

PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Jorge Isaac López Pino

*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3½,
La Habana, C.P. 19 200, Cuba.*

E-mail: isaac@iiaa.edu.cu

RESUMEN

En la naturaleza existe una gran diversidad de especies de hongos comestibles, de los cuales solo una pequeña parte es consumida. Constituyen un alimento rico en minerales, vitaminas, aminoácidos, fibra, carbohidratos y proteínas. Desde el punto de vista medicinal los compuestos activos tienen propiedades antitumorales, antimicrobianas, anticancerígenas, hipocolesterolemicas, hipoglucemiantes y activadoras del sistema inmune. Su cultivo y desarrollo no requiere de una gran infraestructura industrial. Los sustratos que habitualmente se emplean son de origen natural como desechos de cosechas y residuos de la industria de procesamiento agrícola. El cultivo de hongos comestibles está basado principalmente en la fermentación en estado sólido, pero también se realiza fermentación en estado líquido, por las facilidades que brinda en la recuperación de metabolitos con actividad biológica de interés.

Palabras clave: hongos comestibles, sustratos naturales, alimentos funcionales, nutraceuticos.

ABSTRACT

Functional properties of the edible mushrooms

In the nature a great diversity of species of edible mushrooms exists, of those which alone a small part is consumed. They are a food rich in minerals, vitamins, amino acids, fibers, carbohydrates and proteins. From the medicinal point of view their active compounds have antitumorals, antimicrobials, hypocolesterolemics, hypoglucemiant properties and activators of the immunological system. This cultivation and development doesn't require a great industrial infrastructure. The substrates that are used usually are from natural's sources as waste of crops and residuals of the agricultural processing industry. The cultivation of the edible mushrooms is based mainly on solid state fermentation, although liquid state fermentation is also carried out, because of the facilities that provides on the recovery of metabolic products with interesting biological activity.

Keywords: edible mushrooms, natural substrate, functional food, nutraceuticals.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la sociedad ha mostrado una preocupación cada vez más creciente por las posibles relaciones entre la alimentación y la salud. La necesidad de alimentarse del ser humano, junto a la relevancia alcanzada por los temas relacionados con la salud, han llevado a un primer plano el interés por los efectos saludables de los alimentos (1).

El reino Fungi comprende un inmenso grupo de microorganismos muy versátiles, con diferentes morfologías, fisiologías y ciclos de vida. Los macromicetos han sido parte de la cultura humana desde hace miles de años y hay evidencias de su empleo como alimento en las más importantes civilizaciones de

Jorge Isaac López Pino: Licenciado en Microbiología (UH, 2012). Trabajó como reserva científica en el IIIA hasta 2016 vinculado al área de investigación de fermentaciones con cepas de levaduras puras y bacterias probióticas. Realizó trabajos de investigación para la caracterización de cepas de hongos comestibles de reciente introducción en el país en un proyecto conjunto de trabajo entre el IIIA y el INIFAT. Trabajó como Jefe del Laboratorio de Análisis de Carne y Productos Cárnicos del IIIA hasta agosto de 2016. Actualmente es estudiante de Maestría en Ciencias en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C, de Hermosillo, Sonora, México.

la historia. Desde la década de los años 70 se han incrementado las investigaciones científicas en este tipo de microorganismos debido al legado cultural que se tiene de ellos, en especial en el lejano oriente, de sus propiedades medicinales. Debido a esto, se han descrito muchísimas propiedades nutraceuticas de los macrohongos (macromicetos), como lo son sus propiedades anticancerígenas y antitumorales, antioxidantes, hipocolesterolémicas, antivirales, hipoglucemiantes, antibacterianas, inmunomoduladoras, entre otras. Igualmente, han sido descritas sus propiedades nutricionales, tienen un elevado contenido de proteína (casi igual o superior al de algunas legumbres) lo que los hace un gran sustituto de la carne cuando la dieta no incluye mucha proteína animal, poseen todos los aminoácidos esenciales y un alto contenido de vitaminas y minerales. Adicionalmente, este tipo de hongos son apetecidos por su exquisito sabor y son utilizados en diferentes platos. Los principales productores son países del continente asiático: China y Japón, en América: EE.UU, Chile, Argentina y Colombia, mientras en Europa destacan Holanda, España e Italia (2, 3).

