

Potencial farmacológico y biotecnológico de *Hericum erinaceus*: una revisión Pharmacological and biotechnological potential of *Hericum erinaceus*: a review

S. Bolaños-Campos ^{a,*}, L. Romero-Bautista ^a

^a Laboratorio de Micología Integral, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184.

Resumen

Hericum erinaceus es un hongo comestible cultivado que ha despertado el interés de la comunidad científica por sus compuestos bioactivos y sus posibles aplicaciones. El objetivo del presente trabajo fue revisar información acerca de los usos potenciales de esta especie, tanto de su micelio, basidioma, o derivados, mediante una búsqueda especializada en revistas de alto impacto. Se encontró que es una fuente de suplementos dietéticos y de bioactivos naturales; contiene al menos ciento dos compuestos bioactivos y se ha empleado en la farmacología como antimicrobiano, antidepresivo, mejorador de las funciones cognitivas y mitigador de la osteoartritis. En el área biotecnológica es usado para la construcción de hidrogeles, fortificante alimenticio, cultivo a escala industrial y una alternativa alimenticia vegana asemejando a los mariscos. Puede ser utilizado en los procesos de biorremediación y biodegradación, además se considera un alimento funcional que puede aplicarse en el desarrollo de nuevas tecnologías que impulsen la innovación de alimentos y la elaboración de nuevos medicamentos.

Palabras Clave: Compuestos bioactivos, farmacología, biotecnología, productos funcionales.

Abstract

Hericum erinaceus is a cultivated edible mushroom that has caught the interest of the scientific community for its bioactive compounds and its potential applications. The objective of the present work was to review information about the potential uses of this mushroom, its mycelium, basidiome, or derivatives, by specialized research in high-impact journals. It was found that is a source of dietary supplements and natural bioactives; contains at least one hundred two bioactive molecules and has been used in pharmacology as an antimicrobial, antidepressant, cognitive function enhancer and osteoarthritis ameliorator. In the biotechnological area has been used for hydrogel construction, food fortifier, cultivation on an industrial scale and as a vegan alternative food to seafood. It can be used in bioremediation and biodegradation processes, and is also considered a functional food that can be applied in the development of new technologies that promote food innovation and the development of new medicines.

Keywords: Bioactive molecules, pharmacology, biotechnology, functional foods.

1. Introducción

Los hongos son un grupo de organismos que se encuentran dentro del reino *Fungi* debido a sus características que en su conjunto los hace diferentes a otros organismos: nutrición heterótrofa, descomponedores de materia orgánica, pared celular de quitina, estructura general a base de micelio, producción de esporas, entre otras.

Dentro de este reino se encuentra el grupo de los basidiomicetos, hongos de importancia debido a su participación en la naturaleza y la versatilidad de las especies que los constituyen. Algunos forman

ectomicorrizas, otros causan enfermedades como las royas o los carbones, y se encuentran también especies comestibles que se cultivan con fines nutritivos e incluso comerciales. Así mismo, a este grupo pertenecen algunas especies con importancia en la medicina por contener metabolitos con actividad biológica contra una amplia gama de patologías clínicas (Peralta *et al.*, 2017; Rojas, 2013).

En el mundo, muchas especies tienen aplicaciones en áreas como la biotecnología debido a sus propiedades ya sean, medicinales, alimenticias, alucinógenas o toxicológicas, entre otras.

*Autor para la correspondencia: bo353643@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: bo353643@uaeh.edu.mx (Sergio Bolaños-Campos), romerob@uaeh.edu.mx (Leticia Romero-Bautista).

Historial del manuscrito: recibido el 19/04/2024, última versión-revisada recibida el 16/08/2024, aceptado el 12/09/2024, en línea (postprint) desde el 30/09/2024, publicado el 05/07/2025. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v13i25.12796>

Una de las aplicaciones con mayor relevancia en la biotecnología es la biorremediación, que emplea organismos biológicos para remediar, reestablecer o devolver suelo, agua o aire a un estado limpio y libre de contaminantes o al menos, disminuir la concentración de contaminantes a niveles no perjudiciales para la salud y el ambiente (Barrantes-Jiménez *et al.*, 2024).

Algunas especies fúngicas tienen la capacidad de degradar la lignina, celulosa y/o hemicelulosa. Los degradadores de madera se pueden clasificar en pudrición blanda, pudrición parda o marrón y pudrición blanca, las últimas dos realizadas por basidiomicetos, de acuerdo con Peralta *et al.* (2017) y Sánchez (2022) los de pudrición blanca son llamados así debido a la apariencia blanquecina en la madera que han invadido; entre las especies de pudrición blanca se destacan *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler., *Trametes versicolor* (L: Fr.) Quél., *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kumm., *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., y especies del género *Hericium*, como *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers., *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. y *Hericium cirrhatum* (Pers.) Nikol (Boddy *et al.*, 2011).

1.1. *Hericium*

De acuerdo con Kirk *et al.* (2008) el género *Hericium* se encuentra clasificado en el reino fungi, Fila Basidiomycota, clase Agaricomycetes, Incertae sedis, en el orden de los Russulales y familia *Hericiaceae*.

Todas las especies en este género se caracterizan por su basidioma compuesto de espinas descendentes, y su color blanco cremoso que se torna marrón al envejecer (Stamets, 2011). Así mismo, sus especies son saprotróficas encontrándose en maderas de árboles en descomposición (como el roble, haya, nogal o arce), se distribuyen ampliamente en el hemisferio norte, principalmente en Norteamérica (EE. UU y México), Europa (Francia, Reino Unido, Alemania, Países Bajos y España) y raramente en Asia (China, Corea, Japón e India); en general, se considera que las especies pertenecientes al género *Hericium* son comestibles (Kalucka & Olariaga, 2019; Boddy *et al.*, 2011).

1.2. *H. erinaceus*

Este hongo es conocido por diferentes nombres, como melena de león “Lion's Mane”, cabeza de mono “Monkey's head mushroom”, diente barbudo “Bearded tooth”, erizo barbudo “Bearded hedgehog”, “Yamabushitake” en Japón, “Houtou” o “Shishigashira” en China y en México como Pechuga de guajolote o “Ji'i kolo” en mixteco (Thongbai *et al.*, 2015; Itahí y Aguilar, 2019), y es prescrito en la medicina tradicional China, además, de ser cultivado ampliamente con fines culinarios. Debido a que se le atribuyen propiedades (medicinales) a su micelio, basidioma y a su vez, a sus compuestos activos (los cuales pueden variar de acuerdo al tipo de extracto empleado), *H. erinaceus* ha sido objeto de estudio durante los últimos años (Tabla 1).

