

Hongos: nutrición, compuestos bioactivos y salud humana

Zoha Bautista-Montero¹ y Aleyda Pérez-Herrera^{1, 2 *}

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional

² Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

* Dirección para correspondencia: alperezh@ipn.mx

Los hongos han formado parte de la alimentación humana desde tiempos antiguos debido a su sabor, textura y olor característicos. En la actualidad, se ha podido demostrar que los hongos son una excelente fuente de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Además, son bajos en calorías y sodio y no contienen gluten, lo que los convierte en una opción nutritiva y adecuada para diversas dietas. También poseen compuestos bioactivos con propiedades medicinales que ofrecen beneficios para la prevención y el tratamiento de diversas enfermedades.

Compuestos bioactivos: ¿qué son y qué beneficios tienen sobre la salud?

Los compuestos bioactivos son moléculas presentes en diversos alimentos y que, al ser ingeridos, tienen efectos benéficos sobre la salud humana. Su origen químico es diverso y actúan a través de distintos mecanismos de acción. Investigaciones *in vitro* e *in vivo* han demostrado que tanto los extractos como los hongos frescos ofrecen múltiples actividades biológicas, las cuales se describen a continuación (Figura 1) (Navarro-Simarro *et al.*, 2024).

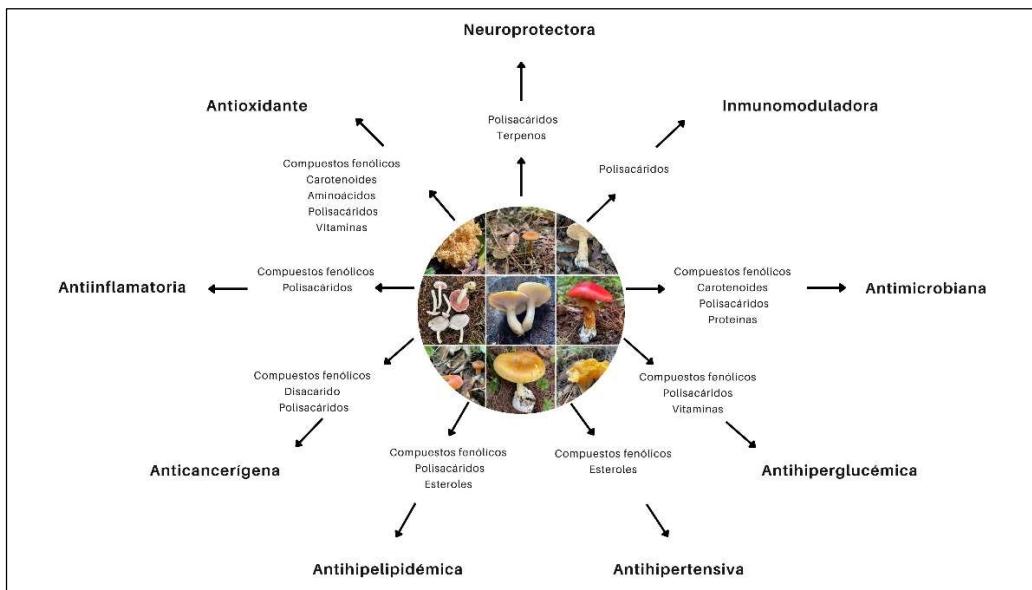


Figura 1: Beneficios de los hongos a la salud.

Actividad antioxidante

El estrés oxidativo es un fenómeno biológico que ocurre cuando hay un desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad del cuerpo para neutralizarlos.

Los radicales libres son moléculas inestables, que buscan estabilizarse captando electrones de otras moléculas en el cuerpo. Este proceso puede causar daño celular. Los antioxidantes ayudan a neutralizar estos radicales libres, gracias a su capacidad de donar electrones sin volverse inestables.

Los antioxidantes se clasifican en dos tipos: los endógenos, que son producidos por las células del cuerpo, y los exógenos, que provienen de los alimentos y se obtienen de la dieta. Los hongos poseen una amplia gama de compuestos con actividad antioxidante, entre los que se incluyen la ergotioneína, el

ergosterol, diversos carotenoides, compuestos fenólicos, tocoferoles (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C), polisacáridos y aminoácidos. Los antioxidantes también se clasifican en primarios (detienen los procesos de oxidación en cadena y neutralizan radicales libres) y secundarios o preventivos (actúan mediante distintos mecanismos, como la unión a metales (quelación), la descomposición de compuestos oxidantes como los hidroperóxidos lipídicos, la regeneración de antioxidantes primarios y la desactivación del oxígeno singlete, una forma de oxígeno molecular altamente reactiva). Además, algunos de los compuestos bioactivos presentes en los hongos pueden actuar como inductores o señalizadores celulares al modular la expresión génica y favorecer la activación de enzimas encargadas de eliminar especies reactivas de oxígeno (ROS) (Kozarski *et al.*, 2015).