En el mundo existen 2 300 especies de hongos comestibles de las cuales son utilizadas unas 200 y se cultivan aproximadamente 20 especies, las cuales producen anualmente alrededor de 12 millones de toneladas de biomasa comestible. Las especies más reconocidas y consumidas en todo el mundo son *Lentinus edodes*, conocido como shitakee, *Agaricus bisporus*, el popular champiñón, *Pleurotus ostreatus* u hongo ostra, *Volvariella volvacea*, *Ganoderma lucidum*, *Auricularia polytricha*, *Cordyceps sinensis* y otros (4, 5).

Agaricus bisporus (champiñón) se encuentra de manera natural en Europa y Norteamérica, *Lentinula edodes*, y *Pleurotus ostreatus* originarios del este de Asia y muy apreciados por su sabor y textura (semejante a la carne) (6-8), de igual manera *Auricularia polytricha* es muy codiciado por el sabor de su masa que tiene una consistencia gelatinosa empleándose en la elaboración de sopas y cremas (9).

Por su gran versatilidad en cuanto a medios de cultivo y sus bajos requerimientos hace que puedan ser cultivados tanto en medios sólidos como líquidos, aunque en cada uno de los casos con propósitos diferentes puesto que en medio sólido se potencia la obtención de cuerpos fructíferos destinados al consumo como alimento y en los líquidos la producción de metabolitos secundarios (10).

Los hongos son una excelente alternativa para satisfacer las necesidades nutricionales de la población principalmente en los países en desarrollo, en función de los bajos costos de producción, alto contenido proteico y grandes volúmenes de cosecha en poco espacio y tiempo (12). Las propiedades funcionales de los hongos comestibles los hacen candidatos ideales para dietas y regímenes especiales de alimentación en niños y adultos (13).

Las formas de consumo fundamentales de los hongos comestibles son frescos y secos deshidratados (como ingredientes en sopas, cocidos o como aditivo en otros platos), aunque también se presentan al mercado en forma de encurtidos, marinados o en salmueras y su producción se ajusta con facilidad a la infraestructura de pequeños poblados y áreas rurales, donde son obtenidos en su mayoría en los países que los producen (5).

Los hongos pueden generar una amplia gama de metabolitos secundarios con actividad biológica debido a que no son capaces de sintetizar macromoléculas a partir del CO₂ y energía como las plantas que poseen clorofila, por lo que su anabolismo está condicionado fundamentalmente por el tipo de nutrientes que posee el medio en el cual se desarrollan y las condiciones climáticas en las que se encuentran, lo cual hace posible que un mismo hongo que crece en regiones con climas diferentes o sobre sustratos diferentes pueda ser capaz de producir metabolitos muy diversos, generándose un amplia variedad de compuestos químicos (4, 14).

Otra de las propiedades de los hongos que puede ser explotada, en el caso de las especies comestibles, es su capacidad de bioabsorber y fijar a su pared celular una amplia gama de compuestos entre los que destacan minerales como el calcio, selenio, magnesio o zinc y vitaminas A, C y E, que conferirían mayores propiedades nutritivas y antioxidantes sin afectar la textura o el sabor de los cuerpos fructíferos. Existen estudios que demuestran que los procesos de secado y liofilización no afectan considerablemente las propiedades antioxidantes, ni nutricionales, puesto que ambos procesos protegen los metabolitos presentes en la biomasa (15).

El objetivo del presente trabajo fue la recopilación de información sobre las propiedades nutricionales y medicinales que presentan las principales especies de hongos comestibles.

Características generales

La mayoría de las especies de hongos comestibles pertenecen a la división *Basidiomycota* caracterizada por la capacidad de producir esporas de origen sexual (basidiosporas) en el exterior de una estructura especializada, que recibe el nombre de basidio. Estos hongos crecen en suelos ricos en materia orgánica y tienen la capacidad de transformar y degradar el material lignocelulósico por lo que desempeñan un papel fundamental dentro del ciclo del carbono en el planeta (16, 17).

