

Los basidiomicetos: una herramienta biotecnológica promisoría con impacto en la agricultura

Lena Rojas Ramírez

Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Calle 110 no. 514 e/ 5.^a A y 5.^a F, Playa, La Habana, C. P. 11600, Irojas@inisav.cu

RESUMEN

Los basidiomicetos son un grupo de importancia entre los hongos, pues tienen esencial participación en la naturaleza por la versatilidad de las especies que lo constituyen; unas forman ectomicorrizas, otras son causantes de enfermedades como las royas y los carbones, y se encuentran también las especies comestibles que se cultivan con fines nutritivos. Pertenecen también a este grupo especies con importancia en la medicina por presentar metabolitos con actividad biológica contra una amplia gama de patologías clínicas, incluso influyen positivamente en la profilaxis y el tratamiento del sida. Dentro de este grupo se encuentran, además, los hongos de la podredumbre blanca, únicos microorganismos que son capaces de degradar eficientemente compuestos aromáticos y heterogéneos porque presentan un complejo enzimático inespecífico con actividad oxidativa contra una amplia variedad de sustancias tóxicas y recalcitrantes que les permite aplicaciones como biorremediadores de suelos y aguas contaminadas en las industrias textil y papelera, y tienen también marcada importancia en la agricultura, pues además pueden presentar actividad antifúngica, fitotóxica y nematocida, capacidades útiles para el manejo de plagas. Por tales motivos, en las últimas décadas han aumentado las investigaciones con el objetivo de potenciar o incrementar la actividad enzimática de estos hongos desdesignados. El objetivo de este trabajo es reunir resultados recientes de la aplicación de los basidiomicetos para la agricultura que orienten pautas o programas de desarrollo con vistas a su posterior introducción dentro del modelo agrícola alternativo, que actualmente se implementa en Cuba, con el desarrollo y aplicación de técnicas de manejo de plagas basadas en la reducción o eliminación del uso de los plaguicidas sintéticos.

Palabras claves: basidiomicetos, enfermedades fungosas, biorremediación

ABSTRACT

Basidiomycetes are an important group among the fungi, essentially because their participation in nature with versatility species that constitute them, some form ectomycorrhizae, others cause diseases like rusts and smuts, and also are the species grown as food for nutritional purposes. Significant species useful for medicine belong to this group; they present metabolites with biological activity against a wide range of clinical pathologies, including various with positive influence on AIDS prophylaxis and treatment. Within this group are also the white rot fungi, unique microorganisms that are capable of degrading aromatic and heterogeneous compounds efficiently, because they have a non-specific enzyme complex with oxidative activity against a wide variety of toxic and recalcitrant substances, that let them applications as soil bioremediation and contaminated water in textile and paper industries, and they have marked importance in agriculture too, because they may present antifungal, phytotoxic and nematocidal activities, useful for pest management. For these reasons, in recent decades researches have increased in order to enhance or enlarge the enzymatic activity of these desdesignated fungi. The aim of this work is to gather recent results of basidiomycetes application to agriculture, that guide development programs in order to its subsequent introduction into alternative agricultural model, currently implemented in Cuba, with the development and implementation of pest management techniques based on reducing or eliminating the use of synthetic pesticides.

Key words: basidiomycetes, fungi diseases, bioremediation

INTRODUCCIÓN

Los basidiomicetos constituyen un grupo de hongos que reúne más de treinta mil especies [Kirk *et al.*, 2001] consideradas superiores por su complejidad morfológica y la presencia de basidios, característica principal que define su identificación y clasificación taxonómica. En este trabajo se utilizará el término *basidiomycetes*, aunque existe la clasificación más

reciente de Hibbett *et al.* (2007), donde se reconoce a este grupo de hongos como *Basidiomycotina*.

Los basidiomicetos tienen una esencial importancia en la naturaleza debido a que algunos de ellos, como por ejemplo, las especies *Lentinus hirtus*, *Schizophyllum commune* y *Trametes versicolor* son capaces de descomponer o degradar la lignina [Agrios, 2005];

