

7. 2 CULTIVO Y APROVECHAMIENTO DE MACROMICETOS. UNA TENDENCIA GLOBAL EN CRECIMIENTO

J.E Sánchez* y G. Mata**

*El Colegio de la Frontera Sur. Apdo. Postal 36, Tapachula, Chiapas, México

** Instituto de Ecología. Antigua Carretera a Coatepec, Xalapa, Ver. México

RESUMEN

Los hongos superiores o macromicetos son mal conocidos por la población, sobre todo la urbana, al igual que los hongos en general; sin embargo son organismos que adquieren cada día mayor importancia. Se observa un futuro muy prometedor para estos organismos, con amplios avances en investigación, desarrollo tecnológico, aprovechamiento industrial y comercial, con impacto contundente en la alimentación, la medicina, la agricultura, la silvicultura, la biotecnología, etc. El conocimiento y aprovechamiento de la micodiversidad traerá nuevos beneficios y hasta vocablos nuevos que enriquecerán el lenguaje. La miceticultura o cultivo de los macromicetos ha logrado domesticar actualmente al menos 130 especies, entre las que se observan hongos saprófitos, parásitos de plantas o animales, micorrízicos, hipógeos... y la lista apenas empieza. La humanidad ha descubierto la importancia y los beneficios que ofrecen estos organismos y ahora todo depende de una buena vinculación entre investigación, políticas públicas, educación, capacitación, desarrollo y participación de la sociedad. En todos ellos, tanto el sector gubernamental, como el privado y el social, así como el mercado, tienen una función estratégica y fundamental.

Palabras clave: hongos comestibles, desarrollo sostenible, quinto Reino, fungicultura, micocultura, miceticultura, micotecnología.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de hongos comestibles es una actividad que ha venido tomando impulso a nivel global desde mediados del siglo pasado y es predecible que siga con esta tendencia por varias razones, dentro de las cuales se pueden citar: el incremento de la población, el incremento en la demanda, el incremento en el ingreso promedio de las personas, la diversificación de los hongos producidos, las nuevas aplicaciones de los hongos en el campo de la alimentación y la medicina, el atractivo como actividad económica, etc. Salvo en el continente asiático –específicamente en China, Japón y Corea- donde la cultura y la aceptación de estos organismos por la población en general son incuestionables, este incremento previsible en la producción y en la diversificación de los hongos producidos no parece fácil. En Europa, y otros países como Australia y Estados Unidos, donde los hongos son mal conocidos y no tan ampliamente aceptados (por su comestibilidad), el crecimiento probablemente presentará mayor resistencia, al menos en el mediano plazo. Después de analizar las tendencias mostradas en el capítulo introductorio de este libro, probablemente este último escenario es el que corresponde a Iberoamérica también.

Minter (2011) comenta cuán sorprendente resulta el desconocimiento que se tiene, de manera general, por el Reino de los Hongos; a pesar de lo importante que estos organismos son para la vida en el planeta y para el desarrollo sostenible. Este autor menciona además que los movimientos conservacionistas, a nivel mundial, no han tomado en cuenta a los hongos y pone como ejemplo el caso de la Convención sobre Diversidad Biológica de Río (CBD, por sus siglas en inglés), la cual tiene por objetivos, la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la honesta y equitativa distribución de los beneficios del uso de los recursos

genéticos (<http://www.cbd.int/rio/>). El acuerdo plausiblemente incluye todos los ecosistemas, especies y recursos genéticos. Lo lamentable del caso es que al entrar en detalles, el texto clasifica la biodiversidad en plantas, animales y microorganismos...; es decir dos reinos y un grupo especificado en base a tamaño, a ninguno de los cuales, ciertamente, pertenecen los hongos. Si se supone que los grupos conservacionistas están bien informados y hacen este tipo de omisiones colosales, ¿qué se puede esperar entonces de otras agrupaciones oficiales y no oficiales, así como del ciudadano común? Esta situación no hace más que enfatizar la necesidad de realizar grandes esfuerzos por difundir, para hacer notar, luego proteger, conservar, cultivar, aprovechar a los hongos de una manera benéfica para la humanidad. Este es el esfuerzo que seguramente se requiere para difundir el conocimiento y aprovechamiento de los macromicetos, que son, finalmente, una parte también mal conocida de los hongos. Esto pone en evidencia la importancia de resguardar y difundir el conocimiento etnomicológico que existe en algunos países de Iberoamérica y que representa el conocimiento ancestral del manejo sustentable de recursos.

Para que el crecimiento se dé también en Iberoamérica, debe impulsarse el avance científico y tecnológico que incida –mediante educación, difusión y capacitación– en el desarrollo económico y el bienestar social de la población. La tendencia ascendente no tiene vuelta: la humanidad ha descubierto que los hongos son un recurso importante, con un potencial inmenso y su estudio y aprovechamiento es sólo cuestión de tiempo... O se estudian los hongos desde ahora y se desarrolla tecnología para su domesticación –ahora, cuando el conocimiento es incipiente y comparable (en términos evolutivos) entre los países del mundo– o se corre el riesgo de depender más adelante de la tecnología desarrollada en otras partes. Esto es particularmente cierto cuando en la actualidad, si se deja a un lado el champiñón, 99% de la producción mundial de hongos se da en países del este y sudeste asiático y esta producción es 3 veces mayor que la producción mundial de champiñón (Yamanaka 2005).

