la exploración de sus propiedades estructurales y actividad biológica es objeto de creciente interés de investigación, lo que busca facilitar su aplicación en las industrias farmacéutica y de alimentos funcionales (Qiu et al., 2024). Los polisacáridos de hongos están presentes principalmente como glucanos lineales y ramificados con diferentes tipos de enlaces glucosídicos, como (1,3-1,6)- $\beta$ -glucanos y (1-3)- $\alpha$ -glucanos, pero algunos son verdaderos heteroglicanos que contienen ácido glucurónico, xilosa, galactosa, manosa, arabinosa o ribosa (Petraglia et al., 2023), en cuanto a alimentos funcionales presenta un alto contenido de compuestos bioactivos, como ergosterol, beta-glucano y ergotioneína [11,12]. Además, son una buena fuente de vitamina D2, que se produce por la conversión de ergosterol a ergocalciferol después de la exposición a la

luz UV. Como resultado, *P. eryngii* exhibe una variedad de actividades farmacológicas y un valor nutricional importante (Kleftaki et al., 2022).

7. *Agrocybe aegerita*: Tiene propiedades anticancerígenas, beneficios estéticos, capacidad antidiarreica, fortificación del bazo y efectos diuréticos (Li et al., 2024). Además *A. aegerita* posee excelentes actividades biológicas que son beneficiosas para la salud humana, como la antioxidación, el antienvejecimiento y la mejora de la inmunidad (Yang et al., 2024); también es conocido por poseer propiedades antifúngicas y antitumorales, contiene varios metabolitos bioactivos como los derivados del indol con capacidad de eliminar radicales libres (Diyabalanage et al., 2007). A mediados de la década de 1950, Harman publicó una “Teoría de los radicales libres del envejecimiento”, en la que especulaba que los radicales de oxígeno endógenos se generaban en las células y daban lugar a un patrón de daño acumulativo. Cuando el suministro de antioxidantes era insuficiente, especulaba Harman, el daño celular resultante desencadenaba una cascada de acontecimientos que conducían al desarrollo de enfermedades y a la muerte, generando un estrés oxidativo causado por un metabolismo desequilibrado y un exceso de especies reactivas de oxígeno (ROS) termina en una serie de trastornos, es decir, enfermedades metabólicas, enfermedades cardíacas, trastornos neuronales graves como el Alzheimer y el Parkinson, envejecimiento prematuro y algunos tipos de cáncer. Las ROS no sólo se generan internamente, en el organismo, sino también a través de diversas fuentes externas como la luz ultravioleta, la radiación ionizante, los quimioterapéuticos, las citocinas inflamatorias y las toxinas ambientales (Kozarski et al., 2015), por otra parte este hongo también presenta polisacáridos con propiedades hipoglucémicas (Diyabalanage et al., 2007)
8. *Volvariella volvacea*: Los principales componentes funcionales purificados de *Volvariella volvacea* incluyen proteínas, polisacáridos y varios aminoácidos. Tiene efectos de reducción del colesterol, inmunomodulación, antitumoral, antioxidante (Q. Wang et al., 2024). Presentan un alto contenido de vitamina C de 200 mg por 100 g en su estado fresco. Adicionalmente de su alto valor nutricional, se ha descubierto que este hongo contiene una variedad de compuestos bioactivos que exhiben efectos positivos para la salud. Estos incluyen propiedades inmunorreguladoras, capacidades de eliminación contra especies reactivas de oxígeno y funciones antienvejecimiento (Wang et al., 2023). Además de ser fácil de cultivar y ser rico en proteínas es una fuente de péptidos de alta

calidad, sino que también su sabor único es muy apreciado por los consumidores. Estudios previos han demostrado que las proteínas de los hongos comestibles pueden liberar péptidos cortos y aminoácidos libres con diversos sabores después de la hidrólisis enzimática. Estos componentes desempeñan un papel importante en la mejora del gusto y el sabor de los alimentos (Jiang et al., 2024).

Los diferentes contenidos bioactivos que presentan los hongos comestibles que anteriormente fueron mencionados en el apartado 6.1.3 son los que ayudan a mejorar la salud humana. Pero como todo en la vida tiene un balance, los hongos comestibles también presentan propiedades negativas, como por ejemplo, en un estudio realizado “Niveles de formaldehído y niveles de riesgo para la salud relacionados con la exposición al formaldehído en hongos comestibles cultivados en China” con el objetivo investigar la prevalencia de formaldehído producido naturalmente en hongos comestibles cultivados en China y los riesgos para la salud relacionados con la exposición al formaldehído de los hongos; Según la evaluación de riesgos a través de la exposición por inhalación, el formaldehído es cancerígeno y alergénico y puede provocar enfermedades relacionadas con el hígado o neuropatía óptica tóxica grave. Además, la exposición al formaldehído también puede provenir de la fumigación, que es un método popular de desinfección de salas de cultivo de hongos en la China rural (Gong et al., 2021), o la ingesta de productos agrícolas. Por lo tanto, los niveles de formaldehído en hongos comestibles han atraído una atención significativa.

Analizaron en 2000 muestras de hongos comestibles, incluidos *Lentinus edodes*, *Auricularia*, *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus*, *Flammulina velutipes* y *Tremella fuciformis*; Este estudio confirmó la prevalencia de formaldehído NP en hongos comestibles. Durante el crecimiento del hongo, dependiendo de las variedades, métodos de cultivo y períodos de maduración. La producción de NP-formaldehído es promovida por la  $\gamma$ -glutamyl transpeptidasa ( $\gamma$ -GGT) y las CS liasas. Por lo tanto, inhibir la actividad de las enzimas reduce el nivel de formaldehído en *L. edodes*; tanto la prevalencia como los niveles de formaldehído NP en *A. bisporus*, *Auricularia* y *P. ostreatus* fueron significativamente menores que los de *L. edodes*. Por lo tanto, son los niveles permitidos de formaldehído informado por AFSSA (Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria de los Alimentos), *A. bisporus*, *Auricularia* y *P. ostreatus* son seguros para los consumidores. y como conclusión del estudio se determinó que los resultados de la evaluación puntual y de la evaluación de probabilidad indicaron que no había riesgo de exposición al formaldehído por el consumo de hongos comestibles chinos (Shao et al., 2023).