Actividad antiinflamatoria

La inflamación es una respuesta natural del cuerpo cuando se lesioná o se ve afectado por infecciones o problemas del sistema inmune. Aunque esta respuesta es importante para proteger al cuerpo, también puede estar relacionada con enfermedades como la diabetes, Alzheimer, problemas cardíacos, respiratorios y hasta el cáncer.

En modelos animales se ha observado que los glucanos presentes en *Inonotus obliquus*, *Agaricus bisporus* y en otras especies pueden inhibir la expresión de proteínas proinflamatorias. Así mismo, ciertos aminoácidos como la leucina,

isoleucina, tirosina y fenilalanina también han mostrado acción antiinflamatoria importante, ya que influyen en las rutas metabólicas que regulan la producción de mediadores inflamatorios como las prostaglandinas, que se producen en el cuerpo como respuesta a una lesión, infección o estímulo inflamatorio (Muszyńska, 2018).

Actividad antimicrobiana

Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus, hongos, parásitos o protozoos son una de las principales causas de enfermedades y muertes en el mundo. Estos microorganismos tienen la capacidad de desarrollar resistencia a los tratamientos antimicrobianos, lo que dificulta su eliminación y representa una amenaza significativa para la salud pública global. Esta creciente resistencia ha impulsado la necesidad de encontrar nuevos tratamientos, como los basados en compuestos naturales.

En estudios *in vitro* se ha observado que los compuestos antifúngicos producidos por los hongos actúan sobre las paredes y membranas celulares de los hongos patógenos. Estos compuestos interfieren en la síntesis de quitina y glucanos, elementos esenciales para la integridad de la pared celular fúngica, y además inhiben la producción de ergosterol, componente fundamental para la membrana celular fúngica. Como consecuencia, se produce una disfunción estructural y posterior lisis de las células patógenas. Algunas especies fúngicas generan cefalosporina y ácido fusídico, los cuales bloquean la formación de los

enlaces que conectan las subunidades del peptidoglucano (mureína), lo que impide la formación de una pared celular bacteriana completa e inhibe la síntesis de proteínas en bacterias grampositivas (Sułkowska-Ziaja *et al.*, 2023).

Actividad anticancerígena

El cáncer se caracteriza por el crecimiento descontrolado de células anormales, lo que puede llevar a la formación de tumores y a la propagación de células cancerígenas. Conforme la resistencia a los tratamientos convencionales aumenta y las terapias actuales se enfrentan a limitaciones, los hongos pueden ser una alternativa en la lucha contra esta enfermedad. En modelos animales, *Lentinula edodes* ha mostrado citotoxicidad selectiva contra células cancerosas mediante la activación de enzimas y proteínas que inducen apoptosis (proceso que elimina células que ya no son necesarias para el organismo). Además, estudios clínicos han reportado que los hongos pueden mejorar la eficacia de la quimioterapia y revertir la quimiorresistencia en células cancerosas (Sivanesa *et al.*, 2022).

Actividad neuroprotectora

El cerebro es uno de los órganos más complejos de nuestro cuerpo. Con el tiempo, el envejecimiento, el estrés oxidativo y la inflamación pueden afectarlo y aumentar el riesgo de enfermedades.

En estudios *in vitro* en células humanas SH-SY5Y y en pez cebra se ha determinado que los metabolitos secundarios de *Inonotus obliquus* tienen propiedades neuroprotectoras, en particular el triterpenoide de lanostano. Su efecto protector se relaciona con la activación de las vías de señalización celular, importantes en las neuronas frente al estrés oxidativo y la apoptosis celular.

En estudios en ratones, los proteoglucanos (PGM) de *Grifola frondosa* reducen la pérdida neuronal, por lo que pueden mejorar el aprendizaje y la memoria. Además, los PGM ayudan a que ciertas células del cerebro, como la microglía y los astrocitos, se activen y empiecen a trabajar. Estas células cumplen funciones de defensa, como limpiar desechos y proteger a las neuronas. Gracias a los PGM, la microglía se dirige con mayor eficacia hacia las placas de β -amiloide (acumulaciones tóxicas relacionadas con el Alzheimer) y mejora su capacidad para eliminarlas. Esto ayuda a reducir el daño y los cambios negativos en zonas del cerebro que son fundamentales para la memoria y el aprendizaje, como la corteza cerebral y el hipocampo (Badalyan y Rapior, 2021).