La necesidad de acuñar nuevos términos

En ese acontecer de cómo conocer, cómo aprender a domesticar un “nuevo” Reino, seguramente que la terminología específica actual resulta escasa y deberá evolucionar. Nuevas palabras y términos deberán aparecer. El término agricultura se refiere al cultivo de las plantas, viene del latín “agri” que hace referencia al lugar donde se cultivan las plantas –el suelo, el campo– y cultura = cultivo. Indica, por lo tanto, la labranza, el cultivo de la tierra. El adjetivo “agrícola” hace referencia a todo aspecto relativo a la agricultura y para el cultivo de las macroplantas –los árboles, el bosque– se utiliza el término silvicultura. Es de hacer notar que términos parecidos a éstos no existen para el caso del cultivo de los hongos. Dado que los hongos pueden ser cultivados en agua, en medio sintético y en sustratos sólidos, podría pensarse que el término biotecnología de hongos comestibles podría ser el correcto, pero la verdad es que, actualmente, estas formas de cultivo también son aplicables a las plantas y al denominar al cultivo de los hongos comestibles como biotecnología de hongos comestibles se utiliza un concepto tan vasto –como lo es la biotecnología misma– que no aplica específicamente el cultivo de los macrohongos. Esta insuficiencia de términos, hace por ejemplo que, al hablar de aspectos relacionados al cultivo de un hongo en particular, se le refiera como “aspectos *agronómicos*” de dicho hongo, o bien, que al hablar de los análisis químicos también de un hongo en particular se refieran a ellos como “análisis *fitoquímicos*”...

Si bien podrían utilizarse los términos fungicultura o micocultura, –términos que actualmente son poco utilizados, pero que seguramente crecerán en uso hasta volverse más familiares– se refieren al cultivo de la generalidad de los hongos y no al grupo denominado de los hongos superiores. El término fungícola se refiere a todo lo relativo a los hongos. Si para referirse al cultivo de cualquier hongo se puede hacer uso de las palabras micocultura o fungicultura, para el caso de los hongos superiores –los macromicetos– no existe una palabra en español que les haga referencia. Esto lleva al mismo problema ya mencionado por Chang (2011), quien al tratar de definir la ciencia de los macromicetos –la “mushroomology”– concluye que no existe una palabra en inglés para ese concepto y finalmente define tal ciencia como “mushroom biology”; es decir, más o menos, la biología de los macromicetos.

En referencia al aprovechamiento del sustrato, y en semejanza con el concepto “cultivo de la tierra” que alude el término “agricultura”, no se visualiza un término conocido para los hongos. “sustraticultura” parece de antemano descartado porque no sugiere nada. ¿Podría entonces hablarse de “Miceticultura” para referirse al cultivo de los macromicetos? Aunque la raíz griega “micete” se refiere a la totalidad de los hongos, por convención, ¿podría utilizarse como acrónimo de “macromiceticultura”? ¿Es posible esto? Nótese que el uso del término “miceticultura”, tendría un antecedente en el término “micetismo”, que por su raíz “micete”, debiera referirse a todos los hongos; sin embargo, se usa exclusivamente para referirse a las intoxicaciones con hongos macroscópicos y no incluye, por ejemplo, las intoxicaciones con aflatoxinas, a las cuales se hace referencia con la palabra micotoxicosis. Hecha esta reflexión, queda claro que nuevos términos y vocablos deberán aparecer simultáneamente con la evolución y el “boom” del cultivo e introducción al mercado de macromicetos que espera a la humanidad. Por ejemplo, en la actualidad, no hay un término especializado y breve que identifique a la “Secretaría (o Ministerio) para el Cultivo de los Hongos Comestibles, Medicinales y Otros”, en similitud a la “Secretaría de Agricultura” que existe en casi todos los países del mundo. No se debe olvidar que en muchos lugares los macromicetos comestibles, ya sean cultivados o silvestres, son considerados erróneamente dentro del grupo de las “hortalizas” y que anteriormente, los hongos eran estudiados por la botánica.

Los usos de los macromicetos

Los primeros hongos silvestres colectados y los primeros macromicetos cultivados artificialmente en el mundo (*Auricularia auricula* (L.) Underw., *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer, *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach, etc.) causaron interés en la población por su valor alimenticio; sin embargo, en la actualidad, aunque la importancia alimenticia persiste en la mayoría de los casos, cada vez se descubren más características medicinales que les dan a estos hongos un mayor valor económico y social. En la actualidad, aunque no todos los estudios están plenamente confirmados, se habla de hongos con interés anticancerígeno (contra el sarcoma 180, el adenocarcinoma, la leucemia), antimutagénico, antidiabético, inmunoprotector, antioxidante, anticolesterolémico, antihipertensivo, antiinflamatorio, antimicrobiano, antibacterial, antiprotozoico, antiviral, antifúngico, y otros eficaces contra la trombosis o como nutracéuticos (Colauto y Linde 2012, Valencia del Toro y Garín Aguilar 2012). También se habla de hongos eficaces contra la tos, el asma, el enfisema, la bronquitis (Bioken s/a); contra la senescencia y como restauradores de funciones endocrinas, hipolipidémicas, antiescleróticas y sexuales (Zhu *et al.* 1998). La literatura es tan copiosa, que se requiere de un análisis riguroso que confirme muchas de estas aseveraciones; pero también se espera que nuevas acciones biológicas sean descubiertas en el sentido de un mejor control de enfermedades. Por ejemplo, un hongo endofítico ha sido identificado como productor de huperzina, fármaco recomendado en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer (Zhang *et al.* 2010b), es probable que algunos macrohongos, sobre todo los micorrícicos –que han sido poco estudiados- presenten cualidades interesantes en el mantenimiento de la homeostasis del cuerpo y en la cura de esta y otras enfermedades; o bien, que tengan propiedades anti-envejecimiento, como lo reportan Yang *et al.* (2008).

Además de las cualidades alimenticias, medicinales y psicoterapéuticas encontradas en organismos del vasto Reino de los hongos, estos organismos han demostrado características que los hace útiles para la biodegradación de lignocelulosa (Ward *et al.* 2004), la bioconversión de subproductos agroindustriales (Falanghe 1962, Yürekli *et al.* 1999), la recuperación de suelos (Snyder y Allen 2004), la decoloración de efluentes textiles (Schliephake *et al.* 2004), la degradación de colorantes (Bumpus 2004), la degradación de pesticidas (Hernández *et al.* 2006, Córdova-Juárez *et al.* 2010), así como para el tratamiento de aguas residuales y la producción de diversos metabolitos, entre otros.