Gracias a los estudios e investigaciones que han sido realizados los hongos comestibles en la actualidad han sido mayormente conocidos por los beneficios que aporta a la salud humana y medio ambiente; a pesar de que en la actualidad son más reconocidos continúan presentando barreras culturales, educativas y de percepción que no permite una completa integración en la alimentación humana.

Los hongos como *pleurotus ostreatus*, *lentinula edodes (shiitake)* y *agaricus bisporus* entre las más mencionadas presentan una larga lista de propiedades beneficiosas para la salud, mientras *volvariella volvacea*, *agrocyste aegerita* y *agaricus bisporus* presentan los mayores niveles de proteína (aproximadamente entre 25,40 - 29%) también aportando beneficios a la salud y a la nutrición

Un aspecto en el cual se debe prever son los formaldehidos el cual es cancerígeno y es capaz de generar enfermedades en el hígado, por lo cual se debe de manejar los estándares de calidad garantizando un cultivo seguro con las condiciones necesarias adecuadas y de manera responsable para no perjudicar la salud humana.

## 6.5 Limitaciones de los hongos comestibles

Una de las limitaciones que se enfrenta Colombia es la aceptabilidad del consumo de hongos a nivel cultural; un estudio realizado en el municipio de villapinzón; cundinamarca, donde se buscaba hallar una alternativa que ayudar a las personas del municipio a superar la pobreza (Vargas et al., 2019).

En diciembre de 2013, la Alcaldía de Villapinzón, la Asociación de Mujeres de Villapinzón (AVM), la Escuela de Gobierno, la Escuela de Administración y el Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de los Andes acordaron iniciar un programa piloto para la producción de *Pleurotus ostreatus*; en donde se les explicó las propiedades nutricionales de los hongos ostra como una alternativa para complementar la ausencia de proteína de origen cárnico (Vargas et al., 2019).

La percepción general sobre el proceso de producción fue positiva y las mujeres coincidieron en que era una opción prometedora para la nutrición diaria de sus familias. Progresivamente, comenzaron a consumir los hongos en sopas cremosas, a la plancha con mantequilla y ajo, con pechugas de pollo y cocidos en sopas y espaguetis. Las mujeres percibieron que los hongos tienen sabor a pollo y que son más difíciles de masticar que los champiñones normales. A pesar de que los hongos no se consumen regularmente en la zona, la nueva información que ofrecimos a las mujeres rurales abordó los aspectos técnicos del cultivo, la biología de los hongos y sus propiedades promotoras de la salud. Estos han sido pasos

esenciales para establecer una gestión sostenible de una fuente de alimentación diaria e ingresos (Vargas et al., 2019).

Ante lo anterior se puede evidenciar que fue una actividad que brindó concientización y una alternativa sustentable en la que se puede generar ingresos de manera diferente, promoviendo el consumo de hongos comestibles como una opción con un buen valor nutricional además de que se educó y concientizó sobre el proceso de cultivo, producción y los beneficios que brinda este producto; aunque fue un efecto positivo por lo anterior mencionado para la comunidad se presenta una limitación en la cuál es necesario fomentar a nivel educativo mediante diferentes estrategias como explicar los beneficios nutricionales de salud y recetas que se pueden realizar con estos en la vida cotidiana para generar el hábito progresivo de consumo de este tipo de hongos.

El programa se realizó en la comunidad de villapinzón, de la cual se puede tomar como ejemplo para hablar y educar en zonas de Colombia sobre esta alternativa de alimento funcional, debido a que es un país que tiene como dieta principalmente el consumo de carnes y que no está concientizada en otras alternativas; Colombia cuenta con temperaturas moderadas y de alta humedad, en el cual se puede cultivar *pleurotus ostreatus* y *lentinula edodes* donde el contenido proteico es un valor intermedio entre los otros hongos (20-23%) en donde se puede usar sustratos locales como el bagazo de caña, aserrín, residuos de café.

## 6.6 Antecedentes Investigativos

A continuación se presenta la tabla 1 donde se presentan algunas investigaciones que se han realizado sobre los hongos y sus beneficios.

**Tabla 1.** Antecedentes investigativos

| Autor(es)<br>y año           | Objetivo                                                                                                                                | Metodología                                                                                                                                                                                               | Conclusiones                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P. Thornton<br>et al. (2023) | Los beneficios y compensaciones de fuentes alternativas de proteínas para la alimentación humana y los animales terrestres y acuáticos. | Menciona las distintas alternativas de consumo de proteína otra que no sea la carne animal como lo son los insectos la micro y macro alga, intentando buscar una eficiencia en la producción y suplemento | La incorporación de fuentes alternativas trae beneficios por ejemplo para el ganado puede mejorar el crecimiento y la calidad en la carne; |