Los cuerpos de fructificación de los basidiomicetos tienen una variedad tal que constituyen la base fundamental para la identificación de las especies. Desde el punto de vista microscópico, el análisis morfológico de las esporas, basidios e hifas que componen el basidiocarpo, son aspectos fundamentales a tener en cuenta para la identificación (18-20).

Los hongos comestibles pueden tener entre 20 y 30 % de proteínas aprovechables en el peso seco, siendo estos niveles muy superiores a los de otros alimentos saludables como los vegetales, además de tener un nivel muy elevado de aminoácidos esenciales y de ácidos grasos insaturados, teniendo estas proteínas un alto grado de digestibilidad (98 %) (2, 21). En comparación con alimentos como frutas y vegetales los hongos comestibles triplican el valor nutricional de los dos primeros y duplican el de los segundos; también presentan cantidades apreciables de ácido oleico y linoleico, de Niacina (supera de 5 a 10 veces a las verduras), vitaminas B₁, B₂, C, D y minerales como el calcio, magnesio, fósforo, hierro, zinc, cobre y otros (8).

Los hongos comestibles se cultivan principalmente sobre sustratos naturales ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, empleándose como contenedores de los sustratos: bandejas, bolsas o frascos de plástico o en el suelo directamente (9, 22).

Medios de cultivo y condiciones de fermentación

Los hongos comestibles son organismos quimioheterótrofos que poseen un gran número de enzimas que les permiten la degradación de la celulosa y lignina presentes en los residuos vegetales donde se desarrollan, tales como: hojas secas, vaina de frijol, cáscara de algodón, bagazo de caña de azúcar y otros.

Su alta demanda en el mercado internacional ha llevado a su cultivo a escala industrial tanto en fermentación en estado sólido (FES) como en medio líquido (FEL) (14, 23, 24).

Dado que la producción de hongos por cultivo tradicional en medio sólido y la extracción de los metabolitos bioactivos son muy trabajosos, la biotecnología es fundamental para el desarrollo de técnicas más rentables y productivas. La FEL es muy empleada para la obtención de metabolitos secundarios y de micelio vegetativo para su consumo, puesto que permite una significativa reducción de tiempo y un aumento en la producción de los compuestos con actividad biológica, tanto del medio agotado como del micelio (14, 24, 25).

Los sustratos utilizados para el cultivo de hongos contienen fuentes de nitrógeno orgánico generalmente y son bajos en amonio libre, pues un exceso de este nutriente puede inhibir tanto el crecimiento del micelio como la fructificación y el exceso de nitrógeno, producto de la degradación de las proteínas, es excretado en forma de amonio en el medio de cultivo (26).

En los primeros estados de colonización del sustrato no es necesaria la presencia de luz, pero este es un factor imprescindible en el momento de la fructificación (27), así como la humedad relativa que no debe estar nunca por debajo de 65 % y en la época de producción debe rondar el 90 % (28, 29), en cuanto a la respiración, las mayores concentraciones de CO₂ son toleradas en el período de crecimiento, puesto que durante la fructificación son requeridos altos niveles de O₂ para la obtención de primordios abundantes y bien desarrollados (12, 30).

Para el cultivo FES se ha comenzado a utilizar la tecnología Junçao (a partir de tallos y hojas de plantas herbáceas y gramíneas) (7, 12, 30). En la mayoría de los casos se recomienda un pre tratamiento de las materias primas para los medios de cultivo como el troceado o molido hasta un tamaño pequeño de las porciones antes de envasarlas para esterilización (10, 31). Esta tecnología de cultivo contribuye de alguna manera a la preservación del ambiente natural, puesto que en la mayoría de los casos esos residuos van a parar a los ríos y mares aumentando la carga de materia orgánica. También en el caso de los medios líquidos se emplean sustratos de origen natural como son las vinazas, melazas, licor de remojo de maíz y otros subproductos agrícolas (5, 32).

La FES no permite un control constante sobre todas las variables, puesto que al ser un sistema heterogéneo en su composición, se vuelve en extremo trabajoso el análisis de los principales parámetros de fermentación como son la temperatura, que varía constantemente debido a que el propio proceso de degradación genera calor, que en dependencia de la modalidad de cultivo puede demorarse más en salir al exterior del medio (33).

