

## ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA ERGOTIONEINA DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Monserrat Lara-Novelo<sup>1</sup>, Arturo Alvarado-Segura<sup>2</sup>,  
Cecilia I. Góngora-Huicochea<sup>3</sup>, Pedro R. Catzim-Navarrete<sup>4</sup>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Recibido: 12/10/2024 Aceptado: 13/11/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a17>

**Resumen.-** Los hongos son considerados productos de primera calidad debido a sus cualidades nutricionales y medicinales, que favorecen la salud humana. Por otro lado, la búsqueda de agentes antioxidantes naturales es relevante para promover la salud y prevenir enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo mitocondrial. La ergotioneína, compuesto bioactivo presente en los hongos comestibles, funciona como antioxidante, inmunomodulador, hepatoprotector, hipoglucémico, antimicrobiano y tiene efecto antienvjecimiento y de protección contra los rayos ultravioleta. En esta investigación documental se analiza el papel de la ergotioneína en la salud humana. El uso de esta molécula ofrece una perspectiva para mejorar la calidad nutricional en la dieta de los consumidores y reducir el riesgo de padecer enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. El estrés oxidativo altera el equilibrio de los mecanismos que controlan las células, causando daños severos en moléculas biológicas como el ADN, lípidos y proteínas, lo que puede generar repercusiones negativas y el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas y cardíacas. Aunque los resultados de las investigaciones son prometedores, se requiere de estudios más amplios para comprender el mecanismo de acción y la aplicabilidad clínica de la ergotioneína proveniente de los hongos comestibles, como *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes*.

**Palabras Clave:** Enfermedad, ergotioneína, estrés, hongo, nutriente.

## ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ERGOTHIONEIN FROM EDIBLE MUSHROOMS

**Abstract.-** Mushrooms are considered top quality products due to their nutritional and medicinal qualities, which promote human health. On the other hand, the search for natural antioxidant agents is of interest for health promotion and prevention of diseases related to mitochondrial oxidative stress. Ergothioneine, a bioactive compound present in edible mushrooms, functions as an antioxidant, immunomodulator, hepatoprotective, hypoglycemic, antimicrobial and has an anti-aging and protective effect against ultraviolet rays. This documentary research analyzes the role of ergothioneine in human health. The use of this molecule offers a perspective to improve the nutritional quality in diet of consumers and reduce the risk of suffering from diseases related to oxidative stress. Oxidative stress alters the balance of the mechanisms that control cells, causing severe damage to biological molecules such as DNA, lipids and proteins, which can generate negative repercussions and the development of neurodegenerative and heart diseases. Although the research results are promising, broader studies are required to understand the mechanism of action and clinical applicability of ergothionein from edible mushrooms, such as *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* and *Lentinula edodes*.

**Keywords:** Disease, ergothioneine, mushroom, nutrients, stress.

### Introducción

El interés global por el cultivo y consumo de hongos ha aumentado debido a su valor como fuente de alimento y nutrientes, sin embargo, el conocimiento sobre los beneficios que proveen es aún limitado. Desde 1990 el mundo ha mostrado un creciente interés en la industria de los hongos, lo que ha resultado en un aumento significativo en su producción y consumo (Ucar et al., 2019, p. 1; Usman et al., 2021, p. 1). Este aumento está estrechamente relacionado con su demanda a nivel global, la cual se relaciona principalmente con características como el sabor, bajo contenido calórico, niveles reducidos de sodio, lípidos, colesterol, así como su alto contenido proteico. Además, los hongos aportan aminoácidos en forma de ácido, fibra y vitaminas (Martínez-Medina et al., 2021, p. 1).

<sup>1</sup>Estudiante del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. Correo: l.201t0009@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0005-8515-909X>

<sup>2</sup>Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. Correo: aalvarado@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7386-2205>

<sup>3</sup>Estudiante del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. Correo: l.201t0006@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0001-0634-2453>

<sup>4</sup>Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. Correo: pcatzim@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0001-6831-2228> (**Autor correspondiente**).

Entre los hongos más cultivados a nivel mundial se encuentran *Agaricus bisporus*, *Flammulina velutipes*, *Lentinula edodes*, *Pleurototoe sp.*, *Auricularia sp.* y *Volvariella sp.* Este mercado representa una industria estimada en 63 mil millones de dólares, de los cuales el 54% corresponde a hongos comestibles cultivados, 38% a hongos medicinales y 8% a hongos silvestres, lo cual refleja su importancia económica y alimentaria (Roysse et al., 2017, p. 6).

Además de su valor nutricional, los hongos han sido tradicionalmente utilizados en la etnofarmacología y la medicina popular, por sus propiedades benéficas para la salud. Contienen una amplia variedad de compuestos bioactivos, como la ergotioneína, polisacáridos (quitosano,  $\beta$ -glucano), polifenoles, terpenoides, lectinas, alcaloides, esteroides, glucoproteínas, ergosteroides, sesquiterpenos y lactonas. Sin embargo, el contenido de estos compuestos puede variar significativamente dependiendo de diversos factores como el sustrato, el cultivo, las condiciones de almacenamiento y el procesamiento, entre otros. Además, actúan como antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, anticolesterol, prebiótica, genoprotector e inmunomoduladores (Chun et al., 2021, p. 1; Liuzzi et al., 2023, p. 5; Martínez-Medina et al., 2021, p. 2; Tsiantas et al., 2021, p. 1).

Entre estos compuestos, la ergotioneína, un aminoácido no proteico, es un componente bioquímico de interés debido a sus propiedades antioxidantes y su capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) (Tsay et al., 2021, p. 7). Esta molécula está presente en algunos alimentos y es sintetizada endógenamente, ha demostrado ser efectiva en la protección contra el estrés oxidativo y en la prevención de enfermedades asociadas. A medida que se profundiza en la comprensión de los mecanismos moleculares y celulares implicados en el estrés oxidativo, la ergotioneína emerge como un componente clave en la defensa antioxidante del organismo. Dicha molécula, al ser consumida, es importante para el cuerpo humano por sus propiedades y su función de eliminar las ROS e inhibir los peróxidos lipídicos; tiene potencial en contra de diversas enfermedades como la inflamación, la depresión y la neuropatía (Han et al., 2021, p. 580; Martínez-Medina et al., 2021, p. 7).

El uso de esta molécula encontrada en los hongos ofrece una perspectiva para mejorar la calidad nutricional de la dieta de los consumidores y reducir el riesgo de padecer enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. Además, existen estudios que respaldan el potencial del hongo ostra blanca (*Pleurotus ostreatus*) como antioxidante natural y el papel benéfico de la ergotioneína en la salud humana (Lam-Sidun et al., 2021, p. 2; Yadav et al., 2021, p. 9). Actualmente algunos son considerados "productos farmacéuticos de hongos" (Dimopoulou et al., 2022, p. 2).