|                       |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |                                                                                                                                                              | de alimento debido al crecimiento de la población no habrá suficiente carne para alimentar a todas la personas se busca cambiar la dieta, con proteínas alternativas                                                                | en los humanos favorece la salud digestiva                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Hamza et al. (2024)   | El objetivo es resumir la información más reciente sobre los aspectos beneficiosos para la salud y el desarrollo de productos alimenticios a base de hongos. | Mostrar los diferentes tipos de hongos comestibles que se manejan en la industria y su uso en la medicina, además de como los residuos de cáscara se pueden utilizar para la obtención de un mayor rendimiento a nivel nutricional. | Los hongos tienen un enorme potencial en una amplia gama de aplicaciones, particularmente en productos terapéuticos y alimenticios. La producción de hongos en grandes cantidades ha sido posible gracias al cultivo sumergido y en sustrato sólido. La abundancia de metabolitos primarios y secundarios en los hongos contribuye a sus cualidades terapéuticas. |
| Heidari et al. (2024) | El estudio se realizó con el objetivo de                                                                                                                     | En el estudio, el crecimiento de P.                                                                                                                                                                                                 | Se demostró que P. ostreatus podría                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                           |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | <p>evaluar las condiciones óptimas de fermentación, además de comparar la muestra de harina fermentada con una que no estaba fermentada en cuanto a cantidad de proteína, glucosinolatos, sinapina y fitato</p> | <p>Ostreatus resultó en un enriquecimiento de proteínas en muestras de harina de canola. La capacidad de <i>P. ostreatus</i> para crecer sobre materiales lignocelulósicos y enriquecer su contenido proteico.</p> | <p>convertir la harina de canola en un alimento de alto valor para animales monogástricos. Sugirieron realizar estudios in vivo adicionales para evaluar los beneficios, potenciales y la viabilidad de implementar este enfoque para mejorar la calidad del alimento de la harina de canola.</p>                      |
| Brain-Isasi et al. (2021) | <p>La investigación tuvo como objetivo estudiar la sacarificación y fermentación de biomasa de macroalgas verdes por un hongo celulolítico para proporcionar un producto con valor agregado nutricional.</p>    | <p>En el estudio se tuvo en cuenta el nivel proteico que puede brindar el hongo procedente del alga, obteniendo una mejor composición de aminoácidos en comparación con las proteínas de origen vegetal.</p>       | <p>La fermentación sumergida de <i>Ulva rigida</i> mejoró el valor nutricional de las algas y aumentó la digestibilidad de las proteínas en comparación con el alga cruda, permitiendo el uso de este producto de fermentación en las industrias de alimentos. La <i>Ulva rigida</i> fermentada contenía todos los</p> |

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                             | aminoácidos esenciales podría ser de particular interés para producir alimentos para la pesca y la acuicultura.                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Márquez Oyervides, H., Terán Hernández, M., & Algara Siller, M. (2022). | Analizar el impacto ambiental derivado del consumo de carnes de la comunidad universitaria, con el fin de evidenciar y concientizar sobre las consecuencias ecológicas de los hábitos alimenticios, promoviendo prácticas sostenibles | El estudio realizó encuestas a estudiantes, docentes y personal administrativo de la universidad, donde recopilaron datos sobre la frecuencia y tipo de consumo de carne, así como el nivel de conocimiento del impacto ambiental generado. | Se observa como existe una alta frecuencia en el consumo de carne entre los miembros de la comunidad universitaria resaltando una preferencia por la carne de res y pollo, evaluando el conocimiento sobre el impacto ambiental que llega a producir el consumo de carne es limitado recomendando implementar concientización sobre las alternativas alimentarias sostenibles. |
| M. Wang y                                                               | Informar sobre las                                                                                                                                                                                                                    | Esta alternativa se evaluó                                                                                                                                                                                                                  | Buscan en un futuro                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|             |                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                           |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zhao (2023) | ventajas que ofrece el cultivo de hongos comestibles ante el aumento de consumo de carne y como al sustituirlo con hongos genera beneficios a nivel de cultivo debido a que no se necesita tanto espacio para producirlos. | desde 4 perspectivas, nutrientes, ingredientes activos, alérgenos, y el sabor, comparando las ventajas de los hongos frente a la carne y los vegetales. | lograr e industrializar la producción de hongos, así como lo ha hecho desde algún tiempo China, observando un prometedor futuro para la producción y el consumo de estos. |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Del anterior cuadro se puede analizar la relevancia de las fuentes de proteínas alternativas, observándose el aumento de investigaciones que buscan generar beneficios a la salud y medio ambiente por medio de fuentes alternativas de proteína, como lo son los hongos comestibles, insectos, algas y harinas fermentadas.

Se busca generar beneficios nutricionales y funcionales a las proteínas alternativas logrando una mejor calidad y valor agregado en los alimentos, como es el caso de Heidari et al. (2024) en donde se buscaba generar la optimización de una harina por medio de *P. ostreatus* y en el artículo de Brain-Isasi et al. (2021) donde se realizó un estudio en cómo mejorar el cultivo de macroalgas para brindar un valor agregado nutricional .

los autores M. Wang y Zhao (2023) recalcan el papel que cumplen las proteínas alternativas, como es el caso de hongos comestibles al resaltar que se requiere menos recursos y espacio para reproducirse en comparación con la ganadería, apoyando esta idea a nivel ambiental se encuentran los autores Márquez Oyervides, H., Terán Hernández, M., & Algara Siller, M. (2022) que realizaron un estudio en la universidad autónoma de san luis potosí (UASLP) en donde evidencian la dieta arraigada culturalmente sobre el consumo de carnes y cómo estas afectan a la sostenibilidad ambiental y buscan alternativas como el disminuir el consumo de carne para así mismo disminuir las emisiones contaminantes al ambiente.

Con los diferentes puntos de vista anteriores se logra observar una perspectiva hacia el futuro en donde la creciente demanda de estos productos, lo que logra impulsar la investigación

y desarrollar metodologías para la optimización de procesos de producción y aceptación en el mercado.

### **6.7 Aplicación real**

En la tabla 2 se mostrará un cuadro con algunas empresas donde ya están aplicando la comercialización de productos con hongo.

**Tabla 2.** Empresas en la aplicación de hongos comestibles

| Empresa       | Logo                                                                                                                                         | Productos                                                                                   | Precios                         | Hongo                                | Técnica de fermentación | Claim                                                                                  | Enlace                                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Quorn™        | <br>(Quorn, s. f.)                                          | Nuggets, carne para hamburguesas, albóndigas, y otros productos vegetarianos                | Productos desde £1,95           | <i>Fusarium venenatum</i>            | Fermentación sumergida  | Fuente de proteína son carne, alta en fibra ofreciendo un bajo impacto ambiental       | <a href="https://www.quorn.co.uk/">https://www.quorn.co.uk/</a>         |
| Nature's fynd | <br>(Nature's Fynd, s. f.)                                  | Yogurt de vainilla, melocotón y fresa, además de tener pasteles que no contiene carne       | No especifican precios          | <i>Fusarium strain flavolapis</i>    | Fermentación sólida     | Proteína alternativa sostenible, libre de emisiones                                    | <a href="https://www.naturesfynd.com/">https://www.naturesfynd.com/</a> |
| Ecovative     | <br><b>ecovative</b><br>(We Grow Better Materials, s. f.) | Producto tipo tocino, materiales textiles, empaque sostenible, materiales para construcción | Varía según el tipo de producto | Usan el micelio de diferentes hongos | Fermentación sólida     | Sustitución ecología de diferentes materiales como el plástico y el cuero convencional | <a href="https://ecovative.com/">https://ecovative.com/</a>             |