Actividad inmunomoduladora

El sistema inmunitario es responsable de defender al cuerpo contra patógenos como bacterias, virus, hongos y otros agentes extraños. Sin embargo, en ocasiones, una respuesta inmunitaria excesiva o insuficiente puede ser perjudicial.

En estudios con ratas Wistar sometidas a inmunosupresión se determinó que los extractos de *Lentinula edodes*, *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus columbinus* y *Pleurotus sajor-caju* aumentaron significativamente los glóbulos blancos y los recuentos linfocíticos. *Ganoderma lucidum* contiene polisacáridos con la capacidad de activar los linfocitos T, lo que ayuda a mejorar la respuesta del sistema inmunitario frente a infecciones y células tumorales. *Lentinula edodes* es rico en el polisacárido eritadenina, que puede aumentar la actividad de las células inmunitarias como los macrófagos y neutrófilos, esenciales en la defensa contra patógenos; además puede mejorar la actividad de las células T, lo que refuerza la respuesta inmunitaria en el organismo (Zhou *et al.*, 2024).

Actividad antihiperglucémica

El aumento de los niveles de azúcar en sangre, también conocido como hiperglucemia, es una condición común en personas con diabetes, una de las enfermedades crónicas más prevalentes a nivel mundial. En trabajos *in vitro* se ha observado que los polisacáridos, compuestos fenólicos y vitaminas E y B1 de *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Ganoderma lucidum* inhiben la actividad de la α -amilasa y la α -glucosidasa, enzimas importantes en el metabolismo de carbohidratos, por lo que su modulación podría contribuir al manejo de alteraciones metabólicas como la diabetes tipo 2 (Wickramasinghe *et al.*, 2023).

Actividad antihipertensiva

La hipertensión, o presión arterial alta, es una de las principales preocupaciones de salud pública en todo el mundo. Si no se controla, puede aumentar el riesgo de enfermedades graves como ataques al corazón. Los hongos contienen quercetina, ergosterol, lovastatina, cordicepina y eritadenina, que en modelos animales se ha podido observar que contribuyen a reducir la presión arterial al inducir la relajación de los vasos sanguíneos (vasodilatación). Este proceso mejora la circulación sanguínea y favorece la salud cardiovascular. En particular, la lovastatina, inhibe enzimas que son importantes en la biosíntesis del colesterol, lo que ayuda a controlar la dislipidemia y la hipertensión (Rauf *et al.*, 2023).

Actividad antihiperlipidémica

La hiperlipidemia (niveles altos de grasas) en la sangre puede llevar a problemas como la arterosclerosis (enfermedad en la que los triglicéridos, colesterol y otras sustancias en la sangre se adhieren a las paredes de las arterias formando una especie de placa, por lo que las arterias se hacen más estrechas y se reduce el suministro de sangre oxigenada en el cuerpo) y ataques al corazón. En estudios en ratones, los β -glucanos, el ergosterol, la eritadenina y el quitosano presentes en los hongos, disminuyeron significativamente la absorción de grasas en el intestino, lo

que incrementó la excreción fecal de lípidos y contribuyó a reducir su concentración en sangre (Kim *et al.*, 2019).

Riesgos y limitaciones

Los hongos comestibles son una fuente valiosa de nutrientes y compuestos con potenciales beneficios para la salud, sin embargo, su consumo y uso como complemento terapéutico enfrenta diversas limitaciones.

Los hongos contienen metalotioneína, compuesto que tiene la capacidad de unirse a metales pesados a partir del sustrato en el que crecen, lo que produce su acumulación y representa un peligro para la salud humana. En la mayoría de los casos, las concentraciones presentes en hongos cultivados y recolectados en suelos no contaminados son seguras. Sin embargo, en regiones con contaminación ambiental o falta de regulación específica, estas concentraciones pueden ser elevadas. En el caso de México, la norma oficial (NOM-251-SSA1-2009) establece buenas prácticas de higiene para alimentos, mientras que normas internacionales de la FDA y Codex Alimentarius pueden ser usadas como referencia para los límites permisibles de metales pesados en alimentos.