En este trabajo se analizan los resultados de investigaciones sobre el uso de la ergotioneína como un agente antioxidante y su papel en la salud humana. Se aborda la capacidad antioxidante para proteger las células mitocondriales contra el estrés oxidativo, así como su influencia en la prevención de enfermedades crónicas y su potencial terapéutico en condiciones de salud específicas.

#### Materiales y métodos

La presente investigación documental se fundamenta en una revisión de artículos científicos publicados en revistas registradas en el Journal Citation Reports, con un rango de tiempo no mayor a siete años. Para ello, se realizaron búsquedas avanzadas en las bases de datos ScienceDirect y Google Académico utilizando combinaciones de términos clave como antioxidante, compuestos bioactivos, enfermedades, ergotioneína y estrés oxidativo. Posteriormente se analizaron los resúmenes de los artículos encontrados para extraer la información de interés, asegurando que los resultados recopilados sobre la ergotioneína de los hongos comestibles como *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes* sean novedosos. La información anterior se complementó con información de algunos artículos científicos publicados antes de 2017. El enfoque de este trabajo es descriptivo, sintetizando resultados experimentales de la actividad antioxidante de la ergotioneína y tratando de identificar vacíos que puedan ser abordados en investigaciones posteriores.

#### Resultados y discusión

La ergotioneína es un compuesto bioactivo presente en los hongos comestibles que funge como agente antioxidante, cuya influencia en la salud ha sido de creciente interés en la comunidad científica en las últimas décadas. Por otra parte, el estrés oxidativo es resultante del desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y los mecanismos de defensa antioxidante del organismo. Por ello, es asociado a una amplia gama de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, cáncer, diabetes mellitus y depresión. La ergotioneína emerge como un agente natural con potencial para contrarrestar los efectos perjudiciales del estrés oxidativo (Han et al., 2021, p. 580; Martínez-Medina et al., 2021, p. 2).

### Hongos comestibles

Los hongos, cuya reproducción puede ser sexual o asexual, son organismos que no realizan la fotosíntesis, sino que emplean componentes orgánicos como fuente de energía y de carbono. Además, desempeñan un papel importante como descomponedores de material orgánico en formas más simples (Permatasari et al., 2020, p. 25).

El género *Pleurotus*, conocido comúnmente como hongo ostra blanco debido a su forma y apariencia, es reconocido como hongo comestible, de modo que se cultiva en todo el mundo, especialmente en el Sudeste asiático, India, Europa y África. China destaca como el principal productor, representando el 64% de la producción mundial de los hongos comestibles y el 85% de todos los hongos ostra. Estos ocupan el segundo lugar más grande de producción y comercialización en el mercado global, después de *Agaricus bisporus* (USITC, 2010, p. 28).

El hongo ostra, de la familia Tricholomataceae, es un alimento seguro para el consumo humano. Destaca por su alto contenido de fibra en comparación con otros alimentos, lo que lo convierte en una opción popular en las dietas cotidianas de las personas. El cultivo de este hongo exige pocos controles ambientales, ya que no suelen ser atacados por enfermedades y plagas (Figura 1) (Permatasari et al., 2020, p. 25).

Figura 1. Proceso de cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*



*Pleurotus ostreatus* (Figura 2A) es un hongo maderero que posee un mayor contenido de nutrientes en comparación con otros hongos. Contiene hasta 35% de proteína, todos los aminoácidos esenciales, 2.2% de grasas compuestas en 100 g de hongo. En el sector de la salud tiene un papel importante debido a la cantidad de ergotioneína que posee y a sus propiedades nutritivas (Permatasari et al., 2020, p. 23).

Figura 2. Hongos comestibles **A.** *Pleurotus ostreatus*. **B.** *Agaricus bisporus*.



Nota. Elaboración propia. (Freepink).

Por otro lado, el hongo *Agaricus bisporus*, o champiñón (Figura 2B), es la especie comestible más popular y comúnmente consumida en el mundo, por su sabor, por su alto contenido de nutrientes y por la variedad de compuestos bioactivos que contiene, como las vitaminas del complejo B, fibras, proteínas, ergotioneína, aminoácidos y polisacáridos (Muszyńska et al., 2017, p. 173). *Agaricus bisporus* en estado inmaduro posee dos colores: blanco y marrón, en color blanco se conoce como seta común o champiñón y el marrón como seta castaña o seta de sombrero marrón, que en su estado de madurez se nombra hongo Portobello (Zhang et al., 2018, p. 2). En la cocina mexicana se le consume en forma de quesadillas, salsas, filetes, enchiladas, entre otros (Cuevas-González, 2009, pp. 9-10).

#### Composición nutricional y diversidad de componentes bioactivos

Los hongos comestibles se han utilizado en la alimentación humana y son reconocidos por su atractiva textura, sabor y características medicinales. El sustrato empleado puede mejorar el contenido de compuestos bioactivos, al mismo tiempo que se emplea material que es considerado desecho. De esta forma, se apoya la economía circular en la industria de los hongos (Sheikha y Hu, 2018, p. 1, p.5, p. 8). En la Tabla 1 se enlistan algunos macronutrientes que posee el hongo *P. ostreatus* dependiendo del sustrato donde fue cosechado.

Tabla 1. Contenido de macronutrientes de *P. ostreatus* cosechado en diferentes sustratos.

Sustrato	Proteína	Carbohidratos	Grasas	Aminoácidos	Fibra cruda
<i>Picnato ongoleubis</i>	20.11	45.74	30.9	42.3	17.51
<i>Ceiba pentandra</i>	20.03	41.8	23.1	40.56	17.35
<i>Cananium sp.</i>	20.06	45.74	27.6	35.97	17.42
Aserrín de madera blanda	17.68	54.02	1.81	33.32	10.66
Aserrín de madera dura	26.67	41.57	1.72	20.05	11.05
Semilla de algodón	25.91	42.14	2.18	40.07	10.41
<sup>1</sup> Aserrín de sustratos de diversas especies de árbol	26.49	40.66	3.84	35.06	18.92

Nota. Elaboración propia con datos de Josiane et al. (2018, p. 19); Oyetayo y Ariyo (2013, p. 25).

Nota: <sup>1</sup>En la última fila, los datos presentados se obtuvieron promediando los datos obtenidos del árbol de higo, lluvia, ceiba, ipil, eucalipto y una mezcla de aserrín.

#### Macronutrientes

Los macronutrientes (carbohidratos, grasas y proteínas) son moléculas complejas que el cuerpo necesita en grandes cantidades, que al oxidarse producen energía. En términos simples, los carbohidratos, se encuentran generalmente en forma de glucosa (o glucógeno), son el sustrato energético para uso inmediato; la grasa en forma de tejido adiposo representa la reserva de energía a largo plazo; y las proteínas forman el tejido vivo. Estos macronutrientes también tienen otras funciones importantes en el cuerpo como la de servir como componentes estructurales de hormonas y receptores de moléculas transmisoras, membranas celulares y mediadores inflamatorios (Costa y Gantner, 2020, p. 1).