|               |                                                                                                                     |                                                                          |                              |                             |                     |                                                                    |                                                                                     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Myforest food | <br><i>(MyFOREST FOODS, s. f.)</i> | Ofrece un producto tipo tocineta                                         | \$ 10,39                     | Micelio de hongos           | Fermentación sólida | Alternativa de la tocineta vegane, rica en proteínas               | <a href="https://myforestfoods.com/home">https://myforestfoods.com/home</a>         |
| Better Nature | <br><i>(Better Nature, s. f.)</i>  | Productos a base de tempeh en diferentes sabores, como bbq, mediterraneo | La página no incluye precios | <i>Rhizopus oligosporus</i> | Fermentación sólida | Tempeh rico en nutrientes y fácil de cocinar en diferentes sabores | <a href="https://www.betternaturetempeh.co/">https://www.betternaturetempeh.co/</a> |
| Contempehrary | <hr/> <b>CONTEMPEHRARY</b> <hr/> <i>(CONTEMPEHRARY I Nordisk Tempeh, s. f.)</i>                                     | Productos a base de tempeh modernos, con legumbres nórdicas              | La página no incluye precios | <i>Rhizopus oligosporus</i> | Fermentación sólida | Productos tempeh innovadores con gran sabor                        | <a href="https://contempehrary.com/">https://contempehrary.com/</a>                 |
| Libre foods   | <br><i>(Libre Foods  </i>        | Jamón y otros tipos de embutidos veganos                                 | La página no incluye precios | Micelio varios hongos       | Fermentación sólida | Sustitutos cárnicos veganos realistas y sostenibles                | <a href="https://www.librefoods.co/">https://www.librefoods.co/</a>                 |

|       |                                                                                                       |                                                                                       |                              |                       |                                                             |                                                     |                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|       | <i>Reinventing Food<br/>With Fungi</i> , s. f.)                                                       |                                                                                       |                              |                       |                                                             |                                                     |                                                   |
| Milow | <br>(Milow AB, 2023) | Desde dulces hasta salados, incluyendo alternativas a la carne (Awasthi et al., 2022) | La página no incluye precios | Micelio de los hongos | Fermentación sólida requiere menos agua, energía y espacio. | Proteína alternativa sostenible, libre de emisiones | <a href="https://milow.co/">https://milow.co/</a> |

En la actualidad, la industria de productos generados con proteínas alternativas como lo son los hongos comestibles es capaz de reflejar las tendencias en las que se está adaptando la sociedad, entre ellas se encuentra la constante búsqueda de alternativas sostenibles a las proteínas de animales, que en comparación brindan un menor impacto ambiental además de que es un producto de crecimiento rápido, genera menor consumo de agua y tierra y promueve la economía circular debido al uso de residuos agrícolas como sustrato; generando la producción de diferentes alimentos en base principalmente de micelio y tempeh, que logra satisfacer la creciente demanda de alimentos saludables y de bajo impacto ambiental; lográndose ajustar a los cambios de dietas que presentan diferentes consumidores como lo son el vegetarianismo, veganismo o flexitarianismo, estas dietas son impulsadas por diferentes razones, entre ellas razones éticas y ambientales, brindando un producto con alto valor nutricional con una textura similar a la carne.

Sin embargo, este tipo de productos enfrentan desafíos significativos, como lo es la costumbre y la aceptación ante el consumo de proteínas diferentes a la animal, debido a que en muchas culturas es considerado el consumo de carne un elemento principal en las dietas del día a día; teniendo así poco conocimiento sobre otras alternativas alimenticias que logran brindar beneficios en la salud y en conjunto con otros alimentos vegetales generan un alimento rico en proteína y nutrientes; además de la aceptación para la producción masiva de hongos comestibles se debe realizar una inversión de alto costo en un cultivo climatizado, en donde se debe de tener un control de la humedad y la temperatura para evitar la contaminación de microorganismos ajenos al hongo.

En un futuro se esperaría que el consumo de este alternativa alimentaria crezca debido a la innovación tecnológica, el reconocimiento del consumidor sobre los beneficios ambientales, nutricionales y a la salud que brinda este tipo de productos derivados de los hongos en diferentes categorías alimentarias, como lo son lácteos, carnes alternativas y alimentos funcionales.

## 7. Conclusiones

A partir del análisis bibliométrico realizado, se concluye que los hongos son una alternativa nutricional y ambientalmente sostenible frente a otras fuentes tradicionales de proteína animal; Especies como *pleurotus ostreatus*, *lentinula edodes* (*shiitake*), *agaricus bisporus*, *volvariella volvacea* y *agrocybe aegerita* han demostrado un alto contenido proteico (entre 25,40% y 29%), lo que las posiciona como opciones viables al compararse con carnes y legumbres hasta logrando ser superior a ellas. Esta clasificación permitió identificar cuales son los hongos con mayor potencial proteico.

Además de su valor proteico se logró evidenciar que los hongos aportan compuestos bioactivos con beneficios para la salud humana, como la mejora del sistema inmunológico, la regulación del colesterol y la glucosa, así como propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

Desde el punto de vista industrial y comercial, los hongos comestibles están siendo cada vez más utilizados en el desarrollo de productos alimentarios, especialmente en la formulación de alimentos veganos, como lo están realizando países europeos; en Colombia, su producción es factible, sin embargo, enfrenta retos relacionados con la aceptación del consumidor y el acceso a tecnologías de cultivo especializadas.

Por último, el uso de residuos agroindustriales como sustrato en el cultivo de hongos, no solo logra optimizar recursos, sino que también reduce la huella de carbono y promueve prácticas de economía circular. Esto refuerza la relevancia ambiental de los hongos comestibles y su potencial dentro de un sistema alimentario más sostenible y eficiente, alineándose con la creciente demanda de alimentos sustentables y ecológicos.