Pese a las propiedades que se le atribuyen a *H. erinaceus*, su identificación taxonómica y genética es complicada debido a que otras especies del mismo género son similares morfológicamente, tanto en la fase micelial como en su basidioma (Lu *et al.*, 2002).

Tabla 1: Propiedades medicinales de *Hericium erinaceus*.

Función	Tipo de extracto	Referencias
Antitumoral	Extracto micelial y de basidiomas	Li <i>et al.</i> (2010); Li <i>et al.</i> (2014).
Inmunomodulador	Extracto de basidioma	Lee <i>et al.</i> (2009).
Anti-hiperglucémico	Extracto de basidioma	Liang <i>et al.</i> (2013).
Neuroprotector	Extracto de Basidioma	Mori <i>et al.</i> (2009).

Por lo que el uso de marcadores moleculares como son espaciadores transcritos internos (ITS) del DNA ribosomal han sido útiles para diferenciar a *H. erinaceus* de otras especies de hongos (Friedman, 2015a; Páez-Olivan *et al.*, 2022).

En el análisis molecular realizado por Hallenberg *et al.* (2012) se reveló que, en un árbol de consenso bayesiano 26 secuencias ITS de *H. erinaceus* provenientes de Norteamérica (EE. UU y Canadá), Asia Oriental (Japón, Corea, China y Malasia) y Europa (Holanda y Reino Unido) se agruparon en tres subclados que se encuentran influenciados principalmente por las condiciones geográficas específicas. Esto sugiere que se requiere realizar un mayor número de estudios de este tipo que puedan esclarecer las relaciones filogenéticas del género *Hericium*, así como establecer si el hongo presente en América, Europa y Asia representan a la misma especie identificada como *H. erinaceus*.

El objetivo del presente trabajo es revisar información actualizada sobre estudios biotecnológicos y farmacológicos realizados durante los últimos cinco años (2018-2023) empleando algún derivado químico obtenido del hongo identificado como *H. erinaceus*.

2. Materiales y método

El presente trabajo fue realizado a través de una búsqueda electrónica de material científico en revistas de alto impacto publicadas en Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos (PubMed), ScienceDirect, SpringerLink, Elsevier, Instituto Multidisciplinario de Publicaciones Digitales (MDPI) y Nature sobre los usos biotecnológicos y farmacológicos dados a la especie identificada como *H. erinaceus*. Las palabras clave utilizadas incluyeron: medicinal mushrooms, edible mushrooms, *Hericium* isolates, *Hericium* extracts, *H. erinaceus* mycelium, cultivation, uses, applications, bioactive compounds, pharmacology, effects, properties, biotechnology, potential and activity. Esta investigación explora principalmente literatura de periodo comprendido entre 2018 a 2023 ya que busca ofrecer una visión actualizada.

2.1. Selección de artículos

Inclusión: Se seleccionaron estudios dentro de un rango de 5 años (2018-2023) que emplearon algún tipo de extracto derivado del basidioma y/o micelio de la especie identificada como *H. erinaceus*, fases pre clínicas *in vivo*, fases clínicas con extractos, píldoras y suplementos derivados del hongo molido, creación de polímeros formulados a base de alguna parte o derivado de *H. erinaceus*, uso como degradador de residuos y uso como suplemento alimenticio.

Exclusión: Se excluyeron estudios que estuvieron fuera del rango de años establecidos, así como literatura gris (tesis, artículos de divulgación y reportes técnicos).

3. Contenido nutrimental y compuestos activos de *H. erinaceus*

De acuerdo con Fernandes *et al.* (2021) los hongos cultivables como *H. erinaceus* son una fuente de suplementos dietéticos y de bioactivos naturales responsables del tratamiento o prevención de enfermedades a través del mejoramiento del sistema inmunológico, que, a su vez, depende del perfil nutrimental de los hongos, en general, son ricos en aminoácidos libres, ácido glutámico y diversos compuestos volátiles (Friedman, 2015a).

Según Stamets (2011), el contenido nutrimental de *H. erinaceus* se enlista en la Tabla 2.

3.1 Compuestos bioactivos

En las revisiones realizadas por Thongbai *et al.* (2015) y Friedman (2015a) describen en detalle las estructuras químicas de algunos compuestos encontrados de *H. erinaceus*.

De acuerdo con el trabajo de Gonkhom *et al.* (2021) que comprende información desde 2012 a 2021, con los autores enlistados en la Tabla 3 y Yang *et al.* (2021) se han aislado alrededor de 102 compuestos activos de *H. erinaceus* los cuales incluyen ácidos orgánicos, nucleótidos, aminoácidos, carbohidratos, flavonoides, ácidos grasos insaturados, terpenoides, ácidos fenólicos, fenilpropanoides y esteroides.

Así mismo Szućko-Kociuba *et al.* (2023) describen la actividad biológica que tienen los metabolitos aislados de *H. erinaceus* en diferentes líneas celulares de prueba u organismos.

Tabla 2: Contenido nutrimental aproximado de *Hericium erinaceus*.

Contenido	Cantidad
Calciferol	240 IU/ 100g
Calcio	1.3 mg/ 100g
Carbohidratos	17.6 g/ 100 g
Ceniza	9.8 g/ 100 g
Energía	233kcal/ 100 g
Ergosterol	381 mg/ 100 g
Fibra dietética	30 g/ 100 g
Fósforo	1.22 g/ 100 g
Grasas	4 g/ 100 g
Hierro	20.3 mg/ 100 g
Magnesio	123 mg/ 100 g
Niacina	18.3 mg/ 100 g
Potasio	4.46 mg/ 100 g
Proteína	31.7 g/ 100 g
Riboflavina	3.91 mg/ 100 g
Sodio	1.2 mg/ 100 g
Tiamina	5.33 mg/ 100 g

Tabla 3: Compuestos bioactivos aislados de *Hericium erinaceus*.