otros son causantes de las royas y los carbones como *Puccinia graminis*, *Puccinia melanocephala*, *Hemileia vastatrix*, *Ustilago scitaminea* y *Tilletia tritici* [Agrios, 2005], y algunas setas forman ectomicorrizas con los pinos como *Amanita boletus* [Pérez-Moreno, 2012]. Existe además un grupo de especies que son comestibles. De ellos los más cultivados comercialmente son el champiñón (*Agaricus bisporus*), la seta (*Pleurotus* spp.) y el shiitake (*Lentinula edodes*) [Andrade *et al.*, 2012]. Otros se han investigado con aplicaciones en la medicina humana y son altamente promisorios como fuente de metabolitos bioactivos. Al respecto, León (2005) refiere que el uso de estos hongos se remonta desde el siglo I a.n.e., y con el transcurso de los años en varias especies como *Ganoderma lucidum*, *Phellinus linteus* y *Formes fermentarius* se han encontrado compuestos con actividad antiviral, antitumoral, hematológica, antioxidante, antiinflamatoria y antidiabetes [Smânia *et al.*, 2003; Aqueveque *et al.*, 2006]; incluso pueden presentar actividad anticancerosa a través de la potenciación inmunológica, eficaz en la profilaxis y tratamiento del sida [Ick-Dong *et al.*, 2005].

Paralelo a estos descubrimientos se han reportado valiosos estudios referentes a la capacidad de los basidiomicetos de degradar eficientemente la lignina, polímero aromático, heterogéneo y complejo que protege las plantas de ataques de fitopatógenos. También pueden transformar a sustancias más simples contaminantes del medioambiente. La degradación de materiales lignocelulósicos es un proceso que involucra la acción sinérgica de un gran número de enzimas extracelulares [Aro *et al.*, 2005; Agrios, 2005; Quintero *et al.*, 2006; Ortiz, 2009], que se consideran en los microorganismos patógenos factores de virulencia, activados por señales ambientales y de comunicación célula-célula [Dong *et al.*, 2001]. Por otra parte, algunos de ellos determinan la capacidad de ataque de los hongos micoparasíticos, proceso que involucra la hidrólisis de la pared celular de los fitopatógenos [Inglis y Kawchuk, 2002].

Con el siguiente trabajo se pretende ofrecer información de resultados recientes sobre el uso de los basidiomicetos para estimular investigaciones que conducen a la obtención de bioproductos y su aplicación en la degradación de compuestos contaminantes del medioambiente y el control de plagas en la agricultura.

Basidiomicetos en la agricultura

En las últimas décadas los metabolitos aislados de los basidiomicetos han sido uno de los grupos más

atractivos para los estudios de las capacidades de sus productos naturales. Las estrobilurinas, compuestos aislados a partir del basidiomiceto *Strobilurus tenacellus*, muestran acción antifúngica que actúa en la supresión o inhibición de la respiración celular de los hongos [Zakharychev y Kovalenko, 1998]. Los fungicidas estrobilurinas, como trifloxistrobina, azoxistrobina y pyraclostrobina son análogos sintéticos de los metabolitos que ocurren en la naturaleza y han demostrado eficacia contra la sigatoka amarilla causada por *Mycosphaerella musicola* [Pérez *et al.*, 2002], incluso más eficaces que algunos fungicidas químicos como el propiconazol y mancozeb. Un nivel similar de eficacia poseen también para el control de la sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis* [Pérez *et al.*, 2002; Vawdrey y Grice, 2005]. Las estrobilurinas han tenido un impacto significativo desde su introducción en 1996 y, de forma general, inducen en las plantas la respuesta de defensa ante fitopatógenos [Munkvold, 2009], realzan el potencial antioxidativo [Wu y Tiedemann, 2001], retardan la senescencia [Reade *et al.*, 2003], mejoran la asimilación de dióxido de carbono y de nitrógeno [Glaab y Kaiser, 1999] e incrementan la tolerancia ante el estrés ambiental [Reade *et al.*, 2003]. Los efectos fisiológicos que proporcionan a las plantas se logran en mayor grado cuando se utilizan en formulaciones foliares y en el tratamiento a las semillas [Munkvold, 2009]. Las estrobilurinas están dentro de los fungicidas más vendidos en el mundo, y se usan además de forma preventiva para el control de importantes hongos fitopatógenos, tales como *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* spp., *Botrytis cinerea*, entre otros [Gullino *et al.*, 2000].

Las estrobilurinas en formulaciones fungicidas pueden presentar actividad contra bacterias fitopatógenas, como el fungicida strobilurin F500, que presenta actividad frente a la bacteria fitopatógena *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*, agente causal del fuego salvaje en el tabaco [Stefanova *et al.*, 2008]. El mecanismo de acción del producto está basado en la inducción de la respuesta celular al ataque del patógeno por la producción del ácido salicílico endógeno. Otro basidiomiceto con actividad antagonista contra ese mismo patógeno es la especie *Lentinus edodes* [Herms *et al.*, 2002].