#### Carbohidratos

Los carbohidratos son moléculas orgánicas formadas por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Se clasifican en tres grupos: monosacáridos, disacáridos y polisacáridos (Costa y Gantner, 2020, p. 1). En los hongos, los carbohidratos son aldehídos o cetonas polihidroxilados y sus derivados. Diversas investigaciones han demostrado que el contenido total de carbohidratos en los cuerpos fructíferos del *Agaricus bisporus* oscila entre el 4.5 y el 4.6% del peso fresco o el 51.3 y el 62.5% del peso seco (Muszyńska et al., 2017, p. 174). Por otro lado, el contenido de carbohidratos presentes en *Pleurotus ostreatus* es del 69.86% en peso seco (Yadav et al., 2021, p. 2), evidenciando que el género *Pleurotus* contiene mayor cantidad de carbohidratos.

Los hongos son ricos tanto en carbohidratos digeribles (trehalosa, glucógeno, manitol y glucosa) como no digeribles (quitina, mananos y  $\beta$ -glucano). Los monosacáridos encontrados con mayor frecuencia son la glucosa, fructosa, galactosa, manosa, xilosa, ramnosa, fucosa, trehalosa, arabinosa y manito (Martínez-Medina et al., 2021, p. 2; Yadav et al., 2021, p. 3). El consumo de carbohidratos como el  $\beta$ -glucano mejora el sistema inmune, previniendo y controlando enfermedades como infecciones de las vías respiratorias superiores, alergias estacionales, osteoartritis, y los trastornos comórbidos relacionados con la obesidad (Yadav et al., 2021, p. 3).

#### Proteínas

Las proteínas son componentes macromoleculares, descritos como biopolímeros de aminoácidos y están formadas por una serie de compuestos nitrogenados que confieren propiedades físicas, químicas y biológicas a estas biomoléculas. Las proteínas y los péptidos son una parte importante de los componentes bioactivos presentes en los hongos que

aportan beneficios a través de sus efectos farmacológicos. Estos contienen entre 19% y 39% de proteína en peso seco, que forma parte de una red compleja de células fúngicas (Martínez-Medina et al., 2021, p. 3). La cantidad proteica de los champiñones representa del 19 al 35 g sobre 100 g de peso seco, indicando que es altamente digerible. Por otro lado, los hongos contienen una buena cantidad de los nueve aminoácidos esenciales, como fenilalanina, lisina, isoleucina, leucina, valina, histidina, treonina y metionina, necesarios para los humanos (Yadav et al., 2021, p. 3). Por otro lado, diversos estudios indican que el hongo *Pleurotus ostreatus* contiene entre 17 y 42% de proteína con base a 100 g de peso seco (Deepalakshmi y Sankaran, 2014, p. 719).

#### Lípidos

Las grasas o lípidos se diferencian de otros macronutrientes porque son poco solubles en agua, pero muy solubles en disolventes orgánicos como el éter o la acetona. Al igual que los carbohidratos, están compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, pero la proporción de átomos de oxígeno con respecto al carbono y al hidrógeno es menor que en los carbohidratos. Los lípidos biológicamente importantes son los ácidos grasos, los triglicéridos, los fosfolípidos y los esteroides (Costa y Gantner, 2020, p. 1). Las setas contienen compuestos de base lipídica, con porcentajes entre 1.18 y 8.39% de su peso seco. En los mecanismos de crecimiento y reproducción, la presencia de estos compuestos suele ser aprovechada en forma de ácidos grasos, esteroides y fosfolípidos, siendo este último fundamental en la membrana celular. Por otro lado, los ácidos grasos son una forma de almacenamiento de energía en forma de grasa en los hongos y otros organismos. Estos se componen por tres moléculas unidas a un glicerol para formar el triglicérido (Martínez-Medina et al., 2021, p. 4; Yadav et al., 2021, p. 3).

#### Micronutrientes

Los micronutrientes (vitaminas y minerales) son componentes dietéticos necesarios para mantener la salud y, a diferencia de los macronutrientes, se encuentran en cantidades muy pequeñas en los tejidos. Pueden actuar como coenzimas, sustratos bioquímicos y hormonas (Costa y Gantner, 2020, p. 3).

#### Vitaminas

Las vitaminas son componentes dietéticos orgánicos que no funcionan suministrando energía, pero que son necesarios para mantener la salud (Costa y Gantner, 2020, p. 3). Los hongos comestibles son una excelente fuente de vitaminas y, por lo tanto, pueden usarse como un ingrediente ejemplar para formulaciones nutraceuticas. Los cuerpos fructíferos de los hongos son ricos en vitaminas, principalmente vitamina B1, B2, C y D2. Las vitaminas del grupo B son abundantes, particularmente tiamina, riboflavina, piridoxina, ácido pantoténico, ácido nicotínico, nicotinamida, ácido fólico y cobalamina, así como otras vitaminas como ergosterol, biotina, fitoquinona y tocoferoles (Deepalakshmi y Sankaran, 2014, p. 720). El proceso de formación de la vitamina D2 se produce mediante la fotoconversión del ergosterol. Los hongos cultivados irradiados con UV-B, como las especies de los géneros *Agaricus* y *Pleurotus*, pueden producir una cantidad significativa de vitamina D2 (Yadav et al., 2021, p. 3).

#### Minerales

Son compuestos necesarios para el cuerpo, que no son sintetizados por el mismo, sino que se consiguen en la dieta. Los minerales que se encuentran en los hongos son principalmente potasio, fósforo, calcio, hierro, manganeso, magnesio, zinc y selenio (Liuzzi et al., 2023, p. 10). En los hongos comestibles silvestres, el magnesio es el segundo mineral más importante que se encuentra naturalmente. Los minerales que contiene *Pleurotus ostreatus* son: fósforo, 497.35 mg 100 g<sup>-1</sup>dm en el sombrero; magnesio, 340.59 mg 100 g<sup>-1</sup>dm en tallo y potasio, 466.24 mg 100 g<sup>-1</sup>dm, en el tallo y sombrero (Yadav et al., 2021, p. 4). Por otro lado, el contenido de potasio en *Agaricus bisporus* oscila entre 0.54 y 1.58%; el sodio de 37.2 a 61.9 µg/g y de manganeso 56.2–91.1 µg/g (Atila et al., 2017, p. 282).