Compuesto	Efecto	Línea celular/ Bioensayo	Referencias
Hericeno A; N-de feniletil isohericerina; 4-[3',7'-dimetil 2',6'-octadienilo]-2-formil-3-hidroxi-5-metil oxibencílico; Isohericerina	Inhibidores de la actividad de la α -glucosidasa	No aplica	Miyazawa <i>et al.</i> (2012)
Erinacina C	Induce la síntesis de (NGF) factor de crecimiento nervioso	Células astrogiales de ratón	Wolters <i>et al.</i> (2015)
Hericenonas A y B	Citotoxicidad	Células HeLa	Sokól <i>et al.</i> (2015)
Hericenonas C, D, E y H; Erinacinas A, B, C, E, F y H; Ericerina A	Induce la síntesis de NGF	Células astrogiales de ratón	
Erinapironas A y B;	Citotoxicidad	Células HeLa	Chen <i>et al.</i> (2017)
Hericerina A;	Citotoxicidad	Células HL-60	
Erinacina Z1.	Inductor débil de neurotrofina	Células PC12	Rupcic <i>et al.</i> (2018)
Isoherinacina; Isohericerinol A.	Induce la síntesis de NGF	Células C6 y N2a	Ryu <i>et al.</i> (2021)

4. Potencial farmacológico y biotecnológico

4.1 Potencial farmacológico

Las enfermedades infecciosas, la resistencia a los antibióticos, así como el trastorno depresivo mayor y la osteoartritis son una gran amenaza a la salud pública y, por tanto, se han desarrollado estudios con la finalidad de identificar compuestos naturales que puedan tratar estos problemas (Friedman, 2015b).

Dado que, *H. erinaceus* ha demostrado tener compuestos activos y propiedades que pueden ser aprovechadas potencialmente en áreas como la farmacología, en las secciones siguientes se describen algunos usos que se le han dado a esta especie.

4.2 Antimicrobiano

En el estudio realizado por Suleiman *et al.* (2022) se evaluó la actividad antimicrobiana de los extractos del hongo identificado morfológicamente como *H. erinaceus*, y cómo la polaridad de algunos solventes usados en su elaboración (agua, etanol, acetonitrilo, acetona, cloroformo y acetato de etilo) afectan esta propiedad; para la prueba se utilizaron: *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MRSA por sus siglas en inglés), *Streptococcus mutans*, *Enterobacter cloacae*, *Salmonella typhimurium* y *Candida lipolytica*. Se concluyó que, *E. cloacae* fue la bacteria más susceptible, seguida de *S. typhimurium*, mientras que, *S. aureus* mostró resistencia a todos los extractos con excepción de la acetona (como solvente) cuyo efecto fue débil. En cuanto a los extractos, en el que se empleó acetato de etilo como solvente demostró tener la mayor efectividad antimicrobiana, seguido de la acetona, cloroformo y acetonitrilo (solventes no polares), mientras que el agua y el etanol (solventes polares) tuvieron una actividad antimicrobiana que varía de débil a moderada. En este estudio en el que se abordan de manera muy general las distintas propiedades antimicrobianas de *H. erinaceus*, los autores mencionan que la identificación del hongo empleado se basó en los caracteres morfológicos generales de la especie, además de ser colectado de manera silvestre, por lo que se recomendaría la obtención de la especie en algún instituto o proveedor que disponga de una cepa secuenciada o en su defecto, realizar la identificación del hongo con base en análisis moleculares.

De la misma manera, Narmuratova *et al.* (2023) estudiaron la actividad antimicrobiana de los extractos de acetato de etilo con masa micelial de *H. cirrhatum*, *H. coralloides* y *H. erinaceus* en bacterias Gram positivas (*Bacillus subtilis* y *S. aureus*) y Gram negativas (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*). Como resultado observaron que los extractos de los hongos empleados tuvieron una actividad antimicrobiana de moderada a alta contra *S. aureus* mientras que con *E. coli* y *P. aeruginosa* no tuvieron el efecto esperado.

4.3 Antidepresivo

En la investigación de fase preclínica realizada por Chiu *et al.* (2018) se estudiaron los efectos antidepresivos del extracto etanólico derivado del micelio enriquecido en Erinacina A de *H. erinaceus* en un modelo de depresión inducida en 50 ratones que fueron sometidos a estrés por restricción repetida. Para el estudio, seleccionaron ratones que pesaron entre 20-25 gramos, aleatoriamente fueron asignados a 5 grupos con 10 individuos cada uno, los grupos fueron: grupo control sin estresar, grupo con estrés por restricción (grupo RS), grupo con estrés más 100 mg/kg del tratamiento con *H. erinaceus* (grupo RS + HEL), grupo con estrés más 200 mg/kg del tratamiento (grupo RS + HEM) y el grupo con estrés más 400 mg/kg del tratamiento (grupo RS + HEH). Los extractos fueron suministrados cada día de acuerdo al grupo durante 4 semanas, mientras que el grupo control y el grupo RS recibieron el mismo volumen de solución salina. Al día 15 del experimento, los ratones (con excepción del grupo Con) fueron sometidos durante 14 días (2 horas diarias) a 4 tipos de test de estrés, el primero fue el TST (Tail Suspension Test) seguidos del FST (Forced Swimming Test), el EPM (Elevated Plus Maze Test) y la OFT (Open Field Test). Para determinar los niveles de citoquinas y de neurotransmisores monoamina los ratones fueron sacrificados bajo anestesia CO₂ después de completar los test, la sangre fue recolectada en tubos EDTA y almacenados hasta su uso. El hipocampo fue rápidamente extraído y homogeneizado con suero fisiológico helado y se centrifugó a 13,000g por 10 minutos a 4 grados centígrados. Los niveles de TNF- α en plasma, IL-6 y el contenido de norepinefrina, dopamina y 5-HT en el cerebro se determinó con kits ELISA. El análisis estadístico se realizó usando SPSS en su versión 15.0 para Windows.

La comparación múltiple se analizó empleando el ANOVA de un factor con un test de Turkey post-hoc. Como resultado en las pruebas de comportamiento TST Y FST se observó un efecto anti-inmovilidad provocado por el tratamiento con *H. erinaceus* en los grupos RS + HEM y RS + HEH comparados con el grupo RS, así mismo se observó que *H. erinaceus* en dosis de 100, 200 y 400 mg/kg aumentaron el tiempo de nado en el FST. En cuanto a las concentraciones de norepinefrina, dopamina y 5-HT se observó que fueron reducidas drásticamente en el grupo RS mientras que el aumento de norepinefrina se encontró solo en dosis altas (grupos RS + HEM y RS + HEH) del tratamiento con *H. erinaceus*. También se observó que las tres concentraciones probadas aumentaron los niveles de dopamina en la región del hipocampo en contraste con el grupo RS; en los grupos RS + HEM y RS + HEH se observó que se revirtió el agotamiento de 5-HT producido por el estrés.