Las especies de *Polyporus* también presentan actividades antifúngicas; así el hongo *P. ostreatus*, que inhibe el crecimiento de *Aspergillus niger* y *Gloephyllum sepiarium*, produce inhibición a *Sacharomyces cerevisiae* y a *Aspergillus fumigatus*; a su vez *Ganoderma annulare*

muestra compuestos que inhiben el crecimiento micelial de *Microsporum cannes* y *Trichophyton mentagrophytes* [Ghorashi *et al.*, 2003], y *G. applanatum* resulta ser altamente antagónica a *Armillaria luteobubalinas* [Robles *et al.*, 2008 b].

Un compuesto proteína-inactivadora, denominado *hypsín*, que inhibe el crecimiento micelial de los hongos *Mycospharella arachidicola*, *Physalospora piricola*, *Fusarium oxysporum* y *Botrytis cinerea* con IC_{50} de 2,7; 2,5; 14,2 y 0,06 mM, respectivamente, se aisló a partir del basidiomiceto *Hypsizigus marmoreus* [Lam y Ng, 2001 b]. La especie *Lyophyllum shimeji* produce otra proteína ribosoma-inactivadora, que muestra actividad antifúngica ante *P. piricola* y *M. arachidicola* [Wang y Ng, 2006] con IC_{50} de 70 mM (Lam y Ng, 2001a). El ganodermin, aislado a partir de *Ganoderma lucidum*, inhibe el crecimiento de *B. cinerea*, *F. oxysporium* y *P. piricola* con IC_{50} de 15,2; 12,4 y 18,1 mM, respectivamente [Wang y Ng, 2006].

A partir de *Phellinus* sp. se aisló un compuesto denominado Phellisin A que inhibe selectivamente la síntesis de quitina I y II, y actúa contra el crecimiento de *Colletotrichum lagenarium*, *Pyricularia oryzae*, *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus fumigatus* y *Thichophyton mentagrophytes* [Hwang *et al.*, 2000]. Estudios realizados en Cuba evidencian la actividad antifúngica de compuestos aislados de *Phellinus* sp. y *Trametes maxina* con valores de inhibición del crecimiento micelial superiores al 70 % de los hongos fitopatógenos *Rhizoctonia solani* y *Phytium* sp. [Palacios *et al.*, 2008].

Otra proteína promisoría denominada *lentina*, aislada a partir de *Lentinus edodes*, inhibe a *P. piricola*, *Botrytis cinerea* y *M. arachidicola* [Robles *et al.*, 2008 b]. Este compuesto es capaz de recuperar o aumentar la respuesta y la proliferación de células implicadas en los mecanismos de defensa y aumenta la resistencia del hospedante contra varios tipos de enfermedades. En plantas de pepino, por ejemplo, se registran un aumento foliar y la actividad enzimática relacionada con la defensa, lo que contribuye en la protección parcial observada en las plantas contra *Colletotrichum lagenarium*. Actualmente se prueba este producto sobre plantas de sorgo afectadas con *Colletotrichum sublineolum* [Piccinin *et al.*, 2010].

Los basidiomicetos presentan actividad nematocida, varias especies de hongos que atrapan y consumen nematodos, especialmente en suelos y en desechos orgánicos. Los hongos que destruyen nematodos

tienen una gran diversidad morfológica. Algunos actúan por medio de anillos de constricción, por esporas inyectables y por células adhesivas; otros mediante la excreción de toxinas para inactivar al nematodo presa [Robles *et al.*, 2008 b].

Al menos 10 especies de hongos pertenecientes a los géneros *Hohenbuehelia*, *Pleurotus* y *Resupinatus* pueden atacar a los nematodos por adhesión o a través de la producción de toxinas. Esta última estrategia la presenta *Pleurotus eryngii* con efectos tóxicos sobre *Meloidogyne javanica*, *Heterodera schachtii* y *Bursaphelenchus xylophilus* [Mamiya *et al.*, 2005 a; Mamiya *et al.*, 2005 b; Heydari *et al.*, 2006]. Algunas especies de *Nematocorus*, como *N. naphocladus* y *N. concurrens* producen nematotoxinas que evitan que ocurra el proceso de incubación de los huevos [Robles *et al.*, 2008 b].