Si el ser humano tiene menos de dos mil años de cultivar macromicetos, es bueno recordar que las termitas descubrieron los beneficios que puede aportar el cultivo de micelio de diversas especies de hongos ligno celu-

lolíticos, entre ellos macromicetos hace 30 millones de años y que desde entonces, en una relación mutualista muy interesante y producto de la interacción evolutiva (Zhang *et al.* 2010a), las termitas han cultivado hongos del género *Termitomyces*, y se han beneficiado con sustancias químicas complejas y productos de la degradación ocasionada por éstos, así como de un rico nutrimento en forma de agregado micelial. En esta relación de mutuo beneficio, *Termitomyces* spp. obtienen material vegetal de fácil degradación y asimilación para su crecimiento y un microclima óptimo para evitar la proliferación de otros hongos capaces de inhibir su desarrollo. Los vuelos copulares de las termitas para establecer nuevos nidos facilitan también la distribución geográfica del hongo: una relación pues, de mutuo beneficio. . . . Los seres humanos deberían actuar de manera similar: para aprovechar los beneficios que ofrecen los macromicetos, hay que estudiarlos, conocerlos mejor y contribuir a su conservación.

Recursos genéticos y macromicetos cultivados

Con una diversidad estimada en 1.5 millones de especies de hongos, de las cuales, probablemente la cuarta parte sean macromicetos, es evidente que la humanidad tiene un gran tesoro por estudiar y aprovechar. En este sentido, aunque hay algunos avances serios en cuanto a conocimiento y conservación de macromicetos en varios países de Europa (García-Rollan 2000), poco se ha hecho en el mundo y notoriamente en Iberoamérica. Smith y Ryan (2004) listan 10 de las principales colecciones de cultivos a nivel mundial que conservan recursos fúngicos. En total ellos estiman que estas colecciones conservan casi 200,000 cepas. Estos autores también mencionan que de las 466 colecciones de cultivos registradas de 61 países, la mitad (unas 250) conservan alrededor de 350 mil cepas de hongos, sin hacer la diferencia entre micro y macromicetos. Brasil y México son los países con más avances en cuanto a conservación de recursos genéticos en Iberoamérica, pues en ambos países en el pasado reciente, se han establecido lineamientos e iniciado acciones para la conservación y estudio de la biodiversidad en general, y de los macromicetos en particular. Este interés es motivado por el deseo de potenciar el desarrollo agrícola y biotecnológico en ambos países. En Brasil se ha formado el Sistema de Información para Colecciones de Interés Biotecnológico y en México el Centro Nacional de Recursos Genéticos, dentro del cual, en el subsistema microbiano (Subnargem) se pretende contribuir a la conservación de los hongos de interés para el país (agrícola, alimenticio, médico o biotecnológico). En los demás países del área, los esfuerzos son aislados, cuando no precarios, y desafortunadamente en algunos países ni siquiera se tiene información de la existencia de colecciones de hongos. Esto es un reto que debiera afrontarse, pues cotidianamente se habla de pérdida de biodiversidad y, lamentablemente, la domesticación de macromicetos, aunque sostenida y en desarrollo, pareciera insuficiente, dada la cantidad potencial de especies por conocer.

Así, al tratar el tema de macromicetos cultivados, Boa (2004) señala una lista de 92 especies de macromicetos saprófitos posibles de cultivar en el mundo (Tabla 1). En la actualidad, la cantidad de especies cultivadas se ha incrementado; por ejemplo: en 2005, después de una visita al área productora de la provincia de Fujian, China, los autores pudieron apreciar que, además de las especies ya conocidas, se cultivaban comercialmente: *Clitocybe maxima* (P. Gaertn., G. Mey. & Scherb.) P. Kumm. (Figura 1), *Dictyophora indusiata* (Vent.) Desv., y *Pleurotus nebrodensis* (Inzenga) Quél.; Por otra parte, se sabe de otras especies que son también cultivadas a nivel comercial, como: *Ustilago maydis* (DC.) Corda (Castañeda y Leal Lara 2011) y *Tuber melanosporum* Vittad. (De Román y Boa 2004). Al hacer una revisión de la literatura publicada en los últimos 15 años en revistas de interés micológico, como: *Mushroom Science*, *Acta Edulis Fungi*, *Proceedings of the World Soc. for Mushroom Biology and Mushroom Products*, la *Revista Mexicana de Micología* y *Micología Aplicada Internacional*, se observa que hay otras especies que han sido cultivadas con éxito a nivel experimental (Tabla 2), como: *Pleurotus tuber-regium* (Rumph. ex Fr.) Singer (Okhuoya y Okogbo 1991), *Lepista sordida* (Schumach.) Singer (Xiao y Zhao 1995), *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst. (Xie y Hu 2008), *Lyophyllum decastes* (Fr.) Singer (Cheng *et al.* 2008), *Tricholoma lobayense* R. Heim (Zheng *et al.* 2008), *Hexagonia apiaria* (Pers.) Fr. (Li *et al.* 2008a), *Panus giganteus* (Berk.) Corner (Qiang *et al.* 2008), *Lactarius hatsudake* Nobuj. Tanaka (Tan *et al.* 2008), *Wolfiporia cocos* (F.A. Wolf) Ryvarden & Gilb. (Li *et al.* 2008b), *Lyophyllum connatum*