Se ha demostrado que haciendo ligeras variaciones en la proporción carbono/nitrógeno (C/N) es posible inducir la formación de cuerpos fructíferos; siendo así que si esta proporción se mantiene elevada el microorganismo se mantendrá solamente con el micelio vegetativo y si hay una disminución en el balance de C/N provoca que la fructificación se acelere (34, 35).

Dentro de las modalidades de cultivo más empleadas están las bandejas que pueden alcanzar grandes dimensiones y ser colocadas unas sobre otras manteniendo un distancia de 50 a 75 cm entre los pisos, de manera tal que se pueda ventilar el local lo suficiente y el intercambio gaseoso sea eficiente. El empleo de bolsas de polietileno permite un mayor aprovechamiento del área de producción y facilita el intercambio gaseoso (30, 36).

Temperatura y pH

Los hongos son en su mayoría organismos mesófilos, que se desarrollan a temperaturas entre 15 y 30 °C en dependencia de la especie y el estado fisiológico. Para el crecimiento y colonización de los sustratos se requiere de temperaturas entre 25 y 30 °C, mientras que en la etapa de fructificación las temperaturas entre 10 y 15 °C inducen y aceleran la fructificación (12).

El pH debe ser regulado añadiendo hidróxido de calcio a las bolsas o bandejas de forma tal que se mantenga entre 6 y 7, aunque se ha reportado que el pH óptimo es alrededor de 6 en la etapa de colonización y 5,5 para la etapa de fructificación (36), en dependencia de la cepa y las condiciones medioambientales tales como tipo de sustrato, humedad relativa y composición de micronutrientes en el sustrato (30).

Propiedades nutricionales

En la actualidad el término nutraceutico está siendo muy empleado para denominar a los alimentos funcionales, los cuales además de brindarnos aportes nutricionales

como los alimentos tradicionales, nos proporcionan defensas y medios para combatir numerosas enfermedades, ya sean producidas por agentes externos, como en el caso de las bacterianas y virales o las de origen interno como es el cáncer (37).

Los alimentos funcionales van desde galletas ricas en fibra natural proveniente del salvado de trigo o el aislado de proteína de soya, hasta los yogures, quesos y leches fermentadas que contienen una amplia gama de microorganismos probióticos capaces de mantener alerta a nuestro sistema inmune y ayudar a la eliminación de bacterias patógenas (24).

Existe una amplia variedad de productos a los que se adicionan harinas o macerados obtenidos a partir de los cuerpos fructíferos y la desecación del micelio vegetativo. Puede destacarse su empleo como aditivo en hamburguesas cárnicas y vegetarianas, panes, galletas y otros productos de panadería y pastelería, embutidos de pasta fina como salchichas, perros calientes, mortadela, butifarra y otros (38-40). Se ha demostrado que las capacidades nutraceuticas de los hongos comestibles se deben en gran medida a la presencia de terpenoides y ácidos grasos insaturados (41).

Muchos autores vinculan las propiedades antitumorales y antibacterianas de los hongos comestibles con sus propiedades antioxidantes, debido a que estos son capaces de producir una vasta gama de compuestos con estas características que presentan una amplia variedad de estructuras y mecanismos de acción, donde la compleja variedad de enzimas y metabolitos secundarios producidos por los hongos juegan un importante papel en el combate de las células tumorales y los microorganismos patógenos (23, 37, 42).

Algunos de los compuestos presentes en los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles y que tienen potencial terapéutico son:

β -glucanos: son polisacáridos no celulósicos constituidos por unidades de glucosa unidas por enlace β 1-3 y β 1-6, aislados principalmente de la pared celular y los cuerpos fructíferos (constituyendo cerca del 50 % de estos). Se ha demostrado que poseen actividades inmuno-estimuladoras, anticancerígenas, hipocolesterolémicas, hipoglucémicas, antiinflamatorias y analgésicas (25, 43).

Policétidos: son una familia de compuestos con una estructura muy diversa, donde sobresalen las estatinas como lovastatina, pravastatina y simvastatina con efecto hipocolesterolémico al inhibir la enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril coenzima A reductasa, primera enzima involucrada en la biosíntesis de colesterol. Se ha observado que los policétidos de manera general tienen acción antibiótica, antifúngica y citostática (38, 44).