Los niveles de interleucina (IL)-6 y el factor de necrosis tumoral (TNF)- α en el grupo RS fueron notoriamente mayores que el grupo control; la suplementación con *H. erinaceus* a 200 y 400 mg/kg inhibieron el incremento de los niveles IL-6, mientras que en todas las dosis del

tratamiento con *H. erinaceus* se suprimieron los niveles de TNF- α en plasma. Por tanto, los autores concluyeron que la suplementación con el hongo pudo normalizar las alteraciones conductuales causadas por el estrés y que el efecto antidepressivo puede atribuirse al restablecimiento de neurotransmisores del hipocampo y la inhibición de citoquinas pro-inflamatorias. Este estudio aborda de manera amplia los efectos antidepressivos de *H. erinaceus*, aunque el tamaño de muestra de cada grupo de ratones es limitado, por lo que se sugiere aumentar el número o realizar una repetición para descartar falsos positivos en los efectos mencionados.

Vigna *et al.* (2019) en su estudio de fase clínica evaluaron si el tratamiento con *H. erinaceus* sumado a un régimen bajo en calorías mejoraba los trastornos por atracón, depresión, ansiedad y sueño en 77 voluntarios (de los cuales 62 fueron mujeres y 15 hombres, con un promedio de 53 años) afectados por sobrepeso y obesidad; Los participantes fueron aleatoriamente repartidos en 2 grupos, el grupo control conformado por 37 personas y el grupo tratamiento, conformado por 40 personas.

Ambos grupos recibieron una dieta baja en calorías (1400 kcal para mujeres y 1700 kcal para hombres), el grupo tratamiento además recibió tres cápsulas diarias durante ocho semanas de un producto comercial de *H. erinaceus* (compuesto por 80% de masa micelial y 20% extracto seco basidioma). Así mismo, los participantes fueron evaluados en 3 momentos diferentes a lo largo del estudio, el primero es al inicio del mismo (T0), la segunda evaluación (T1) se realizó a los 2 meses de empezado el estudio, el último al finalizar la suplementación con *H. erinaceus* (T2).

En cada evaluación los participantes respondieron la escala de autovaloración de depresión de Zung, la escala de autovaloración de ansiedad de Zung, la escala de atracón BES y el test SCL-90. Para el análisis estadístico utilizaron la prueba de Bartlett para homogeneizar la varianza, el ANOVA de un factor, ANOVA de dos vías y la prueba t de student. De manera general, los resultados de las evaluaciones mostraron que al inicio (T0) del estudio y al final (T2) ambos grupos (en su totalidad) no mostraron diferencias significativas para la escala de depresión de Zung, en cuanto a la escala de ansiedad, la suplementación con *H. erinaceus* mostró una mejora aproximada del 12%. En la escala de atracón BES la puntuación disminuyó en ambos grupos, lo que sugiere que la mejora se debe al régimen bajo en calorías. Así también, se verificó el efecto de la suplementación con *H. erinaceus* solo en pacientes con una sintomatología depresiva o ansiosa; del grupo tratado, se seleccionaron 16 personas con sintomatología depresiva y 15 con ansiedad. Se reveló que en T0 las personas con depresión obtuvieron un puntaje medio de 48.8 en la escala de Zung, durante T1 el valor de la media disminuyó a 43.5, para T2 el valor se mantuvo estable en 43.2. Para las personas con ansiedad, en T0 el valor de la media fue de 47.7 4 en la escala de ansiedad de Zung, en T1 el valor disminuyó a 39, para T2 el valor se mantuvo en 38.3.

Los resultados generales de la prueba SCL-90 revelaron que la depresión disminuyó 34.9% y 36% en T1 y T2 respecto a T0. En cuanto a ansiedad hubo una disminución del 49.6% en T1 mientras que en T2 se mantuvo en 41.9%

respecto a T0. Los trastornos de sueño mejoraron un 34.4% en T1 y disminuyeron un 39% en T2. Por tanto, concluyen que, *H. erinaceus* promovió una mejora en los trastornos de carácter depresivo-ansioso y de sueño. Sin embargo, hubo limitantes en el estudio, como el bajo número de pacientes y la falta de un grupo placebo que sirviera de comparación al grupo que fue sometido al tratamiento.

4.4 Mejora de la progresión de la Osteoartritis

En el trabajo de Yang *et al.* (2022) evaluaron si el tratamiento con micelio molido de *H. erinaceus* tenía algún efecto en ratas Sprague-Dawley con osteoartritis de rodilla inducida quirúrgicamente cortando una sección del ligamento cruzado anterior o ACLT por sus siglas en inglés (Anterior Cruciate Ligament Transection). Para el estudio se seleccionaron 18 ratas macho con un peso de entre 300 a 350 g y aleatoriamente fueron divididas en 3 grupos de 6 individuos: El grupo control, que fue sometido a una cirugía simulada o SHAM, el grupo que fue sometido únicamente a ACLT, y el grupo con ACLT con *H. erinaceus*. Después de dos días de la intervención, el grupo ACLT con *H. erinaceus* fue tratado con 100 mg/ kg de micelio molido diariamente durante seis semanas.

Para evaluar el dolor espontáneo después de la intervención quirúrgica se les realizó la prueba estática de incapacidad para soportar peso, también las extremidades posteriores izquierda y derecha se colocaron en sensores de presión por separado para medir la diferencia entre la carga dinámica de peso expresado en gramos. Los estadísticos fueron realizados utilizando PRISM 5.0 y dados como media $\pm$ desviación estándar. Se seleccionó la prueba de t pareada para comparar entre 2 grupos. Así mismo se utilizó un ANOVA de un factor seguido de la prueba de Bonferroni post-hoc para comparar más de dos grupos, por último, se realizó una prueba de t-Student para evaluar las diferencias entre grupos (un valor de $P < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo). Como resultado, las ratas alimentadas con *H. erinaceus* no mostraron cambios en su peso corporal, así mismo los estadísticos revelaron que las ratas tratadas con *H. erinaceus* tuvieron mejoras significativas en la asimetría de carga de peso y el dolor provocado por la ACLT, comparados con el grupo que solo se le realizó la ACLT.

En este estudio es muy acertada la cirugía placebo SHAM en los ratones, pero tiene como limitante el tamaño de muestra por lo que se precisa de ampliar el mismo para tener un bajo margen de error en los estadísticos realizados.