#### Molécula ergotioneína y su actividad antioxidante

La ergotioneína (2-mercaptohistidina trimetilbetaína) se deriva del aminoácido histidina que contiene azufre, se le conoce por sus propiedades antioxidantes debido al compuesto de tiol que posee en forma natural e involucra otros aminoácidos como la cisteína y metionina. Fue descubierto en 1909 por Charles Tanret en el hongo cornezuelo de centeno, conocido también como ergot (Han et al., 2021, p. 1; Liu et al., 2023, p. 1). Esta molécula ha llamado la atención debido a su identificación como sustrato biogénico. Diversos estudios respaldan la función que tiene en la longevidad a través de su actividad antioxidante y destacan su capacidad para modular la transducción de señales relacionadas con el envejecimiento de la expresión genética (Liuzzi et al., 2023, p. 9; Tsiantas et al., 2021, p. 2). En 2005 se descubrió que el transportador de cationes orgánicos (OCTN1), un potente eliminador e inhibidor de radicales hidroxilos (OH) a través del peróxido de hidrógeno, que se cataliza mediante iones de hierro y cobre, es el principal



transportador de ergotioneína, teniendo mayor eficiencia que muchos otros metabolitos relacionados ya que sin este, no se puede encontrar la molécula en células y tejidos (Martínez-Medina et al., 2021, p. 4).

Estudios *in vitro*, respaldan que los niveles de ergotioneína en la sangre y tejidos se reduce al padecer alguna enfermedad. Sin embargo, al obtener esta molécula de manera externa, los niveles de ergotioneína aumentan permaneciendo cuatro semanas en el organismo; se considera que puede desempeñar un papel protector ante diversas afecciones patológicas. Además, se han realizado estudios experimentales *in vitro* para eliminar radicales libres, concluyendo que la ergotioneína es capaz de neutralizar con eficacia las ROS, confirmando su potencial como agente antioxidante (Martínez-Medina et al., 2021, p. 6; Tsiantas et al., 2021, p. 2).

Diversos metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, ergotioneína y lovastina se encontraron en el género *Pleurotus*, indicando así su capacidad antioxidante. La ergotioneína contenida en los hongos *Agaricus*, *Grifola*, *Pleurotus*, *Lentinula*, varía de 0.4 a 2.01 mg/g de peso seco. En la Tabla 2 se muestra el contenido de ergotioneína extraída de diversos hongos comestibles. Los datos presentados son resultados de diversos análisis y ensayos experimentales, mostrando que el género *Pleurotus* contiene en promedio mayor contenido de dicha molécula (Dubost et al., 2007, p. 731; Permatasari et al., 2020, p. 27).

Tabla 2. Concentración de ergotioneína en hongos comestibles.

Tipo de hongo	Ergotioneína (mg/g)
<i>Agaricus bisporus</i> (champiñón)	1.21 ± 0.82
<i>Agaricus bisporus portabello</i>	0.45
<i>Agrocybe cylindracea</i>	0.279
<i>Volvariella volvacea</i>	0.0537
<i>Boleto edulis</i>	2.40 ± 0.05
<i>Hericio erinaceus</i>	0.063
<i>Termitomyces clypeatus</i>	0.122
<i>Lentinula edodes</i>	1.86 ± 0.73
<i>Pleurotus ostreatus</i>	1.98 ± 0.04
<i>Pleurotus cornucopiae</i>	2.082 ± 0.12
<i>Pleurotus citrinopileatus</i>	3.94
<i>Grifola frondosa</i>	1.13 ± 0.05

Nota. Elaboración propia con datos de Dubost et al. (2007, p. 731); Nachimuthu et al. (2019, p. 396); Permatasari et al. (2020, p. 27).

La ergotioneína se caracteriza por su alta capacidad antioxidante obtenida de microorganismos, especialmente de hongos comestibles y actinobacterias, y ha sido utilizada en las industrias alimentaria y cosmética. Actualmente se sugiere como un antioxidante biológico vital debido a su capacidad para funcionar con otros antioxidantes para proteger a las células contra el estrés oxidativo mitocondrial (Liuzzi et al., 2023, p. 9; Martínez-Medina et al., 2021, p. 4). Su valor se puede comparar al de los vegetales, ya que tiene la capacidad de inhibir la reacción de oxidación y reducir los radicales hidroxilo, superóxido y peróxido, influyendo en los procesos de síntesis y transcripción de antioxidantes endógenos, especialmente el glutatión (Lam-Sidun et al., 2021, p. 2).

La existencia de compuestos antioxidantes es impresionante en los hongos, ya que tienen varias enzimas potenciales, coenzimas reducidas y diferentes formas de compuestos fenólicos que funcionan como fuentes de electrones. Las setas ostra *Pleurotus ostreatus* y *Agaricus bisporus* son capaces de ser antioxidantes, ya que aportan compuestos fenólicos, L-ergotina, selenio y vitamina C (Egra et al., 2019, p. 20; Yadav et al., 2021, p. 9).

Se ha determinado el contenido total de antioxidantes que contiene el hongo *P. ostreatus*, con evaluación de su potencial como inhibidor de radicales libres. Los resultados obtenidos (Tabla 3) indican que este hongo posee buena actividad antioxidante. Por otro lado, otros autores reportan que la capacidad antioxidante de *Agaricus bisporus* marrón es mayor que las de *Lentinula edodes* y *P. ostreatus*. El contenido de ergotioneína osciló entre 0.21 y 0.45 mg/g de peso seco en el hongo *A. bisporus* inmaduro (Dubost et al., 2007, p. 731).

Tabla 3. Evaluación antioxidante de los hongos *P. ostreatus*, *A. bisporus* y *L. edodes*

Solventes	Capacidad antioxidante <i>P. ostreatus</i> (Mg EAG/G)	Capacidad antioxidante <i>A. bisporus</i> (Mg/g)	Capacidad antioxidante <i>L. edodes</i> (Mg/g)
n-hexano	313.625	---	---
Acetato de etilo	368.702	---	---
Etanol	128.792	84.85	83.70
Etanol crudo	114.708	---	---
Metanol	---	144.00	91.34
Agua	---	302.50	207.50

Nota. Elaboración propia a partir de Da Silva y Neuza (2011, p. 388); Egra et al. (2019, p. 20).