Terpenoides: están formados por unidades de isopreno unidas cabeza a cola, uno de los más importantes es el ergosterol que se caracteriza por sus propiedades anticancerígena, antimicrobiana, antiinflamatoria, antifúngica y antitumoral (45).

Ácidos orgánicos: la presencia de ácidos grasos insaturados como el ácido oleico (omega-9) y el linoleico, (omega-3, omega-6) constituyen una característica nutracéutica favorable, puesto que son esenciales en una dieta sana y brindan protección frente a enfermedades cardiovasculares y la arterioesclerosis producida por el colesterol (LDL) (42). Otros ácidos orgánicos de interés presentes en los extractos obtenidos a partir del micelio y los cuerpos fructíferos son: el ácido oxálico, cítrico, málico, quínico y fumárico; siendo los más abundantes el málico y el quínico, constituyendo del 35 al 84 % de los ácidos no aromáticos, seguidos frecuentemente por el ácido cítrico (9-10 %) (14, 46).

Compuestos activos de interés

Dentro de la amplia gama de metabolitos secundarios que los hongos comestibles producen cabe destacar algunos debido a su importancia desde el punto de vista nutritivo y médico; estos compuestos pueden ser obtenidos en forma de soluciones acuosas o extractos alcohólicos. Dentro de ese grupo se encuentran los siguientes:

Antioxidantes

Los compuestos encontrados mayoritariamente en los cuerpos fructíferos y que poseen actividad antioxidante son de origen fenólico, como los flavonoides y taninos, los cuales son capaces de eliminar radicales libres, activar enzimas y tienen propiedades antimicrobianas, puesto que sus mecanismos de acción interfieren en la síntesis de la pared celular, lisis de las membranas, inhibición de la síntesis proteica y la formación de biopelículas (14, 47).

Se han encontrado flavonoides y taninos en *Pleurotus* sp. (1046,87 mg/100 g), *Lentinus ciliatus* (801,08 mg/100 g), *Pleurotus ostreatus* (798,55 mg/100 g), *Hygrocybe conica* (442,37 mg/100 g) y *Schizophyllum commune* (427,31 mg/100 g) entre otros (14, 47).

En estudios realizados con *L. edodes* se encontró que el contenido de fenoles oscilaba entre 9 y 16 mg/g de micelio seco, siendo superior en los extractos acuosos que en los alcohólicos y encontrándose una variación de los mismos en el tiempo (48).

Por otra parte, en especies de *Agaricus* el contenido de fenoles totales oscila entre 8,00 y 10,65 mg/g de peso seco. Mientras que los flavonoides están alrededor de los 300 µg de equivalentes de quercitina (en el cilantro, este valor no sobrepasa los 5 µg) (33), además la comparación de los niveles de flavonoides, fenoles y la capacidad de eliminar radicales libres antes y después de cocidos los cuerpos fructíferos ha arrojado como resultado que la cantidad de flavonoides (16,4 y 15,2 mg/g) y de fenoles (90,2 y 70,6 mg/g de equivalente de catequina) fue muy similar (49).

En algunos estudios se ha logrado hacer una correlación entre el contenido de fenoles totales y las propiedades antioxidantes de numerosas cepas demostrándose un coeficiente de correlación de 0,9; por lo que se ha inferido que las mayores actividades y propiedades antioxidantes que presentan los hongos comestibles es directamente proporcional al contenido total de fenoles que pueda haber en la muestra (50).

Proteínas

En los hongos comestibles, los compuestos nitrogenados tales como aminoácidos, péptidos y proteínas, representan la segunda mayor fracción después de los carbohidratos. El contenido en proteínas, como porcentaje en base al peso seco, varía desde el 4 al 53,7 % según la especie. En un estudio llevado a cabo en 2001 (51) se determinó el contenido promedio en proteína en peso seco para 47 especies de hongos comestibles de Macedonia siendo el promedio de 32,6 %, donde el contenido más alto en proteína se ha observado en *Calocybe gambosa* y *Macrolepiota mastoidea* con un 48,8 y 51,2 %, respectivamente; mientras que el valor más bajo, 16,2 % se observó en *Cantharellus cibarius* (52).