4.5 Mejora de las funciones cognitivas

En la investigación realizada por Saitsu *et al.* (2019) evaluaron si la ingesta oral de suplementos que contuvieran *H. erinaceus* mejoraba las funciones cognitivas en personas sanas mayores de 50 años. 31 participantes fueron repartidos aleatoriamente en dos grupos, uno placebo y otro con tratamiento, que consistió en ingerir cuatro galletas al

día durante doce semanas, cada una con 0.8 g de basidioma molido.

Iniciado el tratamiento, realizaron tres pruebas: Mini-Examen del Estado Mental o MMSE (Mini Mental State Examination), test de retención visual de Benton y un test estándar de aprendizaje verbal de asociación de pares o (S-PA) Standard verbal paired-associate learning test. Como resultado, después de seis y doce semanas, el grupo tratamiento mostró siempre mejores puntajes en el MMSE que el grupo placebo, mientras que en las otras pruebas no hubo diferencias significativas, por tanto, concluyen que *H. erinaceus* mejoró sus funciones cognitivas y previno el deterioro de las personas sometidas al tratamiento.

De forma similar a otros estudios de fase clínica mencionados anteriormente, se requiere de un mayor tamaño de muestra, por lo que una repetición del protocolo, incluyendo más participantes, ayudaría a tener más fiabilidad en los resultados.

4.6 Otros usos de *H. erinaceus*

De acuerdo con las revisiones realizadas por (Friedman, 2015a), Gonkhom et al. (2021) y Thongbai et al. (2015), *H. erinaceus* ha tenido otros usos y propiedades como son: antioxidante (Wu & Xu, 2015; Atila et al., 2018), antidiabético (Liang et al., 2013), anticancerígeno (Lee & Hong, 2010; Blagodatski et al., 2018) y antitumoral (Wang et al., 2001; Hetland et al., 2020).

5. Potencial biotecnológico

La biotecnología es un área que utiliza organismos vivos, así como sus componentes para el desarrollo de procesos o productos que benefician a la sociedad humana e impacten en varios aspectos de la vida diaria como la agricultura, la industria, el medio ambiente e incluso la seguridad alimentaria (Bentahar et al., 2023).

Bajo este término, se ha empleado a *H. erinaceus* de diferentes formas, como lo son:

5.1 Construcción y formulación de hidrogeles

En el estudio realizado por Liao et al. (2021) evaluaron cómo el grado de sustitución de la quitina carboximetilada residual derivada del proceso de extracción de polisacáridos de *H. erinaceus* afecta las propiedades físico-químicas de los diferentes hidrogeles que construyeron. Para la preparación de los hidrogeles 0.7 g de quitina fue dispersada en 9 ml de una solución de NaOH/Urea y refrigeradas a -20 °C durante 8 horas. Seguido de eso, 1 ml de monocloroacetato de sodio (en diferentes concentraciones) fue añadido a la solución de quitina, la reacción entre ambos compuestos se mantuvo en un cuarto refrigerado durante 24 horas, posteriormente se añadió lentamente 1 ml de epíclorhidrina a la solución bajo un baño de hielo durante 30 minutos.

Finalmente, la mezcla se mantuvo a 60 °C durante 2 horas. Como resultado, se observó que el grado de sustitución de carboximetilación de la quitina preparada puede incrementar si se aumenta la concentración de

monocloroacetato de sodio. Concluyen que a mayor grado de carboximetilación en los geles mayor es la capacidad de hinchamiento y de sensibilidad al pH debido al aumento de carboxilato en las cadenas de quitina, por lo que puede tener una aplicación potencial en el campo de tratamiento de aguas residuales al mejorar la carga negativa, la hidrofilicidad de la superficie, así como su capacidad de formar enlaces de hidrógeno con el agua.

De manera similar Rodríguez-Seoane et al. (2021) propusieron la elaboración de biohidrogeles utilizando extractos comerciales, así como extractos autohidrolizados de *H. erinaceus* y como solvente, licores hidrotermales de *Paulownia elongata x fortunei* (hibridación de dos especies de plantas), para enriquecer el contenido fenólico y conferir propiedades antioxidantes. Para la elaboración de los geles utilizaron 20% de *H. erinaceus*, 79 % de licores hidrotermales de *P. elongata x fortunei* y 1% de gelatina. Como resultado de las pruebas reológicas, encontraron que los geles formulados con extractos autohidrolizados de *H. erinaceus* y licores hidrotermales de *P. elongata x fortunei* tuvieron propiedades viscoelásticas más fuertes en comparación a los que formularon con extractos comerciales. En este artículo es novedoso resaltar la utilización de extractos de *Paulownia elongata x fortunei* como solvente para la preparación de este tipo de geles. Se podrían probar otros extractos provenientes de hongos que sirvan como solventes, además de poder brindar propiedades similares a las atribuidas a *Paulownia elongata x fortunei*, así mismo se recomienda explorar las aplicaciones de los hidrogeles elaborados.

5.2 Fortificante

Zhao et al. (2021) evaluaron el efecto que tenía *H. erinaceus* en la diversidad bacteriana y el sabor al ser añadido como fortificante durante la fermentación de la salsa de soya. La salsa de soya fortificada con *H. erinaceus* se elaboró en 2 etapas: la fermentación de koji y la salmuera (moromi). En la primera etapa se mezcló la soya, el trigo frito y el polvo seco de *H. erinaceus* en una relación 5:5:1, posterior a eso, la mezcla (500 g) se humedeció con 500 ml de agua y se esterilizó en autoclave 20 minutos, seguido de esto se inoculó con el koji y se cultivó a 30°C durante 12 horas, luego se agitó y volvió a cultivar durante 8 horas más. El koji y la solución de salmuera al 18% se mezclaron para la fermentación de la salmuera (moromi).

Luego se mantuvo a 30°C durante 6 meses. Pasados 60, 120 y 180 días, se recogieron muestras de las capas superiores, media e inferior para realizar las pruebas y determinar la diversidad bacteriana. Como resultado observaron que la riqueza microbiana incrementó entre los 2 y 4 meses de fermentación y decreció entre los meses 4 y 6. Así también identificaron *Firmicutes* y *Proteobacteria* como filas principales durante toda la fermentación, con una abundancia de entre 84.9% y 95.6% del total de la diversidad de bacterias. Además, revelaron que la adición de *H. erinaceus* durante la fermentación promovió la propagación de *Firmicutes*, pasando de 83% a 86.9%. *Bacillus* y *Stenotrophomonas* fueron los géneros predominantes en la salsa de soya, se encontró que la abundancia de *Stenotrophomonas* (género que posee

patógenos oportunistas de humanos) decreció significativamente tras la adición de *H. erinaceus*, lo que influyó al género *Bacillus* a incrementar su diversidad.