Tabla 1. Macromicetos saprófitos posibles de cultivar

Nombre científico	Nombre científico	Nombre científico
<i>Agaricus arvensis</i>	<i>Hericium coralloides</i>	<i>Phellinus</i> spp.
<i>A. augustus</i>	<i>H. erinaceus</i>	<i>Pholiota nameko</i>
<i>A. bisporus</i>	<i>Hypholoma capnoides</i>	<i>Piptoporus betulinus</i>
<i>A. bitorquis</i>	<i>H. sublateritium</i>	<i>P. indigenus</i>
<i>A. blazei</i>	<i>Hypsizygus marmoreus</i>	<i>Pleurocybella porrigens</i>
<i>A. brunnescens</i>	<i>H. tessulatus</i>	<i>Pleurotus citrinopileatus</i>
<i>A. campestris</i>	<i>Inonotus obliquus</i>	<i>P. cornucopiae</i>
<i>A. subrufescens</i>	<i>Kuehneromyces mutabilis</i>	<i>P. cystidiosus</i>
<i>Agrocybe aegerita</i>	<i>Laetiporus sulphureus</i>	<i>P. djamor</i>
<i>A. cylindracea</i>	<i>Laricifomes officinalis</i> (= <i>Fomitopsis officinalis</i>)	<i>P. eryngii</i>
<i>A. molesta</i>	<i>Lentinula edodes</i>	<i>P. euosmus</i>
<i>A. praecox</i>	<i>Lentinus strigosus</i> (<i>Panus rudis</i>)	<i>P. ostreatus</i>
<i>Albatrellus</i> spp.	<i>Lentinus tigrinus</i>	<i>P. pulmonarius</i>
<i>Armillaria mellea</i>	<i>Lentinus tuber-regium</i>	<i>P. rhodophilus</i>
<i>Auricularia auricula-judae</i>	<i>Lepista nuda</i>	<i>Pluteus cervinus</i>
<i>A. fuscisuccinea</i>	<i>L. sordida</i>	<i>Polyporus indigenus</i>
<i>A. polytricha</i>	<i>Lyophyllum fumosum</i>	<i>P. saporema</i>
<i>Calvatia gigantea</i>	<i>L. ulmarium</i> (= <i>Hypsizygus ulmarium</i>)	<i>P. umbellatus</i> (= <i>Dendropolyporus umbellatus</i>)
<i>Coprinus comatus</i>	<i>Macrocybe gigantea</i> (= <i>Tricholoma giganteum</i>)	<i>Psilocybe cyanescens</i>
<i>Daedalea quercina</i>	<i>Macrolepiota procera</i>	<i>Schizophyllum commune</i>
<i>Dictyophora duplicata</i>	<i>Marasmius oreades</i>	<i>Sparassis crispa</i>
<i>Flammulina velutipes</i>	<i>Morchella angusticeps</i>	<i>Stropharia rugosoannulata</i>
<i>Fomes fomentarius</i>	<i>M. esculenta</i>	<i>Trametes cinnabarinum</i>
<i>Ganoderma applanatum</i>	<i>Neolentinus lepideus</i> (= <i>Lentinus lepideus</i>)	<i>T. versicolor</i>
<i>G. curtisii</i>	<i>Oligosporus</i> spp	<i>Tremella fuciformis</i>
<i>G. lucidum</i>	<i>Oudemansiella radicata</i>	<i>Volvariella bombycina</i>
<i>G. oregonense</i>	<i>Oxysporus nobilissimus</i>	<i>V. volvacea</i>
<i>G. sinense</i>	<i>Panellus serotinus</i> (= <i>Hohenbuehelia serotina</i>)	<i>V. volvacea</i> var. <i>gloiocephala</i>
<i>G. tenuis</i>	<i>Paneolus subbalteatus</i>	
<i>G. tsugae</i>	<i>P. tropicalis</i>	
<i>Grifola frondosa</i>	<i>Phallus impudicus</i>	

Fuente: Boa 2004.

(Schumacher) Singer (Li *et al.* 2009), *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát (Han *et al.* 2010), *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr. (Jia *et al.* 2010), *Phlebopus portentosus* (Berk. & Broome) Boedijn (Cao *et al.* 2010). Además, de

que en este libro se reporta el cultivo de las especies *Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill, *Polyporus tenuiculus* (P. Beauv.) Fr., *Lentinula boryana* (Berk. & Mont.) Pegler, *Neolentinus ponderosus* (O.K. Mill.) Redhead & Ginns, y *N. suffrutescens* (Brot.) T.W. May & A.E. Wood. Es interesante ver que se ha logrado cultivar hongos entomopatógenos con propiedades de interés medicinal como *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. y *C. militaris* (L.) Link (Bioken s/a) e *Isaria japonica* Yasuda (Yamanaka *et al.* 1998, Ban 1998).



Figura 1. Cultivo comercial de *Clitocybe maxima* en China (a y b). Presentación de *Dictyophora indusiata* (c).

También, se tienen avances importantes en el cultivo de otros hongos de interés como: *Morchella conica* Pers. (Zhao *et al.* 2010), aunque sus ascocarpos no tuvieron el desarrollo diferenciado y completo esperado. El hongo ectomicorrizico *Lyophyllum shimeji* (Kawam.) Hongo, ha sido cultivado puro sin haber colonizado las raíces de su hospedero y también se han producido cuerpos fructíferos diminutos de *Boletus reticulatus* Schaeff., en cultivo puro (Yamanaka 2005). Este mismo autor comenta que probablemente, en un futuro próximo, podrían obtenerse cuerpos fructíferos de *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer, también en cultivo puro; aunque los avances logrados hasta ahora dan cuenta sólo de la optimización de su desarrollo micelial (Cao *et al.* 2007). También se ha avanzado en el conocimiento del grupo de hongos que afectan los cultivos de macromicetos de interés, tanto desde el punto de vista de la fisiología, la biología y la taxonomía, como de sus antagonistas, con miras a desarrollar estrategias de control biológico.