Existe una amplia gama de proteínas que componen las fracciones proteicas; en un estudio donde se analizaron 24 especies de hongos, el promedio de los niveles de albúminas, globulinas, glutelinas y prolaminas fue 24,8; 11,5; 11,5 y 5,7 %, respectivamente (51).

Los hongos poseen grandes cantidades de nitrógeno en forma no proteica presentes, tanto en la quitina de las paredes celulares como en forma de aminoácidos libres y ácidos nucleicos. Únicamente del 60 al 77 % del nitrógeno en los hongos se encuentra formando parte de las proteínas (13).

Las concentraciones de nitrógeno no proteico de *A. bisporus* varía de 0,43 a 0,79 g/100 g, en *P. ostreatus* y *L. edodes* sus niveles rondan los 0,25 a 0,34 g/100 g y 0,4 a 0,52 g/100 g en peso seco, respectivamente (13, 19).

Los hongos poseen casi todos los aminoácidos esenciales, y los detectados en mayor proporción en las especies *A. bisporus*, *P. ostreatus* y *L. edodes* son la tirosina (219 a 292 mg/100 g), la leucina (133 a 153 mg/100 g), la lisina (122 a 143 mg/100 g) y la valina (112 a 124 mg/100 g) (19).

Antimicrobianos

Existen numerosos estudios que demuestran las propiedades antibacteriana y antifúngica de los extractos provenientes de los hongos comestibles. Tanto los extractos acuosos como en base alcohólica han demostrado ser altamente eficaces contra bacterias Gram negativas como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis* y *Salmonella typhi*, entre otras y contra Gram positivas como es el caso de *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pneumoniae*.

Esta actividad antimicrobiana puede deberse a la presencia de un grupo de sustancias de carácter heterogéneo como glucósidos, taninos, saponinas, flavonoides, carbohidratos, proteínas y alcaloides, los que estaban en grados variables según la especie y el solvente empleado para la extracción (23, 53, 54).

Otra posible causa de la efectividad en el control y eliminación del crecimiento bacteriano está dada por la gran variedad de enzimas extracelulares que secreta este tipo de microorganismo, entre las que se encuentran:

celulasas, hemicelulasas, fosfatasas y proteinasas ácidas, lacasas, peroxidasas y ligninasas que pudieran afectar el crecimiento bacteriano, debido a la actividad oxidativa de las mismas (54).

Se ha encontrado que compuestos terpenoides, lectinas y polisacáridos de *G. lucidum* actúan a nivel de la membrana citoplasmática de algunas bacterias patógenas como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Bacillus subtilis*, *E. coli* y *K. pneumoniae*, con valores de inhibición semejantes a los antimicrobianos Ampicilina y Cloranfenicol (55).

En un estudio realizado en 2009 en el cual se enfrentó el extracto alcohólico de *A. bisporus* a 5 cepas de bacterias y una de hongos patógenos, dio como resultado la inhibición del crecimiento en *S. aureus*, *B. subtilis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa* y *Candida albicans* (55).

CONCLUSIONES

Los hongos comestibles ofrecen un sinnúmero de metabolitos con actividades biológicas reconocidas. Los estudios realizados hasta el presente con las principales setas comestibles ponen de manifiesto que las condiciones de crecimiento y producción de los metabolitos biológicamente activos difieren entre géneros, especies y medios de cultivo. Las sencillas condiciones de fermentación y la gran variedad de sustratos en los que pueden ser cultivados demuestran la versatilidad de estos microorganismos. La presencia de elevados niveles de proteínas, fibra dietética y compuestos con actividad biológica anticancerígena, hipocolesterolémica y moduladora del sistema inmune hace que este tipo de alimento sea considerado como nutracéutico y funcional, haciendo que su consumo sea cada vez mayor y sus propiedades mejor estudiadas.