Hasta la actualidad están descritas nueve especies de *Nematocorus* depredadoras y con capacidad endoparasítica. Las especies depredadoras capturan a los nematodos por medio de estructuras adhesivas en sus hifas y, en las especies con capacidad endoparasítica, la estructura adhesiva se encuentra en sus esporas, las cuales se conectan directamente con la cutícula del nematodo. Estas estructuras se unen de forma tan apretada que causan inmovilización completa del nematodo [Thorn y Barron, 1984]. El proceso comienza cuando las esporas adhesivas de estas especies entran en contacto y provocan la inmovilización del nematodo. La muerte posterior ocurre a las 24 h, incluso antes de que todas las esporas hayan penetrado completamente. Esta inmovilización rápida evita también el escape del nematodo hacia el hospedante, incluso, cuando se ataca la hembra del nematodo [Robles *et al.*, 2008 b].

Basidiomicetos en tratamientos de biorremediación

Los basidiomicetos, en dependencia a su patrón de degradación de materiales lignocelulósicos, se clasifican en hongos de la podredumbre parda, que degradan parcialmente la lignina para ganar acceso a la celulosa [Kirk y Farrell, 1987], y hongos de la podredumbre blanca, que la descomponen completamente [Worrall *et al.*, 1997; Leonowicz *et al.*, 1999; Tuomela *et al.*, 2000]. En este proceso intervienen enzimas comúnmente conocidas como *enzimas modificadoras* de la lignina [Agrios, 2005], las cuales son producto del metabolismo secundario bajo un proceso estrictamente aerobio [Ortiz, 2009]. De forma general la expresión de genes ligninolíticos se favorece o activa

por bajos niveles en el pH [Robles *et al.*, 2008 a], por la disminución de nutrientes como el nitrógeno, carbono o azufre y por la presencia o no de Mn (II). Es por eso que se considera como respuesta al estrés ante carencias nutricionales [Ortiz, 2009].

Debido a la baja especificidad de la batería enzimática y a la fuerte capacidad oxidativa del sistema de degradación ligninolítica, los hongos de la podredumbre blanca pueden degradar un amplio espectro de compuestos orgánicos que contienen esqueletos similares a los que presenta la lignina, tales como los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) [Collins y Dobson, 1997], 2,4,6-trinitrotolueno (TNT) [Thorn *et al.*, 1992], dioxinas, 1,1,1-trichloro-2,2-bis (4-chlorophenyl) ethane (DDT), cloroanilinas y colorantes [Field *et al.*, 1992]. Tal es el caso del hongo *Phanerochaete chrysosporium* capaz de degradar el DDT, contaminante persistente en el medioambiente, al igual que las especies *Pleurotus ostreatus*, *Phellinus weirii* y *Polyporus versicolor*, bajo condiciones ligninolíticas de crecimiento por más de treinta días de incubación. Durante la biodegradación del DDT se generan productos intermediarios, los cuales más tarde también son degradados [Robles *et al.*, 2008 a].

Los insecticidas órgano-fosforados son menos persistentes que los órgano-clorados, y la especie *P. chrysosporium* ha mostrado la capacidad de mineralizarlos durante 18 días de incubación; también es capaz de transformar herbicidas como triazina y de transformar herbicidas clorados; del mismo modo actúa el hongo *Pleurotus pulmonarius* [Robles *et al.*, 2008 a].

El TNT resulta contaminante del agua, suelo y sedimentos. La modificación de este compuesto consiste en su transformación a DNT (dinitrotoluenos) por los hongos de la podredumbre blanca; incluso la especie *P. chrysosporium* es capaz de llevar el proceso hasta la producción de CO₂ y H₂O. [Robles *et al.*, 2008 a]. Actualmente se han realizado estudios de la biorremediación *in situ* por las especies *Phanerochaete* spp., *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus*. Este último es el de mejores resultados de degradación a explosivos en un período de poco más de doscientos días [Baldrian, 2008]. Además, la especie *Pleurotus eryngii* es capaz de traslocar metales pesados/compuestos radioactivos al interior de sus basidiomas [Baeza *et al.*, 2006].

Otros contaminantes, resultado de la actividad industrial, son los polibifenilos clorados (PBC) producidos por la cloración del grupo bifenilo. Los PCB llegan al

medioambiente, suelos y sedimentos como resultado de la utilización indebida en los procesos industriales como fluidos de transferencia, fluidos dieléctricos, solventes retardadores de la inflamación y diluentes orgánicos [Robles *et al.*, 2008 a]. Según la información ofrecida por Yadav *et al.* (1995), las especies *P. chrysosporium*, *Corioloopsis polyzona*, *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* son capaces de remover *in vivo* los PCB, solo que el mecanismo de acción exacto del proceso donde actúan las enzimas ligninolíticas aún no está esclarecido [Baudette *et al.*, 2000].