Las tablas 1 y 2 muestran los logros alcanzados hasta ahora en cuanto al cultivo de macromicetos en el mundo. Dicha relación suma alrededor de 130 especies cultivadas, aunque no es precisa; por una parte porque no ha sido realizada de manera exhaustiva y por otra, porque la taxonomía de varias de las especies mencionadas es incierta; por ejemplo, *P. abalonus* Y.H. Han, K.M. Chen & S. Cheng, hongo comestible al que se le atribuyen

propiedades antioxidantes y antienvjecimiento, es sinónimo de *P. cystidiosus* O.K. Mill (Index Fungorum: <http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp>); así mismo, *Pleurotus nebrodensis* está emparentado con *P. eryngii* (DC.) Qué. (Rodríguez Estrada y Royse 2008). A pesar de ello, las dos tablas dan una idea aproximada del crecimiento y del avance logrado en el cultivo de macromicetos en los últimos años. Crecimiento muy esperanzador, sobre todo respecto de los beneficios que estos organismos pueden aportar en todos los ámbitos de la vida económica, la salud y la alimentación de la humanidad. La relación incluye macromicetos saprófitos, parásitos de plantas y de animales, micorrízicos, hipógeos... y la lista apenas empieza. Probablemente se dará un gran paso cuando se tengan mayores avances en las técnicas de cultivo de especies micorrízicas, especies entre las que se encuentran muchas de las más apreciadas por sus cualidades culinarias y sus virtudes medicinales. De lograrse, esto impactará seguramente, además de la alimentación y la medicina, la agricultura, la silvicultura, la biotecnología, etc.

Tabla 2. Adiciones recientes a la lista de macromicetos cultivados de manera comercial/experimental

Género y especie	Avance reportado (sustrato utilizado; producción o eficiencia biológica)	Función/modo de vida; uso	Referencia
<i>A. brasiliensis/A. subrufescens</i>	Se cultiva en el mismo sustrato que <i>A. bisporus</i>	Saprófito; medicinal y comestible	Iwade y Mizuno 1997, Colauto y Linde 2012
<i>Boletus edulis</i>	Formación de primordios de 1 cm rudimentarios en Hagen Agar	Micorrizico; comestible	Karpinski 1967
<i>Boletus reticulatus</i>	Medio líquido y sólido obtención de primordios.	Micorrizico; comestible	Yamanaka <i>et al.</i> 2000
<i>Clitocybe maxima</i>	Aserrín, salvado y semilla de algodón. Cultivado comercialmente	Saprófito; comestible	Unicorn s/a
<i>Cordyceps sinensis, C. militaris</i>	Arroz sin pulir, + pupas de gusano de seda en botes de polipropileno estériles.	Parásito de insectos y artrópodos; medicinal	Bioken s/a, Shrestha <i>et al.</i> 2005.
<i>Coriolus versicolor</i>	Aserrín y salvado estéril; 4.5%	Saprófito/parásito oportunista; medicinal	Poppe y Hofte 1995
<i>Dictyophora indusiata</i>	Aserrín enriquecido con semilla de algodón, salvado de trigo y otros;	Saprófito; comestible y medicinal	Unicorn s/a, Chen 2000.
<i>Hexagonia apiaria</i>	Diversos tipos de aserrín	Saprófito, parásito oportunista; medicinal	Li <i>et al.</i> 2008a
<i>Inonotus obliquus</i>	Aserrín de <i>Betula platyphylla</i> , olote, salvado harina de soya, etc; 16.8 g/bolsa con 300g sustrato seco.	Parásito de árboles (<i>Betula</i> spp.); medicinal	Han <i>et al.</i> 2010
<i>Isaria japonica</i>	Aserrín/salvado de arroz y pupas de gusano de seda;	Parásito de insectos; medicinal	Ban 1998, Yamanaka <i>et al.</i> 1998, Yamanaka e Inatomi 1997
<i>Lactarius hatsudake</i>	Plantaciones de pino; 675kg/ha	Ectomicorrizico; comestible	Tan <i>et al.</i> 2008
<i>Lentinula boryana</i>	Viruta de madera de <i>carpinus caroliniana</i> , EB 26.2 %	Saprófito; comestible	Mata y Guzmán 1993

Continúa Tabla 2

<i>Lyophyllum connatum</i>	Mezcla de cáscara de semilla de algodón, harina de olote, rastrojo de arroz. Fructificación entre 10-15°C	Saprófito; comestible, medicinal	Li <i>et al.</i> 2009
<i>Lyophyllum decastes</i>	Sin datos sobre el sustrato usado; 104 g/bote de polipropileno	Saprófito; comestible	Cheng <i>et al.</i> 2008
<i>Lyophyllum shimeji</i>	Mezcla de aserrín duro y suave + harina de maíz y grano de cebada; 110-160g/400 ml	micorrízico; comestible	Yamanaka 2008
<i>Morchella conica</i>	Producción de ascocarpos no diferenciados	Micorrízico; comestible	Zhao <i>et al.</i> 2010
<i>Neolentinus ponderosus</i> , <i>N. suffrutescens</i>	Cultivo en aserrín de pino; EB 29.9 y 11.3%, respectivamente	Saprófito; comestible	Bran <i>et al.</i> 2007, Deng <i>et al.</i> 2006.
<i>Panus giganteus</i>	Composta suplementado con selenita de sodio.	Saprófito; comestible	Qiang <i>et al.</i> 2008
<i>Phellinus linteus</i>	Cultivado artificialmente puede ser pobre en eficiencia.	Parásito; medicinal	Kwon HJ 2001
<i>Phlebopus portentosus</i>	Cultivo en botes, en granos de sorgo estéril, requiere cobertura	Saprotito; comestible	Cao <i>et al.</i> 2010, Sanmee <i>et al.</i> 2010, Ji <i>et al.</i> 2010
<i>Pholiota adiposa</i> , <i>P. squarrosa</i>	Residuos de algodón; producción hasta 2800 y 2200 g/caja, respectivamente	Saprófito y parásito oportunista; medicinal no comestible	Kong <i>et al.</i> 2005
<i>Pholiota mutabilis</i>	Aserrín y salvado estéril; 16.4%,	Saprófito; comestible	Poppe y Hofte 1995
<i>P. spectabilis</i>	Aserrín y salvado estéril; 15.2%	No comestible, Tóxico, psicodélico	Poppe y Hofte 1995, Buck 1967
<i>Pleurotus abalonus</i> , <i>P. geesteranus</i>	A base de aserrín de <i>Cryptomeria japonica</i> más salvado de trigo; 200g/500 g sustrato en 1ª cosecha.	Saprófito; comestible	Yamanaka 2005, Ohga 2000.
<i>Pleurotus nebrodensis</i>	Cáscara de semilla de algodón, salvado, harina de maíz	Saprófito; comestible	Zhang <i>et al.</i> 2005.
<i>Pleurotus tuber-regium</i>	Fibra del fruto de la palma de aceite; 123.4g/200g sustrato	Saprófito hipógeo facultativo; comestible medicinal	Okhuoya y Okogbo 1991
<i>Polyporus tenuiculus</i>	Sobre paja de trigo y aserrín de salís suplementado con soya y salvado; EB82.7%	Saprófito; comestible	Albertó y Omarini 2012
<i>Psilocybe barrerae</i>	Mezcla de arena y composta; EB:28.9%	Saprófito; probable neurotrópico y medicinal	Montiel <i>et al.</i> 2008
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	Aserrín/salvado, sacarosa y CaCO ₃ .	Patógeno de plantas; biorremediación de suelos	Xie y Hu 2008, Sigoillot 1997