## 8. Bibliografía

- Acosta Urdapilleta, M. L. (2020). *Determinación de la actividad antioxidante y contenido de proteína de cuerpos fructíferos de cinco especies de pleurotus cultivadas sobre paja de trigo* [Tesis para obtener el grado de doctora en ciencias biológicas, Universidad autónoma de Tlaxcala]. [https://repositorio.uatx.mx:8443/handle/DSyTI\\_UATx/326](https://repositorio.uatx.mx:8443/handle/DSyTI_UATx/326)
- Ali, S. B., & Smith, W. (2024). Agaricus bisporus mushroom anaphylaxis: A case report and review of the literature. *Journal Of Allergy And Clinical Immunology Global*, 100324. <https://doi.org/10.1016/j.jacig.2024.100324>
- Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (2021). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops: Volume 8: Bulbs, Roots and Tubers*. Springer Nature.
- Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (2021). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. En *Springer eBooks* (Vol. 10). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2>
- Assemie, A., & Abaya, G. (2022). The Effect of Edible Mushroom on Health and Their Biochemistry. *International Journal Of Microbiology*, 2022, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2022/8744788>
- Atila, F., Owaid, M. N., & Shariati, M. A. (2017). THE NUTRITIONAL AND MEDICAL BENEFITS OF AGARICUS BISPORUS: a REVIEW. *Journal Of Microbiology Biotechnology And Food Sciences*, 7(3), 281-286. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017/18.7.3.281-286>
- Awasthi, M. K., Kumar, V., Hellwig, C., Wikandari, R., Harirchi, S., Sar, T., Wainaina, S., Sindhu, R., Binod, P., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2022). Filamentous fungi for sustainable vegan food production systems within a circular economy: Present status and future prospects. *Food Research International*, 164, 112318. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112318>
- Ayimbila, F., & Keawsompong, S. (2023). Nutritional Quality and Biological Application of Mushroom Protein as a Novel Protein Alternative. *Current Nutrition Reports*, 12(2), 290-307. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00468-x>
- Banerjee, D. K., Das, A. K., Banerjee, R., Pateiro, M., Nanda, P. K., Gadekar, Y. P., Biswas, S., McClements, D. J., & Lorenzo, J. M. (2020). Application of Enoki Mushroom (*Flammulina Velutipes*) Stem Wastes as Functional Ingredients in Goat Meat Nuggets. *Foods*, 9(4), 432. <https://doi.org/10.3390/foods9040432>

- Beltran Yde, J. P. (2023). *Evaluación del cultivo de volvariella bombycina sobre sustratos agroforestales y agroindustriales* [Tesis profesional, Universidad autónoma del estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/4053>
- Better Nature. (s. f.). *Better Nature Tempeh: High in protein, All-Natural & Delicious*. <https://www.betternaturetempeh.co/>
- Biswas, M. K. (2014). Cultivation of Paddy straw Mushrooms (*Volvariella volvacea*) in the Lateritic Zone of West Bengal-A Healthy food for Rural People. *International Journal Of Economic Plants*, 1(1), 23-27. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijep1&volume=1&issue=1&article=005>
- Blasco- Zumeta, J. (2021). *Agrocybe aegerita* (Agaricales). *Flora de Pina de Ebro y Su Comarca, Fungi*, 070. <https://monteriza.aranzadi.eus/wp-content/uploads/hongos/070.agrocybe-aegerita.pdf>
- Bohrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends In Food Science & Technology*, 65, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.016>
- Cena González, M., A. (2015, 11 mayo). *Desarrollo de un producto tipo hamburguesa a base de hongo cremini (A. bisporus var brunnescens)*. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6705>
- Clements, T., & Fulton, D. (2024). *Agaricus bisporus (J.E. Lange) Imbach*. Mushroom Observer. Recuperado 9 de octubre de 2024, de <https://mushroomobserver.org/547568?q=10aSB>
- CONTEMPEHRARY i Nordisk Tempeh. (s. f.). CONTEMPEHRARY I Nordic Tempeh + Condiments. <https://contempehrary.com/>
- Costantini, A., Perez, M. G., Busto, M., González, F. A., Cosentino, V., Romaniuk, R. I., & Taboada, M. Á. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Ciencia E Investigacion*, 68(5). <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4389>
- De Cianni, R., Mancuso, T., Rizzo, G., & Migliore, G. (2024). Health or Environment? Understanding which informative message is more effective in replacing red meat with mushroom-based alternatives. *Appetite*, 107405. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107405>

- Deepalakshmi, K., & Sankaran, M. (2014). Pleurotus ostreatus: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal Of Biochemical Technology*, 5(2), 718-726. <https://jbiochemtech.com/article/pleurotus-ostreatus-an-oyster-mushroom-with-nutritional-and-medicinal-properties>
- Del Estado de Hidalgo, U. A. (2020). *Vista de Hongos comestibles: Una alternativa saludable en productos cárnicos*. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/4973/6820>
- De Mattos-Shipley, K. M. J., Ford, K. L., Alberti, F., Banks, A. M., Bailey, A. M., & Foster, G. D. (2016). The good, the bad and the tasty: The many roles of mushrooms. *Studies In Mycology*, 85, 125-157. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2016.11.002>
- Desisa, B., Muleta, D., Jida, M., Dejene, T., Goshu, A., Negi, T., & Martin-Pinto, P. (2024). Improvement of nutritional composition of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using formulated substrates of plant and animal origins. *Future Foods*, 9, 100302. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100302>
- Diyabalanage, T., Mulabagal, V., Mills, G., DeWitt, D. L., & Nair, M. G. (2007). Health-beneficial qualities of the edible mushroom, *Agrocybe aegerita*. *Food Chemistry*, 108(1), 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.049>
- Duru Majesty, Department of Chemical Sciences (Biochemistry Unit), Rhema University, Aba, & Nigeria. (2018). Nutritional, anti-nutritional and biochemical studies on the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *EC Nutrition*. <https://ecronicon.net/assets/ecnu/pdf/ECNU-13-00538.pdf>
- Flores Fernández, J., Durán Lugo, R., Leal Martínez, M. G., & Báez González, J. G. (2022). Cereales y legumbres: Alternativas a la carne roja desde la perspectiva del valor biológico y la salud. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7, 7-19.
- FoodData Central*. (2019). USDA. Recuperado 9 de octubre de 2024, de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174270/nutrients>
- Fukushima-Sakuno, E. (2020). Bioactive small secondary metabolites from the mushrooms *Lentinula edodes* and *Flammulina velutipes*. *The Journal Of Antibiotics*, 73(10), 687-696. <https://doi.org/10.1038/s41429-020-0354-x>
- Galvis, H. A. F., & Pineda, C. M. T. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de seta del cardo (*Pleurotus eryngii*) en Bogotá D.C. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14537>
- González, M. A. C., Lara, L. o. A. F., Mendoza, A. C. B., Carbo, F. A. A. A., & Chacón, X. A. R. (2015). DESARROLLO DE UN PRODUCTO TIPO HAMBURGUESA A BASE DE