Los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) se originan a partir de depósitos naturales de combustible, madera quemada, vehículos de transporte, incineración de desechos y de procesos industriales. Los PAH son compuestos orgánicos hidrofóbicos. De ellos, fenantreno, fluoreno y antraceno poseen un alto grado de mutagenicidad y toxicidad. Debido a sus efectos tóxicos pueden causar, al igual que los PBC, serios riesgos a la salud del hombre y los animales. La especie *P. chrysosporium* posee capacidad demostrada para degradarlos [Robles *et al.*, 2008 a], e incluso puede actuar sobre colorantes sintéticos; el hongo *P. sanguineus* también puede decolorarlos, pero en menor grado. Los colorantes sintéticos son químicamente diversos y comúnmente usados en la industria biomédica, del petróleo, alimenticia y textiles; por sí solos no son biodegradables, y cuando son vertidos al medioambiente persisten por largo tiempo [Robles *et al.*, 2008 a].

Aunque existan bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Burkholderia* y *Mycobacterium*, que pueden degradar hidrocarburos aromáticos como el tolueno o el nafteno, plaguicidas como atrazinas, aditivos de la gasolina como el tricloro de etilo o sustancias venenosas como el cianuro de potasio, tanto en ambientes sólidos (suelos) y líquidos (ríos y mares), los basidiomicetos, especialmente los hongos de la podredumbre blanca, están considerados los organismos más eficientes en la descontaminación del medioambiente [Robles *et al.*, 2008 b]. El elevado valor de la relación superficie/volumen celular de los basidiomicetos los convierte en eficaces degradadores en suelos contaminados.

Se ha demostrado la capacidad de los basidiomicetos *P. chrysosporium* y *T. versicolor* para decolorar efluentes de industrias aceiteras, textiles o papeleras; también para degradar o modificar diferentes sustratos,

tales como pulpas papeleras, clorofenoles, HPA [Robles *et al.*, 2008 a], por lo que constituyen una herramienta de potencial aplicación en la industria del papel, principalmente en el proceso de deslignificación durante el blanqueo de la pulpa y en la industria textil, como por ejemplo al decolorar colorantes industriales como el violeta cristal, el verde brillante, negro no. 5, azul no. 38, naranja *g* y el azul brillante *r* por el hongo *P. eryngii* [Eichlerova *et al.*, 2006]. Son capaces además de mineralizar desechos tóxicos clorados, contaminantes de esta industria que se vierten al medioambiente a través de los efluentes. En este sentido, según Mesa *et al.* (2005), en Cuba hay resultados positivos en el tratamiento de efluentes de la industria papelera mediante la introducción de estas mismas especies de hongos, donde se obtiene una reducción de la toxicidad hasta valores no tóxicos en la papelera Sergio González, de la provincia de Cienfuegos. Durante el proceso en un digestor semipiloto se logra la reducción de la toxicidad, de color y demanda química de oxígeno (DQO) a través de la degradación de la lignina presente en el efluente del pulpeo con etanol del bagazo de caña de azúcar. De igual forma, en Santiago de Cuba se logró la decoloración de residuos líquidos de destilería (vinaza) mediante el tratamiento con *Pleurotus* spp., de modo que se reduce la DQO y el color de los residuos [Rodríguez *et al.*, 2003].

La eficacia de los hongos de la podredumbre blanca en condiciones de campo depende en gran medida del crecimiento, la colonización, y por ende de la producción de enzimas, que pueden variar en dependencia de la concentración y la forma química de nutrientes y su disponibilidad, además de la presencia y constitución de la microflora existente, donde las interacciones interespecíficas son un factor de gran importancia [Baldrian, 2008]. A pesar de la complejidad del proceso, la biorremediación del suelo por los hongos de la podredumbre blanca constituye una realidad que debe ser aprovechada.

Los basidiomicetos, por su capacidad de degradación de compuestos orgánicos aromáticos, heterogéneos y complejos contaminantes del medioambiente pueden utilizarse para disminuir el uso de tratamientos químicos que pudieran generar un impacto mayor al ambiente, por lo que se sugiere su uso potencial como biorremediadores.

Perspectivas para los basidiomicetos en la agricultura cubana

Todas las estrategias tomadas por el hombre de estos tiempos van encaminadas a la preservación de los re-

ursos naturales, así como a la calidad de los alimentos que consume provenientes de los cultivos. Es por eso que el desarrollo de la agricultura va dirigido a aumentar cada vez más los programas de control integrado que incluyen la búsqueda y desarrollo de plaguicidas más selectivos y respetuosos al medioambiente, que en muchos casos debe combinarse con otros métodos de control como la solarización, la resistencia genética y prácticas agroecológicas para potenciar el desarrollo de agentes de control biológico con el fin de evitar o controlar el desarrollo y la diseminación de plagas a los cultivos.