Continúa Tabla 2

<i>Pycnoporus sanguineus</i>	Técnica p/ cultivar shiitake, sobre aserrín de encino; EB 128%.	saprobio; biorremediación, medicinal	Acosta Urdapilleta <i>et al.</i> 2011
<i>Tricholoma lobayense</i>	<i>Chamaecrista nictitans</i> /salvado; 14.5%	ectomicorrizico; medicinal	Zheng <i>et al.</i> 2008, Zhu <i>et al.</i> 2010.
<i>Tuber melanosporum</i>	Inoculación en Plántulas de <i>Quercus</i> spp. o <i>Coryllus avellana</i> . Fructificaciones 8-10 años después plantar en campo.	micorrízico, hipógeo; comestible	De Román y Boa 2004.
<i>Tuber melanosporum</i> , <i>T. uncinatum</i>	Micorrización de árboles de <i>Quercus ilex</i> , <i>Q. pubescens</i> y <i>Corylus avellana</i> ; 0-100 kg/ha.	micorrízico, hipógeo; comestible	Olivier (2000)
<i>Ustilago maydis</i>	Variedades susceptibles de maíz.	Parásito de maíz; comestible	Castañeda y Leal Lara 2012
<i>Wolfiporia cocos</i>	aserrín y viruta de pino y cáscara de semilla de algodón; Troncos de <i>Pinus densiflora</i> ; 18.2 y 22.2% EB.	Paramedicinal, comestible	Li <i>et al.</i> 2008b; Kubo <i>et al.</i> 2006

Fuente: Revisión efectuada en los últimos 15 años de las publicaciones *Mushroom Science*, *Acta Edulis Fungi*, *Proceedings of the World Society for Mushroom Biology and Mushroom Products*, *Revista Mexicana de Micología y Micología Aplicada International*.

Algunas de las especies comestibles cultivadas a escala industrial han ingresado ya a la tendencia mundial de la producción de alimentos “orgánicos” o “biológicos” que cada vez representa mayores volúmenes de producción. El mercado de los productos “biológicos” demanda cada vez mayor cantidad, calidad y diversidad de los mismos, de tal manera que se fuerza a la agricultura comercial a desarrollar toda una línea estratégica para la producción de alimentos saludables. En todo este escenario, los hongos comestibles y la miceticultura están destinados a jugar un papel protagónico.

REFERENCIAS

- Acosta-Urdapilleta L, Medrano Vega FA, Villegas Villarreal EC (2012) Cultivo de *Pycnoporus sanguineus* en aserrín de pino, encino y cedro. En: Sánchez JE, Mata G (eds). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Ecosur. INECOL.
- Albertó E, Omarini A (2012) Adaptación al cultivo intensivo del hongo silvestre *Polyporus tenuiculus* (Basidiomycetes, Polyporales) en sustratos formulados y en troncos. En: Sánchez JE, Mata G (eds). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Ecosur. INECOL.
- Ban KWW (1998) Cultural characteristics for inducing fruiting body of *Isaria japonica*. *The Korean J. Mycol.* 26(3):380-386
- Bioken (s/a) *Cordyceps militaris*. Bioken Labs. Inc. <http://biokenlab.com/cordyceps.html>, 8 de marzo 2011.
- Boa E (2004) *Wild edible fungi: A global overview of their use and importance to people*. Non-wood forest products 17. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 161 p.
- Bran M, Morales O, Cáceres R, Blanco R, Flores R (2007) Caracterización *in vitro* y producción de cuerpos fructíferos de cepas nativas de *Neolentinus ponderosus* y *N. lepideus*. Informe técnico final. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Guatemala. 53 pp.
- Buck RW (1967) Psychedelic Effect of *Pholiota spectabilis*. *New England J. Med.* 276 (7):391-392 <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJM196702162760707>
- Bumpus JA (2004) Biodegradation of azo dyes by fungi. En: Arora DK (ed) *Fungal biotechnology in agricultural, food, and environmental applications*. Marcel Dekker 457-469.
- Cao Y, Ji K, Liu J, Zhang C, He M, Wang W (2010) Effect of casing on fruiting of *Phlebopus portentosus* in bottle culture. *Acta Edulis Fungi* 17(3):29-32. En chino con resumen en inglés.