- HONGO CREMINI (*A. bisporus* var *brunnescens*). *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.  
<http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6705>
- Hamza, A., Mylarapu, A., Krishna, K. V. R., & 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>
- Huillca, A. I. A., & Flores, P. G. B. (2020). Determinación de la digestibilidad proteica in vitro de harina de *Pleurotus ostreatus*. En *Universidad Peruana Unión*.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3154>
- Ibarra Tapia, S., V. (2023). *Hongo Shiitake (Lentinula edodes): análisis bibliométrico y una revisión bibliográfica de su cultivo, valor nutricional, componentes bioactivos y propiedades funcionales* [Memoria para optar al título de Ingeniera en Alimentos, Universidad de Chile].  
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/196851/hongo-shiitake-lentinula-edodes-an%C3%A1lisis-bibliom%C3%A9trico-y-una-revision-bibliogr%C3%A1fica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Isela, V. M. V. (2024). *Efectividad mineralizadora de Pleurotus ostreatus y Pleurotus djamor en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro – Cusco*.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12773/17674>
- Islam, T., Ganesan, K., & Xu, B. (2021). Insights into health-promoting effects of Jew's ear (*Auricularia auricula-judae*). *Trends In Food Science & Technology*, 114, 552-569.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.017>
- Islam, T., Ganesan, K., & Xu, B. (2021a). Insights into health-promoting effects of Jew's ear (*Auricularia auricula-judae*). *Trends In Food Science & Technology*, 114, 552-569.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.017>
- Jang, J., & Lee, D. (2024). Advancements in plant based meat analogs enhancing sensory and nutritional attributes. *Npj Science Of Food*, 8(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41538-024-00292-9>
- Jayaraman, S., Yadav, B., Dalal, R. C., Naorem, A., Sinha, N. K., Rao, C. S., Dang, Y., Patra, A., Datta, S., & Rao, A. S. (2024). Mushroom farming: A review Focusing on soil health, nutritional security and environmental sustainability. *Farming System*, 2(3), 100098.  
<https://doi.org/10.1016/j.farsys.2024.100098>

- Jiang, X., Yang, Y., Ho, C., Muhoza, B., Liu, Q., & Song, S. (2024). Exploring the salty peptides of enzymatically hydrolyzed *Volvariella volvacea* protein: Structural analysis and taste perception insights. *Food Research International*, 115155. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115155>
- Kadnikova, I. A., Costa, R., Kalenik, T. K., Guruleva, O. N., & Yanguo, S. (2015). Chemical Composition and Nutritional Value of the Mushroom *Auricularia auricula-judae*. *Journal Of Food And Nutrition Research*, 3(8), 478-482. <https://doi.org/10.12691/jfmr-3-8-1>
- Kamaliah, N., Salim, S., Abdullah, S., Nobilly, F., Mat, S., Norhisham, A. R., Tohiran, K. A., Zulkifli, R., Lechner, A. M., & Azhar, B. (2021). Evaluating the experimental cultivation of edible mushroom, *Volvariella volvacea* underneath tree canopy in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 96(1), 35-47. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00685-9>
- Kleftaki, S., Amerikanou, C., Gioxari, A., Lantzouraki, D. Z., Sotiroudis, G., Tsiantas, K., Tsiaka, T., Tagkouli, D., Tzavara, C., Lachouvaris, L., Zervakis, G. I., Kalogeropoulos, N., Zoumpoulakis, P., & Kaliora, A. C. (2022). A Randomized Controlled Trial on *Pleurotus eryngii* Mushrooms with Antioxidant Compounds and Vitamin D2 in Managing Metabolic Disorders. *Antioxidants*, 11(11), 2113. <https://doi.org/10.3390/antiox11112113>
- Kozarski, M., Klaus, A., Jakovljevic, D., Todorovic, N., Vunduk, J., Petrović, P., Niksic, M., Vrvic, M., & Van Griensven, L. (2015). Antioxidants of Edible Mushrooms. *Molecules*, 20(10), 19489-19525. <https://doi.org/10.3390/molecules201019489>
- Lechner, B. E., Rugolo, M., & Mallerman, J. (2018b). *Hongos comestibles: El cultivo de Flammulina velutipes (enokitake)*. EUDEBA.
- Leiva Lázaro, F., Blanco Fernández, J., Martínez Cámara, E., Latorre Biel, J., & Jiménez Macías, E. (2015). Mushroom cultivation process, *agaricus bisporus* variety: comparison between traditional and climate controlled cultivation and identification of environmental impacts of the production processes. *Workshop On Simulation For Energy, Sustainable Development & Environment*, 46-50. [http://www.msc-les.org/proceedings/sesde/2015/SESDE2015\\_46.pdf](http://www.msc-les.org/proceedings/sesde/2015/SESDE2015_46.pdf)
- Lesá, K. N., Khandaker, M. U., Iqbal, F. M. R., 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, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/2454180>