Los efectos positivos de los agentes de control biológico son de gran importancia debido a que, entre otros aportes, reduce los problemas asociados al desarrollo de resistencia del patógeno, solo actúa sobre el patógeno diana, afecta y respeta los organismos beneficiosos. Al respecto, los basidiomicetos han sido motivo de estudios y se han logrado pequeñas producciones de *Phebiopsis hgigantea* como antagonista de *Heterobasidion annusum*, especie que afecta la raíz de las coníferas del norte [Elósegui, 2006]; pero no se encontraron ejemplos de tal actividad en la agricultura del país debido tal vez a la falta de estudios encaminados a este fin, a pesar de que en Cuba exista vasta experiencia en investigaciones relacionadas con la búsqueda de controladores biológicos y su amplia gama de aplicaciones en diferentes cultivos agrícolas y plantas ornamentales.

En Cuba, uno de los elementos claves dentro del modelo agrícola alternativo que actualmente se implementa, es el desarrollo y aplicación de técnicas de manejo de plagas y enfermedades que tiene como fundamento la reducción o eliminación del uso de los plaguicidas sintéticos, lo que constituye una de las vías principales el control biológico, pues el desarrollo de la protección de plantas en el país tiene una tendencia agroecológica.

De acuerdo con la capacidad de actividad biológica y a su amplia gama de aplicaciones, los basidiomicetos son especies promisorias como controladores biológicos, con interés para la agricultura; pueden influir en el control de enfermedades vegetales, capacidad actualmente poco explorada, y se convierten en una herramienta potencial biotecnológica.

La bioactividad de los basidiomicetos no ha sido suficientemente investigada y pueden constituir una fuente para los bioensayos, sugiriendo nuevas líneas de desarrollo de nuevos metabolitos con amplia gama de aplicaciones.