REFERENCIAS

1. Cortés, M.; García, A. y Suárez, H. *Vitae* 14(1):16-24, 2007.
2. Shang, S.T. y Buswell J.A. *Biotech.* 7:1-7, 2004.
3. Pereira, K.B.; Megumi-Kasuya, M.C. y Dantas-Vanetti, M.C. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 54(5):991-1002, 2011.
4. Çaglarirmak, N. *Edible mushrooms: an alternative food item*, 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Arcachon, France, 2011.
5. Suárez, C. y Nieto, I.J. *Rev. Iber. Micol.* 30(1):1-8, 2013.
6. Ajonina, A. y Tatah, L. *Sci. J. Biochemi.* 139:1-6, 2012.
7. Gan, C.H.; Nurul, A. y Asmah, R. *Int. Food Res. J.* 20(3):1095-1102, 2013.
8. Garcés, A.; Velez, N.; Ruis, S.; Serna, J. y Suarez E. *Rev. Lasal. Inv.* 2(2):15-20, 2006.
9. Romero, O.; Huerta, M.; Damián M.A.; Macías, A.; Tapia, A.M.; Parraguirre, J.F. y Juárez, J. *Agro. Costarric.* 34(1):53-63, 2010.
10. Yan, P.; Lou, X. y Zhou, Q. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 20:795-799, 2004.
11. Nieto, I.J. y Chegwing, A. C. *Rev. Col. Biotechnol.* XII(1):169-178, 2010.
12. Larumbe, E. *Estrategias push and pull de marketing en el sector de setas y champiñones. Propiedades saludables del consumo de champiñón*, Logroño, España. I Jornada sobre champiñón. 2007, pp. 63-68.
13. Anguiano-Ramírez, A.C. *Estudio de las propiedades bioactivas de hongos comestibles para el diseño de productos cárnicos funcionales*. (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España) 2009.
14. Carvajal, A.E.; Koehnlein, E.A.; Soares, A.A.; Eler, G.J.; Nakashima, T.A.; Bracht A. y Peralta R.M. *Food Sci. Technol.* 46:493-499, 2012.
15. Rojas, D.; Palacio, A.; Ospina, S.; Zpata, P. y Atehortúa, L. *Vitae* 19(1):231-233, 2012.
16. Llauradó, G.; Morris, H.J.; Albear, J.M.; Castán L. y Bermúdez, R.C. *Rev. Cub. Inv. Biom.* 30(4):511-527, 2011.
17. Kirk, P.M.; Cannon, P.; David, J.C. y Stalpers, J.A. *Dictionary of the Fungi*. 9th ed. Wallingford, CABI Publishing, 2001.
18. Hybelbauerová, S.; Sejbál, J.; Dracínský, M.; Hahnová, A. y Koutek, B. *Chem. Biodivers.* 5(5):743-750, 2008.
19. Mishra, A. y Kumar, F.J. *Biochem. Eng.* 46:251-256, 2009.
20. Madigan, M.; Martinko, J.; Stahl, D. y Clark, D. *Biología de los Microorganismos*. Benjamin Cummings, (Ed.), San Francisco, Pearson Education, 2012, pp. 601-608.
21. Pires, A.B.; Gramacho, K.P.; Silva, D.C.; Góes-Neto, A.; Silva, M.M.; Muniz-Sobrinho, J.S.; Porto, R.F.; Villela-Dias, C.; Brendel, M.; Cascardo, J.C. y Pereira, A.G. *Microbiol.* 9:158-162, 2008.
22. Kayser, F.; Bienz, K.; Eckert, J. y Zinkernagel, R. *Medical Microbiology*. G. Thieme (Ed.). New York, Thieme, 2005, pp. 348-351.
23. Mendoza, J. *Evaluación de la digestibilidad in vitro de las proteínas del cuerpo fructífero de Pleurotus ostreatus*. VIII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular, Acapulco, México, 2010.
24. Curvetto, N. *Biores. Technol.* 84:171-176, 2002.
25. Nwachukwu, E. y Uzoeto, H.O. *J. Med. Plants Res.* 4(23):2460-2465, 2010.
26. García-Oduardo, N.; Bermúdez-Savón R.C. y Serrano-Alberni, M. *Tecnol. Quim.* XXXI(3):15-22, 2011.
27. Asatiani, M.D.; Elisashvili, V.I.; Wasser, S.P.; Reznick, A.Z. y Nevo E. *Bios. Biotechnol. Biochem.* 71:3090-3092, 2007.
28. Gayosso M. *Caracterización de los componentes de un extracto de primordios de P. ostreatus que induce su fructificación*. (Tesis de maestría, Universidad de Colima, Tecomán, México). 2001.
29. Reyes, T.A. *Determinación de metabolitos con actividad antimicrobiana desde basidiocarpos de Auricularia polytricha*. (Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile). 2006.
30. Garzón, J.P. y Cuervo, J.L. *NOVA* 6(10):126-140, 2008.
31. Castro, A.; Aceves, M.; Otero, A. y Díaz, E. *Manual Producción de Hongos Comestibles Pleurotus spp.* La Habana, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", 2010.
32. Grodzínskaya, A.A.; Infante, D.H. y Piven, N.M. *Agron. Trop.* 52(2):56-69, 2002.
33. Suárez, C.A. y Holguín, M.S. *Rev. Col. Cien. Hort.* 5(1):130-140. 2011.
34. Philippoussis, A. y Diamantopoulou, P. *Agro-food industry wastes and agricultural residues conversion into high value products by mushroom cultivation*. 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Arcachon, France, 2011.
35. Wasdee, C.; Namjaidee, S.; Pochana, S. y Stathopoulos, C.E. *As. J. Food Agro-Ind.* 3(1):35-43, 2010.
36. Varnero, T. M.; Quiroz, M.S. y Álvarez, C.H. *Inf. Tecnol.* 21(2):13-20, 2010.