En este estudio se hace mención de que el hongo identificado como *H. erinaceus* fue obtenido de mercados locales, por lo que es posible que pueda corresponder a otra especie dentro del género dada su similitud morfológica. Se recomienda la identificación del mismo usando pruebas moleculares o en su defecto, su adquisición en algún instituto o proveedor que haya realizado este análisis.

5.3 Producción comercial

Chutimanukul *et al.* (2023) probaron la viabilidad de usar aserrín de árbol de caucho para el cultivo a escala industrial de *H. erinaceus* en zonas tropicales, y el aserrín de bambú como sustrato alternativo. Para su investigación compararon cinco tratamientos de sustrato, formulados con aserrín de árbol de caucho o bambú, en una combinación o individualmente. Para cada tratamiento utilizaron 750 g (correspondientes al peso húmedo de los sustratos), el primer tratamiento consistió de 100% de aserrín de caucho, el segundo de 75% de aserrín de caucho y 25% de aserrín de bambú, el tercero de 50% aserrín de caucho y 50 % de bambú, el penúltimo de 25% aserrín de caucho y 75% de bambú, por último 100% bambú. Pasados 47 días desde su incubación, los basidiomas fueron cosechados y pesados para obtener el peso fresco del hongo y el peso seco del sustrato con la intención de conocer la eficiencia biológica (una estimación de la capacidad del hongo para convertir el sustrato en cuerpos fructíferos). Como resultado, la mayor eficiencia biológica se encontró en el sustrato con 100% de aserrín de árbol de caucho (42.61%), seguida del tratamiento que contenía 75% de aserrín de caucho y 25% bambú (40.92%).

Del mismo modo, estos tratamientos mostraron tener mayor rendimiento en la producción de basidiomas, por tanto, concluyen que el aserrín del árbol de caucho puede ser usado para la producción a escala industrial de *H. erinaceus*, también el aserrín de bambú puede ser viable como complemento para mantener el rendimiento cuando la producción de aserrín de caucho es baja.

Este estudio se encuentra limitado a la disponibilidad de sustratos en la región, por lo que probar aserrín del árbol de caucho es una alternativa a considerar para el cultivo de *H. erinaceus*, aunque se recomienda explorar un mayor número de sustratos de acuerdo con las diferentes regiones y su diversidad de especies, como una alternativa.

5.4 Alternativa vegana a los mariscos

Meyer *et al.* (2023) desarrollaron una alternativa al camarón usando hongos con la finalidad de obtener una textura y sabor similar a este. Para su estudio emplearon una mezcla del polvo de los basidiomas de la seta rosa (*Pleurotus djamor*) y de melena de león (*H. erinaceus*) e hidrocoloides alimentarios como el glucomanano de Konjac y el almidón de frijol mungo. Como resultado, determinaron que *P. djamor* y *H. erinaceus* poseen una buena calidad nutricional dado su alto contenido proteico, fibra dietética y su perfil de aminoácidos, así como su contenido fenólico, de

β -glucano y grasas; Los análisis de textura de los prototipos creados se acercaron a la de los camarones fritos, mientras qué, sensorialmente se percibieron similares al camarón, pero notoriamente diferentes, por lo que es necesario mejorar la receta para igualar el sabor y apariencia.

6. Conclusiones

H. erinaceus es un hongo que ha sido empleado desde hace varias décadas en la medicina tradicional china debido a que es comestible, medicinal y relativamente sencillo de cultivar. Durante los últimos años, ha llamado la atención de los científicos debido a sus compuestos activos y su potencial de aplicación. Dentro del área de la farmacología, cumple la función alternativa de mejorar la salud al ser usado como antimicrobiano, antidepresivo, mejorador de las funciones cognitivas y tratamiento a enfermedades como la osteoartritis por lo que puede ser catalogado como un alimento funcional que además de aportar su contenido nutricional, es benéfico para la salud. Dentro de la biotecnología sirve para la creación de biogeles, fortificante alimenticio, o incluso como una alternativa a los mariscos, por lo que puede ser objeto de estudio para el desarrollo de nuevas tecnologías. Aunque por el momento se necesitan más estudios, químicos, nutrimentales y clínicos para comprender todos los mecanismos de acción de sus compuestos activos, se propone ampliar las investigaciones de estas áreas, con la finalidad de impulsar más aplicaciones y su posible empleo en la elaboración de medicamentos, alimentos funcionales, nuevos productos o mejores procesos de biorremediación y biodegradación.

Referencias

- Atila, F., Tuzel, Y., Fernández, J. A., Cano, A. F., & Sen, F. (2018). The effect of some agro-industrial wastes on yield, nutritional characteristics and antioxidant activities of *Hericium erinaceus* isolates. *Scientia Horticulturae*, 238, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109915>
- Barrantes-Jiménez, I., Marín-Sandí, E., Murillo-Murillo, M., Rojas-Rojas, D., Vallecillo-Cedeño, S., & Valverde-Rojas, S. (2024). Micorremediación: el caso de *Pleurotus ostreatus* sobre polímeros sintéticos como el acetato de celulosa. *Revista Tecnología En Marcha*, 37(2), 15–22. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6478>
- Bentahar, S., Abada, R., & Nadia, Y. (2023). Biotechnology: Definitions, types and main applications. *Ymer*, 22(4), 563–575
- Blagodatski, A., Yatsunskaya, M., Mikhailova, V., Tiesto, V., Kagansky, A., & Katanaev, V. L. (2018). Medicinal mushrooms as an attractive new source of natural compounds for future cancer therapy. *Oncotarget*, 9(49), 29259–29274. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.25660>
- Boddy L., Crockatt, M. E., & Ainsworth, A. M. (2011). Ecology of *Hericium cirrhatum*, *H. coralloides* and *H. erinaceus* in the UK. *Fungal Ecology*, 4 (2), 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2010.10.001>
- Chen, J., Zeng, X., Yang, Y. L., Xing, Y. M., Zhang, Q., Li, J. M., Ma, K., Liu, H. W., & Guo, S. X. (2017). Genomic and transcriptomic analyses reveal differential regulation of diverse terpenoid and polyketides secondary metabolites in *Hericium erinaceus*. *Scientific reports*, 7(1), 10151. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10376-0>
- Chiu, C.-H., Chyau, C.-C., Chen, C.-C., Lee, L.-Y., Chen, W.-P., Liu, J.-L., Lin, W.-H., et al. (2018). Erinacine A-Enriched *Hericium erinaceus* Mycelium Produces Antidepressant-Like Effects through Modulating BDNF/PI3K/Akt/GSK-3 β Signaling in Mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(2), 341. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms19020341>
- Chutimanukul, P., Phatthanamas, W., Thepsilvisut, O., Chantarachot, T., Thongtip, A., & Chutimanukul, P. (2023). Commercial scale production of Yamabushitake mushroom (*Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. 1797)