La variabilidad en la composición química y medicinal de los hongos es otro factor importante. Una misma especie puede presentar diferentes concentraciones de compuestos bioactivos según las condiciones del suelo y factores ambientales. Esta falta de estandarización complica su aplicación terapéutica, pues no siempre

es posible asegurar la misma cantidad de principios activos necesarios para lograr un efecto constante. En algunas personas se han documentado reacciones adversas como alergias debido al consumo o inhalación de esporas de *Agaricus bisporus*, o malestar gastrointestinal que puede variar desde náuseas leves y distensión abdominal hasta vómito y dolor abdominal.

Aunque los compuestos bioactivos de los hongos han mostrado resultados prometedores en estudios de laboratorio y modelos animales, aún se investiga cuánto de estas sustancias llega realmente a las células humanas, es decir, su biodisponibilidad. Este factor es clave para determinar si los beneficios observados en estudios experimentales se traducen en efectos reales en la salud de las personas. En conjunto, el consumo de hongos frescos y sus derivados suele ser seguro cuando provienen de fuentes confiables y se procesan adecuadamente. Sin embargo, es importante mantener una mirada crítica y considerar que su uso para tratar enfermedades aún requiere evidencia clínica sólida y comprender mejor cómo se absorben y actúan sus compuestos en el cuerpo humano. La comunidad científica sigue trabajando para garantizar alimentos que sean tanto inocuos como beneficiosos para la salud (Kozarski *et al.*, 2015).

Conclusión

Los hongos son un recurso biológico de gran valor nutricional y medicinal. Diversos estudios han identificado metabolitos secundarios en diferentes especies fúngicas

que poseen múltiples beneficios a la salud. Estas características los posicionan como posibles coadyuvantes en la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas. No obstante, el aprovechamiento de los hongos con fines terapéuticos aún enfrenta limitaciones. La variabilidad en su composición química, la posible contaminación ambiental y la falta de estandarización en los extractos dificultan su aplicación clínica. Además, es necesario profundizar en el estudio de su biodisponibilidad. Con el avance en la investigación científica, será posible optimizar su aprovechamiento en la alimentación y en la medicina en favor del bienestar humano.

Referencias

- Badalyan S and Rapior S (2021). Agaricomycetes mushrooms (Basidiomycota) as potential neuroprotectants. *Italian Journal of Mycology* 50:30-43.
- Kim SH, Thomas MJ, Wu D *et al.* (2019). Edible mushrooms reduce atherosclerosis in Ldlr^{-/-} mice fed a high-fat diet. *The Journal of Nutrition* 149(8):1377-1384.
- Kozarski M, Klaus A, Jakovljevic D *et al.* (2015). Antioxidants of edible mushrooms. *Molecules* 20(10):19489-19525.
- Muszyńska B, Grzywacz-Kisielewska A, Kała K and Gdula-Argasińska J (2018). Anti-inflammatory properties of edible mushrooms: A review. *Food Chemistry* 243:373-381.
- Navarro-Simarro P, Gómez-Gómez L, Ahrazem O and Rubio-Moraga Á (2024). Food and human health applications of edible mushroom by-products. *New Biotechnology* 81:43-56.
- Rauf A, Joshi PB, Ahmad Z *et al.* (2023). Edible mushrooms as potential functional foods in amelioration of hypertension. *Phytotherapy Research* 37(6):2644-2660.

Sivanesan I, Muthu M, Gopal J and Oh JW (2022). Mushroom Polysaccharide-Assisted Anticarcinogenic Myotherapy: Reviewing Its Clinical Trials. *Molecules* 27(13):4090.

Sułkowska-Ziaja K, Trepa M, Olechowska-Jarząb A *et al.* (2023). Natural compounds of fungal origin with antimicrobial activity: Potential cosmetics applications. *Pharmaceuticals* 16(9):1200.

Wickramasinghe MA, Nadeeshani H, Sewwandi SM *et al.* (2023). Comparison of nutritional composition, bioactivities, and FTIR-ATR microstructural properties of commercially grown four mushroom species in Sri Lanka: *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Calocybe* sp. (MK-white), *Ganoderma lucidum*. *Food Production, Processing and Nutrition* 5(43).

Zhou Y, Chu M, Ahmadi F *et al.* (2024). A comprehensive review on phytochemical profiling in mushrooms: Occurrence, biological activities, applications and future prospective. *Food Reviews International* 40(3):924-951.

Manuscrito aceptado