REFERENCIAS

- Andrade, R. H.; G. Mata; J. E. Sánchez: «La producción Iberoamericana de hongos comestibles en el contexto internacional», *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica. Investigación y desarrollo en un entorno multicultural*, México, 2012, pp. 9-16.
- Aqueveque, P.; J. Becerra; G. Palfner; M. Silva; J. Alarcón; T. Anke; O. Sterner: «Antimicrobial Activity of Metabolites from Mycelial Cultures of Chilean Basidiomycetes», *J. Chil. Chi. Soc.* 51 (4): 1057-1060, Chile, 2006.
- Agrios, G. N.: *Plant Pathology*, 5.ª ed., Elsevier Academic Press, EE. UU., 2005, 922 pp.
- Aro, N.; T. Pakula; M. Penttilä: «Transcriptional Regulation of Plant Cell Wall Degradation by Filamentous Fungi», *FEMS Microbiology Review* 29: 719-739, EE. UU., 2005.
- Baeza, A.; F. Guillén; A. Salas; J. Manjón: «Distribution of Radionuclides in Different Parts of a Mushroom: Influence of the Degree of Maturity», *Science of The Total Environment* 359: 255-266, Holanda, 2006.
- Baldrian, P.: «Fungal Lacases Occurrence and Properties», *FEMS Microbiol. Rev.* 30 (2): 215-242, EE. UU., 2006.
- Baudette, J. A.; O. P. Ward; M. A. Pickard; P. M. Fedorak: «Low Surfactant Concentration Increases Fungal Mineralization of a Polychlorinated Biphenyl Congener but Has no Effect on Overall Metabolism», *Lett. Appl. Microbiol.* 30: 155-160, 2000.
- Collins, P. J.; A. D. W. Dobson: «Regulation of Laccase Gen Transcription in *Trametes versicolor*», *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 3444-3450, EE. UU., 1997.
- Dong, Y.; L. Wang; J. Xu; H. Zhang; L. Zhang: «Quenching Quorum Sensing Dependent Bacterial Infection by an N-Acyl Homoserine Lactonase», *Nature* 411: 813-817, Reino Unido, 2001.
- Eichlerova, I.; L. Homolka; F. Nerud: «Ability of Industrial Dyes Decolorization and Ligninolytic Enzymes Production by Different *Pleurotus* species with Special Attention on *Pleurotus calyptratus*, Strain CCBAS 461», *Process Biochemistry* 41: 941-946, Holanda, 2006.
- Elósegui, O.: «Métodos artesanales de producción de bioplaguicidas a partir de hongos entomopatógenos y antagonistas», Memorias del Curso Internacional «Producción y uso de bioplaguicidas en diferentes agroecosistemas», Inisav, La Habana, 2006.
- Field, J. A.; E. de Jong; G. Feijoo; J. A. M. de Bont: «Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by New Isolates of White Rot Fungi», *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 2219-2226, EE. UU., 1992.
- Ghorashi, S.; C. Bucke; T. Keshavarz: «Isolation of Biologically Active Compounds from *Ganoderma* sp.», Proceedings of the 2nd International Conference on Medical Mushroom and The International Conference on Biodiversity and Bioactive Compounds, julio 17-19, 2003, Pattaya, Tailandia, pp. 189-195.
- Glaab, J.; W. M. Kaiser: «Increased Nitrate Reductase Activity in Leaf Tissue After Application of the Fungicide Kresoxim-methyl», *Planta* 207: 442-448, Alemania, 1999.
- Gullino, M.; P. Leroux; C. Smith: «Uses and Challenges of Novel Compounds for Plant Disease Control», *Crop Protection* 19: 1-11, EE. UU., 2000.
- Heydari, R.; E. Pourjam; E. Goltapeh: «Antagonistic Effect of Some Species of *Pleurotus* on the Root-Knot Nematode, *Meloidogyne javanica* in vitro», *Plant Pathology Journal* 5: 173-177, EE. UU., 2006.
- Hermes, S.; K. Seehaus; H. Koehle; U. Conrath: «A Strobilurin Fungicide Enhances the Resistance of Tobacco Against Tobacco Mosaic Virus and *Pseudomonas syringae* pv. *Tabaci*», *Plant Physiol.* 130: 120-127, EE. UU., 2002.
- Hibbett, D. S. et al.: «A Higher Level Phylogenetic Classification of the Fungi», *Mycological Research* 111 (5): 509-547, Holanda, 2007.
- Hwang, E. I.; B. S. Yun; Y. K. Kim; B. M. Kwon; H. G. Kim; H. B. Lee; W. J. Jeong; S. U. Kim: «Phellinsin A, a Novel Chitin Syntheses Inhibitor Produced by *Phellinus* sp. PL3», *J. Antibiot.* 53 (9): 903-911, Japón, 2000.
- Inglis, G.; L. Kawchuk: «Comparative Degradation of Oomycete, Ascomycete and Basidiomycete Cell Walls by Mycoparasitic and Bio Control Fungi», *Canadian Journal of Microbiology* 48: 60-70, 2002.
- Kirk, P. M.; P. F. Cannon; J. C. David; J. A. Stalpers: *Dictionary of the Fungi*, 9.ª ed., CAB International. Wallingford, Reino Unido, 655, pp. 2001.
- Kirk, T. K.; R. L. Farrell: «Enzymatic "Combustion": the Microbial Degradation of Lignin», *Annu. Rev. Microbiol.* 41: 465-505, EE. UU., 1987.
- Lam, S.; T. B. Ng: «Hypsin, a Novel Thermostable Ribosome-Inactivating Protein with Antifungal and Antiproliferative Activities from Fruiting Bodies of the Edible Mushroom *Hypsizygus marmoreus*», *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 285: 1071-1075, 2001 a.
- Lam, S. K.; T. B. Ng: «First Simultaneous Isolation of Ribosome Inactivating Protein and an Antifungal Protein from a Mushroom *Lyophyllum himiji* Together with Evidence for Synergism of Their Antifungal Effects», *Arch. Biochem. Biophys.* 393: 271-280, Reino Unido, 2001 b.
- León, J.: «Química y síntesis de los principios activos aislados de hongo superiores. Sus posibles aplicaciones farmacológicas», tesis para la obtención del título de Doctor en Ciencias, Universidad de la Laguna, Tenerife, España, 2005, p. 325.
- Leonowicz, A.; M. Matuszewska; J. Luterek; D. Ziegenhagen; M. Wojtas-Wasilewska; N. Cho; M. Hofrichter; J. Rogalski: «Biodegradation of Lignin by White-Rot Fungi», *Fungal Genetics and Biology* 27: 175-185, Holanda, 1999.
- Mamiya, Y.; M. Hiratsuka; M. Murata: «Ability of Wood-Decay Fungi to Prey on the Pinewood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner) Nickle», *Japanese Journal of Nematology* 35 (1): 21-30, 2005 a.
- Mamiya, Y.; M. Hiratsuka; M. Murata: «Effects of Wood-Decay Fungi on the Population of the Pinewood Nematode in Wood of Pine Trees», *Japanese Journal of Nematology* 35 (2): 63-70, 2005 b.
- Mesa, L.; R. Herrero; E. González; X. Gabarrell; G. Caminal: «Tratamiento biológico con basidiomicetos de los licores negros de la industria papelería», *Revista Cubana de Química*, vol. XVII (1): 231-238, 2005.
- Munkvold, G. P.: «Seed Pathology Progress in Academia and Industry», *Annu. Rev. Phytopathol.* 47: 285-311, EE. UU., 2009.
- Ortiz, M.: «Aproximaciones a la comprensión de la degradación de la lignina», *Orinoquia* 13 (2): 137-144, Colombia, 2009.
- Palacios, J.; C. Romeu; R. Ramírez: «Actividad antifúngica de extractos obtenidos a partir de hongos basidiomicetos», *Fitosanidad* 12 (3): 180, Cuba, 2008.
- Pérez-Moreno, J.: «Los hongos comestibles ectomicorrizicos y su biotecnología», *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: Investigación y desarrollo en un entorno multicultural*, México, 2012, pp. 19-28.
- Pérez, L.; A. Hernández; L. Hernández; M. Pérez: «Effect of Trifloxystrobin and Azoxystrobin on the Control of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on Banana and Plantain», *Crop Protection* 21: 17-23, EE. UU., 2002.
- Piccinin, E.; R. M. Di Piero; S. Florentino: «"Shitake" (*Lentinula edodes*) Mushroom Reduces Growth of Plant Pathogens and Leaf Spot Severity in Sorghum», *Summa Phytopathol* 36 (1): 68-72, Brasil, 2010.
- Quintero, J.; G. Feijoo; J. Lemar: «Producción de enzimas ligninolíticas con hongos basidiomicetos cultivados sobre materiales ligninolíticos», *Vitae* 13 (2): 61-67, Colombia, 2006.
- Reade, J. P. H.; L. J. Milner; A. H. Cobb: «Can Picoxystrobin Protect Winter Wheat from Environmental Stress?», Proceedings BCPC