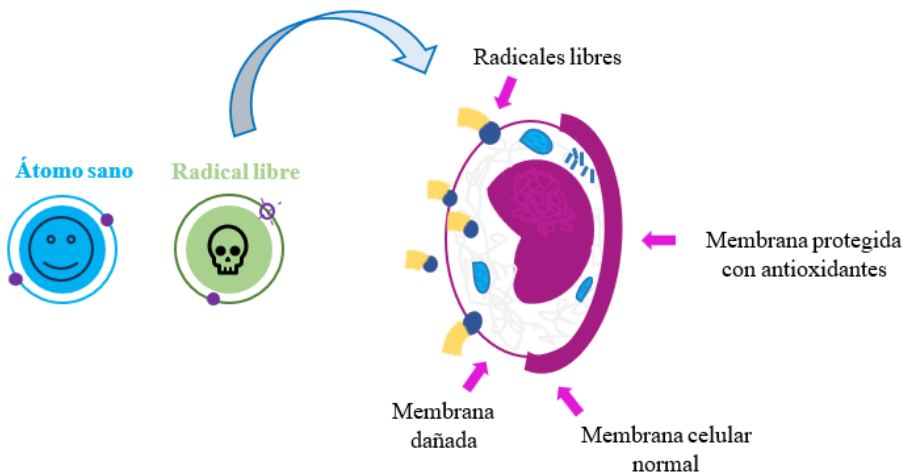
**Estrés oxidativo**

Los radicales libres desempeñan diversas funciones fisiológicas en el organismo como las vías de señalización como mediadores, la regulación del tono vascular, la percepción de la presión de oxígeno, la regulación de funciones controladas por concentración de oxígeno, la traducción de señales intercelulares, la síntesis de prostaglandinas, el colesterol y las hormonas esteroideas (Gutiérrez et al., 2018, p. 4). Sin embargo, la producción excesiva de radicales libres derivados del oxígeno daña estructuras biológicas de las células que, al verse afectadas repercute al desarrollo de numerosas enfermedades como diabetes, hipertensión artritis reumatoide, lupus y arteriosclerosis (Gutiérrez et al., 2018, p. 4). El estrés oxidativo implica una desregulación en los diversos sistemas del organismo de interés, unida a la producción de diversas especies reactivas de oxígeno (ROS) o nitrógeno, principalmente peróxido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), radical hidroxilo (HO·), superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), y oxígeno singlete (1OH<sub>2</sub>), peroxilo (ROO·) y peroxinitrito (ONOO·) (Borodina et al., 2020, p. 199; Lam-Sidun et al., 2021, p. 3).

El proceso de oxidación que ocurre en el cuerpo se define como estrés oxidativo. Es un estado en el que el equilibrio entre pro-oxidantes y antioxidantes se altera, teniendo como resultado un aumento de la tasa de oxidación. Al ocurrir un desequilibrio en el mecanismo de las células que controlan el sistema nervioso central, puede ocasionar diversos daños en moléculas biológicas como las proteínas, lípidos, carbohidratos y el ADN, generando un conjunto de repercusiones en el desarrollo de enfermedades (Liuzzi et al., 2023, p. 3; Martínez-Medina et al., 2021, p. 8).

El efecto destructivo de los radicales libres en las células se minimiza o elimina con los antioxidantes, reduciendo así el daño tisular o celular que suele ser causado por los metabolitos tóxicos (Figura 3). Existen mecanismos de defensa antioxidante como el licopeno, betacaroteno, glutatión, flavonoides, selenio, vitaminas naturales (E, A), enzimas antioxidantes como la catalasa peroxidasa y la glutatión-S-transferasa que ayudan a contener los radicales libres del organismo y así proteger a la célula mitocondrial (Liu et al., 2023, p. 6).

Figura 3. Representación del daño provocado por los radicales libres sobre la célula.

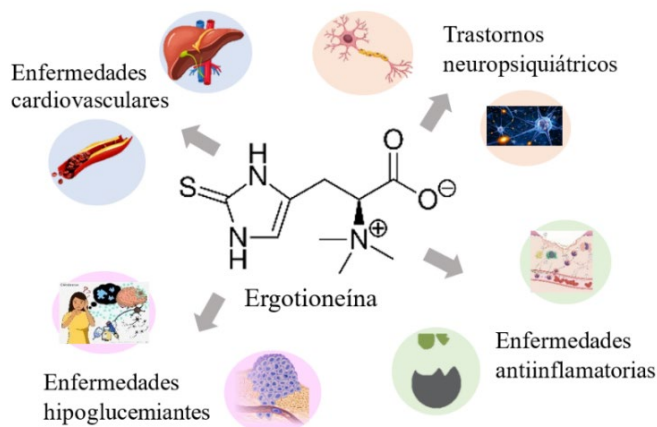


Nota. Elaboración propia a partir de Vargas y Saavedra (2019).

### Impacto de la ergotioneína en la salud humana

La ergotioneína ayuda a neutralizar los radicales libres, reduciendo el daño celular y el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Su capacidad neuroprotectora puede utilizarse en la prevención y el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson. Investigaciones recientes indican que puede modular la respuesta inmunitaria, mejorando la salud y potenciando la longevidad (Figura 4) (Han et al., 2021, pp. 581-582).

Figura 4. Función de la ergotioneína en diversas enfermedades.



Nota. Elaboración propia adaptado de Han et al. (2021), p.581.

### Propiedades anticancerígenas

El cáncer se produce debido a las alteraciones metabólicas como cambios genéticos y epigenéticos que se acumulan a lo largo del tiempo. Normalmente, las células cancerosas se caracterizan por un crecimiento y proliferación anormales, señalización autocrina sostenida, evasión de los supresores del crecimiento, angiogénesis, inmortalidad replicativa, recableado metabólico, invasión y metástasis. Estas propiedades confieren a las células cancerosas la capacidad de sobrevivir y prosperar incluso en condiciones de estrés (Mishra et al., 2021, p. 1629).

Se ha descubierto que los hongos comestibles son ricos en diversas macromoléculas bioactivas farmacológicamente importantes que le confieren posibles propiedades antineoplásicas (Mishra et al., 2021, p. 1629). Los componentes anticancerígenos de los hongos son antroquinonol, cordicepina, hispolon, lectina, krestin, polisacárido, polisacárido sulfatado, lentinano y fracción D de Maitake (Park, 2022, p. 3).

Se han aislado compuestos biológicos activos con efectos antiproliferativos de macrohongos comestibles y medicinales, que posiciona a los polisacáridos y polifenoles como alternativa para aliviar el cáncer. Estos hallazgos sugieren que algunos hongos pueden actuar sinérgicamente en combinación con medicamentos anticancerígenos comerciales para el tratamiento de cánceres resistentes a los medicamentos, debido a su alta prevalencia y tratamiento complejo. La ciencia está en búsqueda de nuevos métodos de tratamiento que pueda prevenir o apoyar a los tratamientos tradicionales y emplearlos como alternativa terapéutica (Martínez-Medina et al., 2021, p. 10).