- using rubber and bamboo sawdust substrates in tropical regions. *Scientific reports*, 13(1), 13316. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40601-y>
- Fernandes, T., Garrine, C., Ferrão, J., Bell, V., & Varzakas, T. (2021). Mushroom Nutrition as Preventative Healthcare in Sub-Saharan Africa. *Applied Sciences*, 11(9), 4221. <https://doi.org/10.3390/app11094221>
- Friedman M. (2015a). Chemistry, Nutrition, and Health-Promoting Properties of *Hericiu erinaceus* (Lion's Mane) Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia and Their Bioactive Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(32), 7108–7123. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02914>
- Friedman M. (2015b). Antibiotic-resistant bacteria: prevalence in food and inactivation by food-compatible compounds and plant extracts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(15), 3805–3822. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00778>
- Gonkhom, D., Luangharn, T., Raghoonundon, B., Hyde, K. D., Stadler, M., & Thongklang, N. (2021). *Hericiu*: A review of the cultivation, health-enhancing applications, economic importance, industrial, and pharmaceutical applications. *Fungal Biotech*, 1(2), 118–130. <http://dx.doi.org/10.5943/FunBiotech/1/2/8>
- Hallenberg, N., Nilsson, R.H., & Robledo, G. (2012). Species complexes in *Hericiu* (Russulales, Agaricomycota) and a new species - *Hericiu rajchenbergii* - from southern South America. *Mycological Progress*, 12, 413–420. <https://doi.org/10.1007/s11557-012-0848-4>
- Hetland, G., Tangen, J. M., Mahmood, F., Mirlashari, M. R., Nissen-Meyer, L. S. H., Nentwich, I., Therkelsen, S. P., Tjønnfjord, G. E., & Johnson, E. (2020). Antitumor, Anti-Inflammatory and Antiallergic Effects of *Agaricus blazei* Mushroom Extract and the Related Medicinal Basidiomycetes Mushrooms, *Hericiu erinaceus* and *Grifola frondosa*: A Review of Preclinical and Clinical Studies. *Nutrients*, 12(5), 1339. <https://doi.org/10.3390/nu12051339>
- Itahí, B., & Aguilar, H. (2019). Los hongos en Oaxaca. *Arqueología Mexicana*, 66–67.
- Kalucka, L. & Olariaga, I. 2019. *Hericiu erinaceus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T70401627A70401637.en>
- Kirk, P., Cannon, P. y Stalpers, J., (2008). Dictionary of the Fungi, 10th ed CABI, Wallingford, 313.
- Lee, J. S., & Hong, E. K. (2010). *Hericiu erinaceus* enhances doxorubicin-induced apoptosis in human hepatocellular carcinoma cells. *Cancer letters*, 297(2), 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2010.05.006>
- Lee, J. S., Min, K. M., Cho, J. Y., & Hong, E. K. (2009). Study of macrophage activation and structural characteristics of purified polysaccharides from the fruiting body of *Hericiu erinaceus*. *Journal of microbiology and biotechnology*, 19(9), 951–959.
- Li, G., Yu, K., Li, F., Xu, K., Li, J., He, S., Cao, S., & Tan, G. (2014) Anticancer potential of *Hericiu erinaceus* extracts against human gastrointestinal cancers. *Journal of Ethnopharmacology*, 153(2), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.03.003>
- Li, Y., Zhang, G., Ng, T. B., & Wang, H. (2010). A novel lectin with antiproliferative and HIV-1 reverse transcriptase inhibitory activities from dried fruiting bodies of the monkey head mushroom *Hericiu erinaceus*. *Journal of biomedicine & biotechnology*, 2010, 716515, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2010/716515>
- Liang, B., Guo, Z., Xie, F., & Zhao, A. (2013). Antihyperglycemic and antihyperlipidemic activities of aqueous extract of *Hericiu erinaceus* in experimental diabetic rats. *BMC complementary and alternative medicine*, 13, 253. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-253>
- Liao, J., Dai, H., & Huang, H. (2021). Construction of hydrogels based on the homogeneous carboxymethylated chitin from *Hericiu erinaceus* residue: Role of carboxymethylation degree. *Carbohydrate Polymers*, 262, 117953. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117953>
- Lu, L., Li, J., & Cang, Y. (2002). PCR-based sensitive detection of medicinal fungi *Hericiu* species from ribosomal internal transcribed spacer (ITS) sequences. *Biological & pharmaceutical bulletin*, 25(8), 975–980. <https://doi.org/10.1248/bpb.25.975>
- Meyer, F., Hutmacher, A., Lu, B., Steiger, N., Nyström, L., & Narciso, J. O. (2023). Vegan shrimp alternative made with pink oyster and lion's mane mushrooms: Nutritional profiles, presence of conjugated phenolic acids, and prototyping. *Current research in food science*, 7, 100572. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100572>
- Miyazawa, M., Takahashi, T., Horibe, I., & Ishikawa, R. (2012). Two new aromatic compounds and a new d-arabinitol ester from the mushroom *Hericiu erinaceus*. *Tetrahedron*, 68(7), 2007–2010. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2011.11.068>
- Mori, K., Inatomi, S., Ouchi, K., Azumi, Y., & Tuchida, T. (2009). Improving effects of the mushroom Yamabushitake (*Hericiu erinaceus*) on mild cognitive impairment: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *Phytotherapy research: PTR*, 23(3), 367–372. <https://doi.org/10.1002/ptr.2634>
- Narmuratova, Z., Bisko, N., Mustafin, K., Al-Maali, G., Kerner, A., Bondaruk, S., Suleimenova, Z., Kalieva, A., Akhmetsadykov, N., Zhakipbekova, A. & Lomberg, M. (2023). Screening of medicinal mushroom strains with antimicrobial activity and polysaccharides production. *Turkish Journal of Biochemistry*, 48(3), 290–297. <https://doi.org/10.1515/tjb-2022-0235>
- Páez-Oliván, L., Correa-Ramírez, M., Guzmán-Dávalos, L., Naranjo-Jiménez, N., Almaraz-Abarca, N., Ávila-Reyes, J., Herrera-Gamboa, J., Rosas, I., González-Valdez, L. & Torres-Ricario R. (2022). Studies of morphological and genetic variability of *Hericiu erinaceus* from the northwest area of the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 66(3), 225–232. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-66.3.225>
- Peralta, R., da Silva, B., Gomes Córrea, R., Kato, C., Seixas, F., Bracht, A. (2017). Enzymes from Basidiomycetes-Peculiar and Efficient Tools for Biotechnology. *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 119–149. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00005-4>
- Rodríguez-Seoane, P., Torres, M., González-Muñoz, M., Sinde-Stoppel, E., & Domínguez, H. (2021). Formulation of bio-hydrogels from *Hericiu erinaceus* in *Paulownia elongata* x *fortunei* autohydrolysis aqueous extracts. *Food and Bioproducts Processing*, 128, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.04.007>
- Rojas R., L. (2013). Los basidiomicetos: una herramienta biotecnológica promisoría con impacto en la agricultura. *Fitosanidad*, 17(1), 49–55.
- Rupčić, Z., Rascher, M., Kanaki, S., Köster, R. W., Stadler, M., & Wittstein, K. (2018). Two New Cythane Diterpenoids from Mycelial Cultures of the Medicinal Mushroom *Hericiu erinaceus* and the Rare Species, *Hericiu flagellum*. *International journal of molecular sciences*, 19(3), 740. <https://doi.org/10.3390/ijms19030740>
- Ryu, S. H., Hong, S. M., Khan, Z., Lee, S. K., Vishwanath, M., Turk, A., Yeon, S. W., Jo, Y. H., Lee, D. H., Lee, J. K., Hwang, B. Y., Jung, J. K., Kim, S. Y., & Lee, M. K. (2021). Neurotrophic isoindolinones from the fruiting bodies of *Hericiu erinaceus*. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 31, 127714. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2020.127714>
- Saito, Y., Nishide, A., Kikushima, K., Shimizu, K., & Ohnuki, K. (2019). Improvement of cognitive functions by oral intake of *Hericiu erinaceus*. *Biomedical research*, 40(4), 125–131. <https://doi.org/10.2220/biomedres.40.125>
- Sánchez, M., E. (2022). Actividad enzimática extracelular de lacasas y algunas hidrolasas de *Hericiu erinaceus* en cultivo sólido. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos]. Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. <http://riiaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/2862>
- Sokol, S., Golak-Siwulska, I., Sobieralski, K., Siwulski, M., & Górka, K. (2015). Biology, cultivation, and medicinal functions of the mushroom *Hericiu erinaceus*. *Acta Mycologica* 50(2) 1–18. <http://dx.doi.org/10.5586/am.1069>
- Stamets, P. (2011) Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms. 3rd Edition, Ten Speed Press, Berkeley, 387– 394.
- Suleiman, W.B., Shehata, R.M., & Younis, A.M. (2022). In vitro assessment of multipotential therapeutic importance of *Hericiu erinaceus* mushroom extracts using different solvents. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(99), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00592-6>
- Szućko-Kociuba, I., Trzeciak-Ryćek, A., Kupnicka, P., & Chlubek, D. (2023). Neurotrophic and Neuroprotective Effects of *Hericiu erinaceus*. *International journal of molecular sciences*, 24(21), 15960. <https://doi.org/10.3390/ijms242115960>
- Thongbai, B., Rapior, S., Hyde, K.D., Wittstein, K., & Stadler, M. (2015). *Hericiu erinaceus*, an amazing medicinal mushroom. *Mycological Progress*. 14 (91), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11557-015-1105-4>
- Vigna, L., Morelli, F., Agnelli, G. M., Napolitano, F., Ratto, D., Occhinegro, A., Di Iorio, C., Savino, E., Girometta, C., Brandalise, F., & Rossi, P. (2019). *Hericiu erinaceus* Improves Mood and Sleep Disorders in Patients Affected by Overweight or Obesity: Could Circulating Pro-BDNF and BDNF Be Potential Biomarkers?. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2019, 7861297. <https://doi.org/10.1155/2019/7861297>
- Wang, J. C., Hu, S. H., Su, C. H., & Lee, T. M. (2001). Antitumor and immunoenhancing activities of polysaccharide from culture broth of