37. Castillo, C.A. *Estudio comparativo de tres sustratos para la producción de shiitake, Lentinus edodes Sing. (Berg) en Yahuarcocha, Imbabura.* (Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador) 2011.
38. Sudian, P.; Hoyos, J.L. y Mosquera S.A. *Biotechnol. Sec. Ag. Agroind.* 10(1):136-145, 2012.
39. Liu, X.; Zhou, B.; Lin, R.; Jia, L.; Deng, P. y Fan, K. *Int. J. Biol. Macromol.* 47:116-119, 2010.
40. Wasser, S.P. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 89:1323-1332, 2011.
41. Oyetayo, V.O. y Ariyo, O.O. *Biop. Biotechnol.* 1(2):28-32, 2013.
42. Kim, J.; Lee, S.M.; Young B.I.; Park, H.G.; Gyu, L.H. y Lee, S. *J. Sci. Food Agric.* 91:1915-1919, 2011.
43. Nieto, I. y Chegwin, C. *J. Chil. Chem. Soc.* 53(2):1515-1517, 2008.
44. Pereira-Bento, K.B.; Megumi-Kasuya, M.C. y Dantas-Vanetti, M.C. *Func. Foods Heal. Dis.* 4:161-171, 2011.
45. Chen, J. y Seviou, R. *Mycol. Res.* 111(6):635-652, 2007.
46. Nieto, I. *Química y Biotecnología Fúngica.* Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2010.
47. Ribeiro, B.; Rangel, J.; Valentão, P.; Baptista, P.; Seabra, R.M. y Andrade, P.B. *J. Agric. Food Chem.* 54:8530-8537, 2006.
48. Yim, H.S.; Chye, F.Y.; Ho, S.K. y Ho C.W. *As. J. Food Ag. Ind.* 2(3):392-401, 2009.
49. Guzmán, M.; Zúñiga, N.; Santafé, G.G.; Torres, O. y Angulo A. *Fac. Cien. Agrop.* 14(2):63-69, 2009.
50. Wu, X.J. y Hansen, C. *J. Food Sci.* 73(1):M3-M8, 2007.
51. Jagadish, L.K.; Venkata, V.K.; Shenbhagaraman, R. y Kaviyarasa, n V. *Afri. J. Biotechnol.* 8(4):654-661, 2009.
52. Guthalu, N.; Upparahall, S.; Mallaiiah, S.; Nanjaraj, S. y Somasundaram, R. *J. Agric. Food Chem.* 54:9764-9772, 2006.
53. Bauer-Petrovska, B. *Eu. Food Res. Technol.* 212:469-472, 2001.
54. Barros, L.; Baptista, P.; Correia, D.M.; Casal, S.; Oliveira, B. y Ferreira, I.C. *Food Chem.* 105:140-145, 2007.
55. Pauliuc, I. y Botau, D. *J. Horti. Forest. Biotechnol.* 17(1):242-245, 2013.