Los estudios indican que *Pleurotus* puede servir como un potente agente para suprimir el crecimiento, la proliferación, la angiogénesis y la metástasis de líneas de células cancerosas. El tratamiento de células cancerosas *in vitro* e *in vivo* con los extractos de *Pleurotus* conduce a la inducción y supresión de varias cascadas de señalización que resultaron en la inhibición del crecimiento, la proliferación, la angiogénesis y la metástasis en células cancerosas, así como en la promoción de la apoptosis (Mishra et al., 2021, p. 1629). Por otro lado, Patel y Goyal (2012, p. 2) reportan que los géneros de hongos que poseen características anticancerígenas son *Pleurotus*, *Phellinus*, *Agaricus*, *Clitocybe*, *Ganoderma*, *Trametes*, *Anrotdia*, *Xerocomus*, *Cordyceps*, *Schizophyllum*, *Calvatia*, *Flammulina*, *Inonotus*, *Suillus*, *Albatrellus*, *Inocybe*, *Funlia*, *Russula*, *Lactarius* y *Fomes*.

### Propiedades inmunomoduladoras

La inmunomodulación es la propiedad medicinal de los hongos más explotada, debido a que estimulan el sistema inmunitario innato como el adaptativo (Yadav et al., 2021, p. 10) Por otro lado, el empleo de los hongos se debe a sus características nutricionales y medicinales, que durante siglos han servido en el área terapéutica por su contenido de



metabolitos secundarios. Varios extractos de hongos disminuyen significativamente la actividad de mediadores inflamatorios como el óxido nítrico (NO), las prostaglandinas y las citosinas, lo que inhibe la actividad de los macrófagos y reduce la inflamación celular. Es por ello que la investigación médica ha evaluado la función de los hongos en el sistema inmunitario (Martínez-Medina et al., 2021, p. 10; Yadav et al., 2021, p. 10).

#### Propiedades antienviejimiento

El envejecimiento es atribuido a una reducción de los mecanismos fisiológicos del cuerpo, conduciendo a una mayor susceptibilidad a los trastornos, por lo cual el consumo de hongos con alto contenido de ergotioneína puede contribuir a tener una vida larga y saludable. Esta molécula reduce el riesgo de trastornos neurodegenerativos como la demencia y enfermedades como Alzheimer, esclerosis lateral amiotrófica, Huntington y Parkinson (Apparoo et al., 2024, p. 1; Liuzzi et al., 2023, p. 3; Yadav et al., 2021, p. 14). Estudios en modelos animales han demostrado que la eliminación selectiva de células senescentes mejora la esperanza y calidad de vida en ratones envejecidos. Asimismo, se ha propuesto que la ergotioneína pudiera actuar como agente antisenesencia. Sin embargo, solo existe un estudio que ha investigado la administración de esta molécula en humanos, cuyos resultados son limitados, ya que la administración se realizó solo durante una semana (Apparoo et al., 2024, p. 4; Liuzzi et al., 2023, p. 3).

#### Propiedades hepatoprotectores

El daño al hígado es causado principalmente por el estrés oxidativo. Los hongos, al ser una fuente rica en compuestos bioactivos, se han utilizado para obtener un efecto curativo en este órgano, particularmente en casos de trastornos hepáticos o la fibrosis hepática. En algunas variedades de setas se encontró que poseen propiedades hepatoprotectoras, por ejemplo, los extractos de *Lentinus edodes* (100 mg/kg de peso corporal) son altamente efectivos para reducir la proliferación de los niveles de alanina transaminasa y aspartato transaminasa inducidos al hígado por paracetamol. Además, algunos hongos contienen compuestos antibacterianos y antifúngicos que les ayudan a sobrevivir en su entorno natural. Estos mismos compuestos han despertado interés en la medicina debido a su capacidad para combatir infecciones y proteger el hígado (Kumar et al., 2021, p. 9). En la medicina tradicional china se ha practicado el potencial protector o curativo de la ergotioneína, aun sin tener una evidencia concreta sobre ello. Por otro lado, se ha evaluado el tratamiento con tioacetamina en ratas después de la inducción de fibrosis hepática, reduciendo los niveles de hidroxiprolina hepática y mejorando la histología del hígado (Yadav, et al., 2021, p. 13).

#### Propiedades hipoglucémicas

La diabetes mellitus es una enfermedad crónico-degenerativa con alta prevalencia. En México, la prevalencia prediabetes fue de 22.1% (17.6 millones de personas); la prevalencia de diabetes diagnosticada fue de 12.6% y la de diabetes no diagnosticada, de 5.8%, resultando en un total de 18.3% (14.6 millones de personas) (Basto-Abreu, et al., 2023, p. 166). En la búsqueda de alternativas terapéuticas con menos efectos adversos, se ha investigado el potencial de productos naturales, incluyendo hongos, debido a su efecto hipoglucémico demostrado en estudios *in vitro* e *in vivo* (Martínez-Medina et al., 2021, p. 11). Los hongos tienen efectos antiglicémicos atribuidos a compuestos como los polisacáridos  $\alpha$ -glucanos y  $\beta$ -glucanos. Además, los compuestos proteicos y moléculas polifenólicas derivadas de hongos también han mostrado eficacia en la inhibición de enzimas clave en la digestión de carbohidratos, como la  $\alpha$ -glucosidasa o  $\alpha$ -amilasa (Martínez-Medina et al., 2021 p. 11).

#### Propiedades antimicrobianas

Muchas bacterias han desarrollado resistencia a algunos antibióticos comerciales y, por lo tanto, existe preocupación por la aparición de nuevos patógenos con alta resistencia a los antibióticos, derivada de su uso excesivo, dando lugar a la búsqueda de moléculas con propiedades antimicrobianas, cuyos productos sean derivados de formas naturales. Una alternativa son los hongos, que tienen la capacidad de producir compuestos que les permiten sobrevivir en su hábitat natural y podrían ser aprovechados como compuestos contra un conjunto de bacterias importantes como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, entre otros (Martínez-Medina et al., 2021, p. 10).

Se ha reportado una alta sensibilidad *in vitro* de *Staphylococcus aureus* ante el extracto metanólico de *Pleurotus eous* (MEPE). Adicionalmente se ha investigado sus mecanismos antibacterianos, utilizando microscopía electrónica de barrido, ensayos de permeabilidad y análisis de integridad de membrana. Los análisis fitoquímicos realizados mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) muestran una eficacia significativa ( $p < 0.05$ ) contra bacterias Grampositivas (*S. aureus*). Además, el tratamiento con MEPE incrementa la permeabilidad de la membrana en 60.32 % de los aislamientos, y en modelos animales se observa una reducción en los niveles de TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e IL-6, sugiriendo su potencial para tratar infecciones por *S. aureus* (Dash et al., 2024, p. 1).

### Protección contra rayos UV

La piel es el órgano más grande del cuerpo y el receptor de muchas reacciones de oxidación, que le causan daño y envejecimiento prematuro. La ergotioneína se distribuye a través de la dermis y epidermis para movilizar el transporte de cationes (OCTN-1) que se encuentran en células de la capa basal y granular, y tiene la capacidad de proliferar y dividirse activamente para reparar y renovar la piel (Liu et al., 2023, p. 3).