- Cao Z, Zhang X, Lu X, Lin X (2007) An enriched culture medium for the growth of *Tricholoma matsutake* mycelium. *Acta Edulis Fungi* 14(3):41-43. En chino con resumen en inglés.
- Castañeda de León VT, Leal Lara H (2012) Avances y perspectivas de la producción masiva de cuitlacoche *Ustilago maydis* en México. En: Sánchez JE, Mata G (eds). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Ecosur. INECOL.
- Chang ST (2011) Spreading the Word of “Mushroom Biology” across five continents. *WSMBMP Bulletin* (3) http://wsmbmp.org/Bulletin_3_Content.html. 2 de marzo 2011.
- Chen MM (2000) Cultivation techniques for *Dictyophora indusiata*, *Polyporus umbellata* and *Coprinus comatus*. *Mush Sci.* 15:543-548.
- Cheng J, Zheng H, Ben W, Ma S (2008) Industrial cultivation of *Lyophyllum decastes*. *Acta Edulis Fungi* 15(2):20-22. En chino con resumen en inglés.
- Colauto NB, Linde GA (2012) Avances sobre el cultivo del “Cogumelo-do-sol” en Brasil. En: Sánchez JE, Mata G (eds). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Ecosur. INECOL.
- Córdova-Juárez RA, Gordillo-Dorri LL, Bello-Mendoza R, Sánchez JE (2012) Use of spent substrate after *Pleurotus pulmonarius* cultivation for treatment of chlorothalonil containing wastewater. *J. Env. Mngmt.* 92:948-952.
- De Román M, Boa E (2004) Collection, marketing and cultivation of edible fungi in Spain. *Micol. Apl. Internat.* 16(2):25-33
- Deng WQ, Li TH, Chen ZN, Wu LM, Yang WD, Zhang GM (2006) A critical note on the scientific name of the cultivated edible fungus, zhudugu. *Acta Edulis Fungi* 13(3):75-79.
- Falanghe H (1962) Production of mushroom mycelium as a protein and fat source in submerged culture in medium of vinasse. *Appl. Microbiol.* 10:572-576
- García-Rolán M (2000) Conservación de la biodiversidad de hongos superiores. <http://www.docstoc.com/docs/22268525/CONSERVACION%20DE-LA-BIODIVERSIDAD-DE-HONGOS-SUPERIORES>, 9 de marzo 2010.
- Han Z, Zhang J, Liu J, Dai X, Kong X, Ma Q, Zhang P (2010) Artificial cultivation of *Inonotus obliquus*. *Acta Edulis Fungi.* 17(2):35-38.
- Hernández D, Sánchez JE, Nieto MG, Márquez FJ (2006) Degradation of endosulfan during substrate preparation and cultivation of *Pleurotus pulmonarius*. *W. J. Microbiol. Biotechnol.* 22:753-760. ISSN: 0959-3993
- Iwade I, Mizuno T (1997) Cultivation of kawariharatake (*Agaricus blazei* Murill). *Food Rev. Int.* 13(3) 383-390
- Jia P, Lu W, Guo L, Jiang H, Wang S (2010) Artificial cultivation of *Sparassis crispa*. *Acta Edulis Fungi* 17(3):33-36.
- Ji K, Cao Y, Zhang C, He M, Liu J, Wang W, Wang Y. (2010) Cultivation of *Phlebopus portentosus* in southern China. *Mycol Progress* DOI: 10.1007/s11557-010-0700-7. Online first <http://www.springerlink.com/content/r262135284p28g54/>, 8 de marzo 2011.
- Karpinski J J (1967) Erste Ergebnisse der Zucht von *Boletus edulis* auf kunstlichem Nährboden. *Mush. Sci.* VI:533-541.
- Kong WS, Cho YH, Jhune CS, You YB, Chung IM, Kim KH (2005) Cultivation and antioxidative activities of a new functional mushroom *Pholiota* spp. *Acta Edulis Fungi.Proceed. V Int. Conf. Mush. Biol. Much. Prod.* Shanghai 12:140-149
- Kubo T, Terabayashi S, Takeda S, Sasaki H, Aburada M, Miyamoto KI (2006) Indoor cultivation and cultural characteristics of *Wolfiporia cocos* sclerotia using mushroom culture bottles. *Biol. Pharmaceutical Bul.*, 29(6): 1191-1196.
- Kwon HJ (2001). Rare, Unknown but Marvelous Medicinal Mushroom: Sang-Hwang, *Phellinus linteus*; Mulberry Yellow). <http://www.phellinus-research.com/mushworld/Rare,%20Unknown%20but%20Marvelous%20Medicinal.htm>, 11 marzo 2011.
- Li H, Zhang W, Pan Q, Wang L, Tao M (2008a) Cultivation of the medicinal fungus *Hexagonia apiaria*. *Acta Edulis Fungi* 15(3):31-34.
- Li J, Wang K, Su W, Fu J, Xiong H, Bian Y (2008b) Artificial cultivation of *Wolfiporia cocos* sclerotia. *Acta Edulis Fungi* 15(4) 40-43.
- Li X, Zhang S, Li Y (2009) Artificial cultivation of *Lyophyllum connatum*. *Acta Edulis Fungi* 16(4):27-30.
- Mata G, Guzmán G (1993) Cultivation of *Lentinus boryanus* in wood shavings in México. *Crypt. Bot.* 4: 47-49.
- Minter D (2011) Fungi, the orphans of Rio. *WSMBMP Bulletin* (4) http://wsmbmp.org/Bulletin_4_Content.html, 2 de marzo 2011.
- Montiel E, Barragán JC, Tello I, Mora VM, León I, Martínez Carrera D (2008) Characterization and cultivation of *Psilocybe barrerae*. *Micol. Neotrop. Int.* 20(2) 69-74.
- Ohga S (2000) Influence of wood species on the sawdust-based cultivation of *Pleurotus abalonus* and *Pleurotus eryngii* *J. Wood Sci.* (2000) 46:175-179