- Hericium* spp. *The Kaohsiung journal of medical sciences*, 17(9), 461–467.
- Wolters, N., Schembecker, G., & Merz, J. (2015). Erinacine C: A novel approach to produce the secondary metabolite by submerged cultivation of *Hericium erinaceus*. *Fungal biology*, 119(12), 1334–1344. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.10.005>
- Wu, T., & Xu, B. (2015). Antidiabetic and antioxidant activities of eight medicinal mushroom species from China. *International journal of medicinal mushrooms*, 17(2), 129–140.
- Xie, G., Tang, L., Xie, Y., & Xie, L. (2022). Secondary Metabolites from *Hericium erinaceus* and Their Anti-Inflammatory Activities. *Molecules*, 27(7), 2157. <https://doi.org/10.3390/molecules27072157>
- Yang, F., Wang, H., Feng, G., Zhang, S., Wang, J., Cui, L. (2021). Rapid Identification of Chemical Constituents in *Hericium erinaceus* Based on LC-MS/MS Metabolomics. *Journal of Food Quality*, 2021, 10. <https://doi.org/10.1155/2021/5560626>
- Yang, S. Y., Fang, C. J., Chen, Y. W., Chen, W. P., Lee, L. Y., Chen, C. C., Lin, Y. Y., Liu, S. C., Tsai, C. H., Huang, W. C., Wu, Y. C., & Tang, C. H. (2022). *Hericium erinaceus* Mycelium Ameliorates In Vivo Progression of Osteoarthritis. *Nutrients*, 14(13), 2605. <https://doi.org/10.3390/nu14132605>
- Zhao, G., Liu, C., Hadiatullah, H., Yao, Y., & Lu, F. (2021). Effect of *Hericium erinaceus* on bacterial diversity and volatile flavor changes of soy sauce. *LWT - Food Science and Technology*, 139, 110543. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110543>