La ergotioneína tiene potencial para ser un producto de protección solar debido a su espectro de absorción en el rango UV, posee un coeficiente de extinción molar de  $1.4 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  y una longitud de onda máxima de 257 nm. La molécula de tiona que conforma su estructura puede actuar como un filtro UV para proteger la piel de estos rayos UV y, al mismo tiempo, producir compuestos bioactivos que funcionan como una barrera (Liu et al., 2023, p. 10). Asimismo, la ergotioneína aumenta el nivel de glutatión reducido y protege a las células de la inducción de una delección común del mtADN en fibroblastos primarios humanos irradiados con UV, que son asociados al fotoenvejecimiento (Bazela et al., 2014, p. 52). Por lo tanto, la ergotioneína obtenida del consumo de hongos protege a las células de la piel de la radiación UV, considerando que esto se debe a las propiedades de absorción que posee la molécula.

En una comparación del efecto de tres antioxidantes (ergotioneína, ácido ferúlico y glutatión) contra el fotoenvejecimiento de la piel, se encontró que los tres inhiben la producción de ROS inducidas por la irradiación ultravioleta B, concluyendo que estos antioxidantes pueden tener aplicaciones cosméticas y antienvjecimiento (Tsay et al., 2021, p. 4). Diversos estudios han demostrado que los rayos UV ocasionan una sobreproducción de oxidantes reactivos, como el peróxido de hidrogeno y las especies reactivas de nitrógeno, específicamente el NO. Por otro lado, se ha encontrado que la generación de ROS causa daño oxidativo a los componentes celulares de la piel (Chen et al., 2021, p. 501). Por otro lado, utilizando la piel de ratones y modelos celulares, otros autores sugieren que la ergotioneína podría proteger la piel o las células del daño causado por los rayos UV o los fármacos que dañan el ADN; además, activa la señalización PI3K/Akt/Nrf2 para proteger la piel contra la exposición a los rayos UV y mantener la viabilidad celular de la muerte celular inducida por etopósido (Li et al., 2024, p. 10).

### Conclusiones

La ergotioneína es un compuesto abundante en los hongos comestibles, con capacidad antioxidante para proteger a las células contra el estrés oxidativo, neutralizando radicales libres y reduciendo los daños celulares provocados por la oxidación. Se sugiere que influye en la prevención de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, así como en el fortalecimiento del sistema inmunológico y la reducción del envejecimiento celular. Por otro lado, los hongos comestibles, además de ser productos de primera calidad por sus cualidades nutricionales y medicinales, contienen componentes bioactivos que pueden emplearse para el desarrollo de alimentos funcionales y productos cosméticos. Estos alimentos, enriquecidos con compuestos como la ergotioneína, pueden promover la salud al fortalecer el sistema inmunológico, proteger el sistema nervioso central y prevenir enfermedades derivadas del estrés oxidativo mitocondrial. El uso de la ergotioneína, como componente antioxidante derivado de hongos comestibles, es un tema relevante en la investigación, ya que mejora la calidad nutricional de la dieta. Los resultados indican que esta molécula es prometedora para contribuir a una vida más saludable y una longevidad activa. Sin embargo, se necesita profundizar en la comprensión de su mecanismo de acción y su aplicabilidad clínica para aprovechar su potencial.

### Referencias bibliográficas

- Apparoo, Y., Phan, C., Kuppasamy, U., y Chan, C. (2024). Potential role of ergothioneine rich mushroom as anti-aging candidate through elimination of neuronal senescent cells. *Brain Research*, 1824, 148693. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2023.148693>
- Atila, F., Nadhim, M., y Ali Shariati, M. (2017). The nutritional and medical benefits of *Agaricus bisporus*. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(3), 281–286. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017/18.7.3.281-286>
- Basto-Abreu, A., López-Olmedo, N., Rojas-Martínez, R., Aguilar-Salinas, C. A., Moreno-Banda, G. L., Carnalla, M., Rivera, J. A., Romero-Martínez, M., Barquera, S., y Barrientos-Gutiérrez, T. (2023). Prevalencia de prediabetes y diabetes en México: Ensanut 2022. *Salud pública de México*, 65, s163–s168. <https://doi.org/10.21149/14832>
- Bazela, K., Solyga-Zurek, A., Debowska, R., Rogiewicz, K., Bartnik, E., y Eris, I. (2014). L-ergothioneine protects skin cells against UV-induced damage—A preliminary study. *Cosmetics*, 1(1), 51–60. <https://doi.org/10.3390/cosmetics1010051>
- Borodina, I., Kenny, L. C., McCarthy, C. M., Paramasivan, K., Pretorius, E., Roberts, T. J., van der Hoek, S. A., y Kell, D. B. (2020). The biology of ergothioneine, an antioxidant nutraceutical. *Nutrition Research Reviews*. 33(2), 190–217. <https://doi.org/10.1017/S0954422419000301>