- Okhuoya JA, Okogbo FO (1991) Cultivation of *Pleurotus tuber-regium* (Fr) Sing on various farm wastes. *Proc. Okla. Acad. Sci.* 71:1- 3.
- Olivier JM (2000) Progress in the cultivation of truffles. *Mush. Sci.* 15:937-942.
- Poppe JA, Hofte M (1995) Twenty wastes for twenty cultivated mushrooms. *Mush. Sci.* 14:171-179.
- Qiang A, Weng B, Lei J, Wang y, Tang X, Jiang Z (2008) Nutritional value of protein from *Panus giganteus* fruit bodies cultivated using composts supplemented with different concentrations of sodium selenite. *Acta Edulis Fungi* 15(3):72-74.
- Rodriguez Estrada AE, Royse DJ (2008) *Pleurotus eryngii* and *P. nebrodensis*: from the wild to commercial production. *Mush. News* 56(2):4-11.
- Sanmee R, Lumyong P, Dell B, Lumyong S (2010) In vitro cultivation and fruit body formation of the Black bolete, *Phlebopus portentosus*, a popular edible ectomycorrhizal fungus in Thailand. *Mycoscience* 51:15-22.
- Schliephake K, Baker WL, Lonergan GT (2004) Decoloration of industrial wastes and degradation of dye water. En: Arora DK (ed) *Fungal biotechnology in agricultural, food and environmental applications*. Marcel Dekker 692-711.
- Shrestha B, Han SK, Lee WH, Choi SK, Lee JO, Sung JM (2005) Distribution and in vitro Fruiting of *Cordyceps militaris* in Korea. *Mycobiology* 33(4): 178-181.
- Sigoillot JC (1997) Des champignons pour rehabiliter les sols pollués [*Pycnoporus cinabarinus*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*...]. *Biofutur* (170):34-36
- Smith D, Ryan MJ (2004) Current status of fungal collections and their role in biotechnology. En: Arora DK (ed) *Handbook of fungal biotechnology*. 2nd Edition revised and expanded. Marcel Dekker 904-924.
- Snyder SR, Allen MF (2004) Restoration of mycorrhizae in disturbed arid ecosystems. En: Arora DK (ed) *Fungal biotechnology in agricultural, food, and environmental applications*. Marcel Dekker 787-805.
- Tan Z, Danell E, Shen A, Fu S (2008) Successful cultivation of *Lactarius hatsutake*- an evaluation with molecular methods. *Acta Edulis Fungi* 15(3):85-88. En chino con resumen en ingles.
- Techniques for artificial culture of mushrooms (*Lepista sordida*). *J. Northeast Agric. Univ.* http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-DBDN501.001.htm, 8 de marzo 2011.
- Unicorn (s/a) A brief introduction to long net stinkhorn *Dictyophora indusiata*. <http://www.unicornbags.com/cultivation/diin.shtml>, 10 de marzo 2011.
- Unicorn (s/b) Cultivation of giant *Clitocybe*. <http://www.unicornbags.com/cultivation/clma.shtml>, 10 de marzo 2011
- Valencia del Toro G, Garín Aguilar ME (2012) Propiedades Medicinales de los hongos comestibles En: Sánchez JE, Mata G (eds) *El cultivo de hongos comestibles en Iberoamérica*. Ecosur. INECOL.
- Ward G, Hadar Y, Dosoretz CG (2004) The biodegradation of lignocellulose by white rot fungi. En: Arora DK (ed) *Fungal biotechnology in agricultural, food, and environmental applications*. Marcel Dekker 648-673.
- Xie F, Hu Q (2008) Artificial cultivation of a *Pycnoporus cinnabarinus* strain isolated from the wild in Fujian province. *Acta Edulis Fungi* 15(1):69-72.
- Yamanaka K (2008) Commercial cultivation of *Lyophyllum shimeji*. *Proceed. VI Int. Conf. Mush. Biol. Mush. Prod.* 197-202.
- Yamanaka K (2005) Cultivation of new mushroom species in East Asia. *Acta edulis fungi*. 12 (supplement). *Proceed. 5th Int. Conf. Mush. Biol. Much. Prod.* Shanghai. 343-349
- Yamanaka K, Inatomi S (1997) Cultivation of *Isaria japonica* fruit bodies on mixed plant/insect media. *Food Reviews International* 13(3):455-460
- Yamanaka K, Inatomi S, Hanaoka M (1998). Cultivation characteristics of *Isaria Japonica*. *Mycoscience* 39:43-48.
- Yamanaka K, Namba K, Tajiri A (2000) Fruit body formation of *Boletus reticulatus* in pure culture. *Mycoscience* 41:189-191.
- Yang X, Xia F, Zhang S, Liu J (2008) Anti-ageing effects of mushroom extracts obtained using the natural form extraction (NFE) method. *Acta Edulis Fungi* 15(1)47-50.
- Yürekli F, Yesilada O, Yürekli M, Topcuoglu SF (1999) Plant growth hormone production from olive oil mill and alcohol factory wastewaters by white rot fungi. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 15:503-505.
- Zhang J, Huang CH, Li C (2005) The cultivars of *Pleurotus nebrodensis* in China. *Acta Edulis Fungi, Proceed. VI Int. Conf. Mush. Biol. Mush. Prod.* 12 suppl. 350-353.
- Zhang Y, Guo H, Chen Y, Fu Z, Wang C, Li M, Li R (2010a) Mutualistic association between termites (macrotermitinae) and Termitomyces. *Acta Edulis Fungi* 17(3):67-72.
- Zhang ZB, Zeng QG, Yan RM, Wang Y, Zou ZR, Zhu D (2010b) Endophytic fungus *Cladosporium cladosporioides* LF70 from *Huperzia serrata* produces Huperzine *World J. Microbiol. Biotechnol.* 27(3):479-486.
- Zhao D, Li L, Zhao Y, Qian J, Tian G (2010) Artificial cultivation of *Morchella conica*. *Acta Edulis Fungi*. 17(1):36-39.

- Zheng H, Weng B, Jiang Z, Wang Y, Li Y (2008) Growth substrate containing *Chamaecrasta nictitans* for the cultivation of *Tricholoma lobayense*. *Acta Edulis Fungi* 15(3):18-22.
- Zhu JS, Halpern GM, Jones K (1998) The Scientific Rediscovery of an Ancient Chinese Herbal Medicine: *Cordyceps sinensis* Part I. *The Journal of alternative and complementary medicine*. 4(3): 289-303. doi:10.1089/acm.1998.4.3-289.
- Zhu Z, Jiang J, Jiang X, Jiang Y, Ma Y (2010) Method for cultivating *Tricholoma lobayense* by utilizing fungus dregs. Pat. International No. 101663960. <http://ip.com/sipoen/101663960>, 30 de marzo 2011.