- Li, Z., Zhou, Y., Zhao, G., Xu, C., Pan, J., Li, H., & Zou, Y. (2024). Impacts of Yield, Nutritional Value, and Amino Acid Contents during Short-Term Composting for the Substrate for *Agrocybe aegerita*. *Horticulturae*, 10(3), 234.  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae10030234>
- Libre Foods | Reinventing food with Fungi. (s. f.). <https://www.librefoods.co/>
- Malinowski, R., Sotek, Z., Stasińska, M., Malinowska, K., Radke, P., & Malinowska, A. (2021). Bioaccumulation of Macronutrients in Edible Mushrooms in Various Habitat Conditions of NW Poland—Role in the Human Diet. *International Journal Of Environmental Research And Public Health/International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 18(16), 8881. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168881>
- Maure, O. B., Sandoval, L. M. B., & Cardenal, L. y. R. (2022). Fermentación en estado sólido como método para reducir factores antinutricionales en la harina de frutos de *Artocarpus altilis*. *CIENCIA EN DESARROLLO*, 13(2), 201-210.  
<https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.15506>
- Mesfin, Y. M., Mitiku, B. A., & Admasu, H. T. (2024). Veterinary Drug Residues in Food Products of Animal Origin and Their Public Health Consequences: A Review. *Veterinary Medicine And Science*, 10(6). <https://doi.org/10.1002/vms3.70049>
- Miller, K. (2020). *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer. Mushroom Observer. Recuperado 9 de octubre de 2024, de <https://mushroomobserver.org/401228?q=1vaFH>
- Millow AB. (2023, 4 diciembre). Millow | Purest meat analog ever | 100% natural & healthy. Millow. <https://millow.co/>
- Montenegro, I., & Stuardo, C. (2021). Introducción al Cultivo de Hongos Comestibles. *INFOR*, 56.  
<https://bibliotecadigital.fia.cl/server/api/core/bitstreams/88c1d7ac-ad7e-4d27-a605-3de670d4725d/content>
- Mor Llombart, P. (2021). *Evaluación del impacto del proceso de fermentación en estado sólido con pleurotus ostreatus en las propiedades de la quinoa* [Trabajo final de grado en biotecnología, Universidad Politécnica de Valencia].  
<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/3de75af4-82c2-496a-b054-22289946da82/content>
- MyFOREST FOODS. (s. f.). MyFOREST FOODS. <https://myforestfoods.com/home>

- Nagae, M., Isa, A., Ishikawa, S., Muta, S., & Shimizu, K. (2023). Effect of Oral Intake of *Flammulina velutipes* (Enokitake) on Skin Condition in Healthy Adult Women: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study on Mental and Physical Health. *Cosmetics*, 10(2), 57. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10020057>
- Nature's Fynd. (s. f.). *Products*. Recuperado 15 de diciembre de 2024, de <https://www.naturesfynd.com/>
- Nieto, M. I. F., Guzmán, M. L. I., & Steinaker, D. F. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(1), 92-101. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4732851.pdf>
- Panda, J., Mishra, A. K., Nath, P. C., Mahanta, S., Sharma, M., Nayak, P. K., Mohanta, Y. K., & Sridhar, K. (2024). Wild edible mushrooms to achieve sustainable development goals: Novel sources for food security, health, and well-being. *Food Bioscience*, 104277. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104277>
- Pérez-Montes, A., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J. M., Romero, L., & Santos, E. M. (2020). Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. *Current Opinion In Food Science*, 37, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.004>
- Perugachi Cerna, F. G. (2024). *Uso del hongo comestible Agaricus bisporus var. brunnescens en la elaboración de una alternativa vegana tipo nugget* [Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previa a la obtención de Título de Ingeniera en Alimentos, Universidad técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/40729/1/CAL%20107.pdf>
- Petraglia, T., Latronico, T., Fanigliulo, A., Crescenzi, A., Liuzzi, G. M., & Rossano, R. (2023). Antioxidant Activity of Polysaccharides from the Edible Mushroom *Pleurotus eryngii*. *Molecules*, 28(5), 2176. <https://doi.org/10.3390/molecules28052176>
- Pflueger-Peters, N., & Ditterich, C. (2020, 9 noviembre). *UC Davis engineers fight food insecurity through sustainable agriculture*. UCDavis. Recuperado 17 de diciembre de 2024, de <https://bae.ucdavis.edu/news/uc-davis-engineers-fight-food-insecurity-through-sustainable-agriculture>

- Ponnusamy, C., Uddandrao, V. V. S., Pudhupalayam, S. P., Singaravel, S., Periyasamy, T., Ponnusamy, P., Prabhu, P., Sasikumar, V., & Ganapathy, S. (2022). Lentinula Edodes (Edible Mushroom) as a Nutraceutical: A Review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 19(1), 1-11. <https://doi.org/10.13005/bbra/2964>
- Qiu, J., Zheng, P., Dai, W., Zheng, Z., Lin, X., Hu, J., Zeng, S., & Lin, S. (2024). Steam Explosion-Assisted Extraction of Polysaccharides from *Pleurotus eryngii* and Its Influence on Structural Characteristics and Antioxidant Activity. *Foods*, 13(8), 1229. <https://doi.org/10.3390/foods13081229>
- Quorn. (s. f.). *Vegetarian & vegan products, meat free recipes & news* | Quorn. [https://www.quorn.co.uk/?\\_gl=1\\*d1x8yg\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_ga\\*MjA5MzAoMTE3LjE3MzQzM DY1NjE.\\*\\_ga\\_QBoPFBLNZG\\*MTczNDMwNjU2MC4xLjAuMTczNDMwNjU2MC4wLjAuMA](https://www.quorn.co.uk/?_gl=1*d1x8yg*_up*MQ..*_ga*MjA5MzAoMTE3LjE3MzQzM DY1NjE.*_ga_QBoPFBLNZG*MTczNDMwNjU2MC4xLjAuMTczNDMwNjU2MC4wLjAuMA)
- Rivera Morales, O., A. (2010). *Estudio del efecto de la adición del estípite de shiitake (lentinula edodes berk. pegler) y de un extracto rico en sus polisacáridos sobre las cualidades nutricionales del antipasto* [Trabajo final para optar al título de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/6724/107401.2010.pdf?sequence=1&#:~:text=La%20morfolog%C3%ADa%20del%20Shiitake%20corresponde,y%20%C3%A1spero%20en%20su%20textura.>
- Román Mata., S. (2023). *Obtención de la cepa de Auricularia americana y su evaluación en la producción de moléculas antimicrobianas, antioxidantes y  $\beta$ -glucanos* [Tesis profesional para obtener el título de bióloga, Universidad autónoma del estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/4297/ROMSTR00.pdf?sequence=1>
- Romero, I. P. (2019). Extracción y caracterización de polisacáridos y estudio del perfil de compuestos volátiles en hongos comestibles. <https://doi.org/10.35376/10324/16333>
- Ruthes, A. C., Smiderle, F. R., & Iacomini, M. (2016). Mushroom heteropolysaccharides: A review on their sources, structure and biological effects. *Carbohydrate Polymers*, 136, 358-375. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.061>
- Sánchez, C. (2009). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology And Biotechnology*, 85(5), 1321-1337. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>