- Chen, J., Liu, Y., Zhao, Z., y Qiu, J. (2021). Oxidative stress in the skin: Impact and related protection. *International Journal of Cosmetic Science*, 43 (5), 495-626. <https://doi.org/10.1111/ics.12728>
- Chun, S., Gopal, J., y Muthu, M. (2021). Antioxidant activity of mushroom extracts/polysaccharides their antiviral properties and plausible AntiCOVID-19 properties. *Antioxidants*, 10(12), 1899. <https://doi.org/10.3390/antiox10121899>
- Costa, R., y Gantner, D. (2020). Macronutrients, minerals, vitamins and energy. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 21 (3), 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2019.12.006>
- Cuevas-González, B. (2009). Recetas de Setas. Comisión Nacional Federal (CONAFOR). <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Recetas-para-Setas.pdf>
- Dash, P., Kar, B., Gochhi, M., Ghosh, G., Rai, V. K., Das, C., Pradhan, D., Rajwar, T. K., Halder, J., Dubey, D., Manoharadas, S., y Rath, G. (2024). Antimicrobial properties of the edible pink oyster mushroom, *Pleurotus eous*: *In-vivo* and *in-vitro* studies. *Microbial Pathogenesis*, 196(106915). <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106915>
- Da Silva, A., y Neuza, J., (2011). Antioxidant properties of *Lentinus edodes* and *Agaricus blazei* extracts: Antioxidant properties of mushrooms. *Journal of Food Quality*, 34(6), 386–394. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00416.x>
- Deepalakshmi, K., Y Sankaran, M. (2014). *Pleurotus ostreatus*: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of Biochemical Technology*, 5(2), 718-726. <https://jbiochemtech.com/storage/models/article/NG23jvirki6MsPU83nHuA6CbEMW8XcyYx1abn0BuLqBOKsnuWPknyki9rj5/pleurotus-ostreatus-an-oyster-mushroom-with-nutritional-and-medicinal-properties.pdf>
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androustos, O., y Gortzi, O. (2022). Nutritional composition and biological properties of sixteen edible mushroom species. *Applied Sciences* 12(16), 8074. <https://doi.org/10.3390/app12168074>
- Dubost, N., Ou, B., y Beelman, R. (2007). Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 105(2), 727–735. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.030>
- Egra, S., Irawan W., Enos A., y Harlinda K. (2019). The potential of white-oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as antimicrobial and natural antioxidant. *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*, 17(1). <https://doi.org/10.13057/biofar/fl70102>
- Gutiérrez, R., Reyes, C., Martínez, J., López, J., y Lalalde, B. (2018). Estrés oxidativo: promotor de enfermedades. *IBN Sina Revista electrónica semestral en Ciencias de la Salud*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.48777/ibnsina.v9i1.91>
- Han, Y., Tang, X., Zhang, Y., Hu, X., y Ren, L.-J. (2021). The current status of biotechnological production and the application of a novel antioxidant ergothioneine. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 580–593. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1869692>
- Josiane, M., Estelle, M., Francis, N., y Kamdem, S. (2018). Effect of substrates on nutritional composition and functional properties of *Pleurotus ostreatus*. *Current Research in Agricultural Sciences*, 5(1), 15–22. <https://doi.org/10.18488/journal.68.2018.51.15.22>
- Kumar, K., Mehra, R., Guiné, F., Lima, J., Kumar, N., Kaushik, R., Ahmed, N., Yadav, A. N., y Kumar, H. (2021). Edible mushrooms: A comprehensive on bioactive compounds with health benefits and processing aspects. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(12), 2996. <https://doi.org/10.3390/foods10122996>
- Lam-Sidun, D.; Peters, KM; Borradaile, NM (2021). Mushroom-derived medicine? Preclinical studies suggest potential benefits of ergothioneine for cardiometabolic Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22, 3246. <https://doi.org/10.3390/ijms22063246/>
- Li, Y., Gao, J., Liu, S., Chen, S., Wei, X., Guan, Y., y Zhang, Y. (2024). Ergothioneine Protects Against UV-Induced Oxidative Stress Through the PI3K/AKT/Nrf2 Signaling Pathway. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 17, 1309–1319. <https://doi.org/10.2147/CCID.S449987>
- Liu, H.-M., Tang, W., Wang, X.-Y., Jiang, J.-J., Zhang, W., y Wang, W. (2023). Safe and effective antioxidant: the biological mechanism and potential pathways of ergothioneine in the skin. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(4), 1648. <https://doi.org/10.3390/molecules28041648>
- Liuzzi, G, Petraglia, T., Latronico, T., Crescenzi, A. y Rossano, R. (2023). Antioxidant compounds from edible mushrooms as potential candidates for treating age-related neurodegenerative diseases. *Nutrients*, 15(8), <https://doi.org/10.3390/nu15081913>
- Martínez-Medina, G., Chávez-González, M., Verma, D., Prado-Barragán, L., Martínez-Hernández, J., Flores-Gallegos, A., Thakur, M., Srivastav, P., y Aguilar, C. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothioneine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, 77(104326), 104326. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104326>

- Muszyńska, B., Kała, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., y Opoka, W. (2017). Composition and biological properties of *Agaricus bisporus* fruiting bodies- a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(3), 173–181. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0032>
- Nachimuthu, S., Kandasamy, R., Ponnusamy, R., Deruiter, J., Dhanasekaran, M., y Thilagar, S. (2019). L-Ergothioneine: A potential bioactive compound from edible mushrooms. *Medicinal Mushrooms*. Springer, Singapore. 5(Chapter 16), 391–407 [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6382-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6382-5_16)
- Oyetayo, O., y Ariyo, O. (2013). Micro and macronutrient properties of *Pleurotus ostreatus* cultivated on different wood substrates. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 6(3), 223–226. <https://doi.org/10.12816/0001537>
- Park, H. (2022). Current uses of mushrooms in cancer treatment and their anticancer mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10502. <https://doi.org/10.3390/ijms231810502>
- Patel, S., Goyal, A. (2012). Recent developments in mushrooms as anti-cancer therapeutics. *Biotech* 2, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13205-011-0036-2>
- Permatasari, W., Dayanti, D., Khaerunnisa, I. y Winarni, S. (2020). The new super antioxidant Ergothioneine in *Pleurotus ostreatus*. *The International Journal of Health, Education and Social (IJHES)*, 3(10), 23-33. <https://doi.org/10.1234/ijhes.v3i10.122>
- Royse, D. J., Baars, J., y Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In *Edible and Medicinal Mushrooms* (pp. 5–13). <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Sheikha, A. F., y Hu, D.-M. (2018). How to trace the geographic origin of mushrooms? *Trends in Food Science & Technology*, 78, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.008>
- Tsay, G. J., Lin S.-L., Li, c. Y., Mau, J.-L., y Tsai, S.-Y. (2021). Comparison of Single and Combined Use of Ergothioneine, Ferulic Acid, and Glutathione as Antioxidants for the Prevention of Ultraviolet B Radiation-Induced Photoaging Damage in Human Skin Fibroblasts. *Processes* 9(7), 1204. <https://doi.org/10.3390/pr9071204>
- Tsiantas, K., Tsiaka, T., Koutrotsios, G., Siapi, E., Zervakis, G. I., Kalogeropoulos, N., y Zoumpoulakis, P. (2021). On the identification and quantification of ergothioneine and lovastatin in various mushroom species: Assets and challenges of different analytical approaches. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(7), 1832. <https://doi.org/10.3390/molecules26071832>
- Ucar, T., y Karadag, A. (2019). The effects of vacuum and freeze-drying on the physicochemical properties and *in vitro* digestibility of phenolics in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Measurement & Characterization*, 13(3), 2298–2309. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00149-w>
- USITC. (2010). United States International Trade Commission. [https://www.usitc.gov/publications/332/ITS\\_7.pdf](https://www.usitc.gov/publications/332/ITS_7.pdf)
- Usman, M., Murtaza, G., y Ditta, A. (2021). Nutritional, medicinal, and cosmetic value of bioactive compounds in button mushroom (*Agaricus bisporus*): *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(13), 5943. <https://doi.org/10.3390/app11135943>
- Vargas, M. y Saavedra, A. (2019). Función de antioxidantes en la diabetes mellitus. <https://www.saberemas.umich.mx/archivo/articulos/343-numero-40/621-funcion-de-antioxidantes-en-la-diabetes-mellitus.html>
- Yadav, D., y Negi, P. (2021). Bioactive components of mushrooms: Processing effects and health benefits. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 148(110599), 110599. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110599>
- Zhang, K., Pu, Y.-Y., Y Sun, D.-W. (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Trends in Food Science & Technology*, 78, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>



<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a17>

<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>

<https://www.facebook.com/avacient>