- Shao, Y., Liu, H., Huang, L., Zhao, X., Zhao, Z., Yang, X., & Zhou, C. (2023). Formaldehyde levels and formaldehyde-exposure-related health risk levels of edible mushrooms cultivated in China. *Journal Of Food Composition And Analysis*, 126, 105905. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105905>
- Shi, F., Lakshmanan, P., Zhang, Y., Zhang, T., Liang, T., Zhang, W., Chen, X., & Wang, X. (2023). A comprehensive continental-scale analysis of carbon footprint of food production: Comparing continents around the world. *Journal Of Cleaner Production*, 426, 138939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138939>
- Singh, U., Tiwari, P., Kelkar, S., Kaul, D., Tiwari, A., Kapri, M., & Sharma, S. (2023). Edible mushrooms: A sustainable novel ingredient for meat analogs. *eFood*, 4(6). <https://doi.org/10.1002/efd2.122>
- Steinke, J. (2024, 23 junio). *Auricularia auricula-judae (Bull.) Wettst.* Mushroom Observer. Recuperado 29 de noviembre de 2024, de <https://mushroomobserver.org/561240?q=10aSB>
- Thornton, P. K., Gurney-Smith, H., & Wollenberg, E. K. (2023). Alternative sources of protein for food and feed. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, 62, 101277. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101277>
- Usman, M., Murtaza, G., & Ditta, A. (2021). Nutritional, Medicinal, and Cosmetic Value of Bioactive Compounds in Button Mushroom (*Agaricus bisporus*): A Review. *Applied Sciences*, 11(13), 5943. <https://doi.org/10.3390/app11135943>
- Vargas, N., Gutierrez, C., Restrepo, S., & Velasco, N. (2019). Oyster Mushroom Cultivation as an Economic and Nutritive Alternative for Rural Low-Income Women in Villapinzón (Colombia). En *Women in engineering and science* (pp. 561-587). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11866-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11866-2_24)
- Vinci, G., Prencipe, S. A., Pucinischi, L., Perrotta, F., & Ruggeri, M. (2023). Sustainability assessment of waste and wastewater recovery for edible mushroom production through an integrated nexus. A case study in Lazio. *Science Of The Total Environment*, 903, 166044. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166044>
- Vista de *El impacto ambiental del consumo de carne, estudio en la UASLP.* (2022, 20 septiembre). Recuperado 24 de mayo de 2025, de <https://leka.uaslp.mx/index.php/universitarios-potosinos/article/view/296/189>

- Wang, J., Zhao, C., Li, P., Wang, L., & Li, S. (2023). Structural Characteristics and Multiple Bioactivities of *Volvariella volvacea* Polysaccharide Extracts: The Role of Extractive Solvents. *Foods*, 12(23), 4357. <https://doi.org/10.3390/foods12234357>
- Wang, M., & Zhao, R. (2023). A review on nutritional advantages of edible mushrooms and its industrialization development situation in protein meat analogues. *Journal Of Future Foods*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.001>
- Wang, Q., Wang, J., Li, M., Liu, Y., & Gao, L. (2024). Structural characterization and anti-oxidant activity of polysaccharide HVP-1 from *Volvariella volvacea*. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 261, 129672. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129672>
- We grow better materials. (s. f.). <https://ecovative.com/>
- Yan, Z., Liu, N., Mao, X., Li, Y., & Li, C. (2014). Activation Effects of Polysaccharides of *Flammulina velutipes* Mycorrhizae on the T Lymphocyte Immune Function. *Journal Of Immunology Research*, 2014, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2014/285421>
- Yang, F., Fu, A., Meng, H., Liu, Y., & Bi, S. (2024). Non-volatile taste active compounds and umami evaluation of *Agrocybe aegerita* hydrolysates derived using different enzymes. *Food Bioscience*, 58, 103772. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103772>
- Zarlenga, G. (2022). *Diagnostico y plan de mejoras para una pyme dedicada al cultivo de champiñón (Agaricus bisporus), provincia de Santa Fe* [Trabajo final de aplicación para optar el titulo de ingeniero agrónomo de la carrera de ingeniería agronómica, Universidad Nacional de Lujan]. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/1899/02%20-%20ZARLENGA%2C%20GASTON%20ARIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zhang, Y., Wang, D., Chen, Y., Liu, T., Zhang, S., Fan, H., Liu, H., & Li, Y. (2021). Healthy function and high valued utilization of edible fungi. *Food Science And Human Wellness*, 10(4), 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.04.003>
- Montenegro, I., & Stuardo, C. (2021). Introducción al cultivo de hongos comestibles. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31294>
- Goglio, P., Ponsioen, T., Carrasco, J., Milenkovi, I., Kiwala, L., Van Mierlo, K., Helmes, R., Tei, F., Oosterkamp, E., & Pérez, M. (2024). An environmental assessment of *Agaricus bisporus* ((J.E.Lange) Imbach) mushroom production systems across Europe. *European Journal Of Agronomy*, 155, 127108. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127108>