- International Congress: Crop Science & Technology, Glasgow, nov. 10-12. Reino Unido, vol. 2, 2003, pp. 863-868.
- Robles, L.; A. González; D. Crawford; W. Chun: «Review of Environmental Organopollutants Degradation by White-Rot Basidiomycete Mushrooms», *Tecnociencia Chihuahua* 2 (1): 32-39, México, 2008 a.
- Robles, L.; A. González; D. Crawford; W. Chun: «Review of Agricultural and Medicinal Applications of Basidiomycete Mushrooms», *Tecnociencia Chihuahua* 2 (2): 95-107, México, 2008 b.
- Rodríguez, S.; M. Fernández; R. Bermúdez; H. Morris: «Tratamiento de efluentes industriales coloreados con *Pleurotus* spp.», *Rev. Iberoam. Micol.* 20: 164-168, España, 2003.
- Smânia, A.; C. Marques; E. Smânia; C. Zanetti; S. Carobrez; R. Tramon-te; C. Loguercio-Leite: «Toxicity and Antiviral Activity of Cinnabarin Obtained from *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr.», *Phytother. Res.* 17: 1069-1072, EE. UU., 2003.
- Stefanova, M.; G. Oliveira; M. Espino; A. García: «Sistema de diagnóstico y capacitación para el fuego salvaje (*Pseudomonas syringae* pv. *tabaco*) en el cultivo del tabaco en Cuba», Resultado de Investigación en opción al Premio Minag, Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, Cuba, 2008, pp. 78-85
- Thorn, G. R.; K. Valli; M. H. Gold: «Manganese (II) Oxidation by Manganese Peroxidase from the Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*», *J. Biol. Chem.* 267: 23668-23695, EE. UU., 1992.
- Thorn, R.; G. Barron: «Carnivorous mushrooms», *Science* 224: 76-78, EE. UU., 1984.
- Tuomela, M.; M. Vikman; A. Hattaka M. Itävaara: «Biodegradation of Lignin in a Compost Environment: a Review», *Bioresearch & Technology* 72: 169-183, China, 2000.
- Vawdrey, L.; K. Grice: «Evaluación en campo de las strobilurinas, triazoles y acibenzolar para el control de la sigatoca amarilla en Australia», *Revista Internacional de Bananos y Plátanos InfoMusa* 14 (2): 11-15, Francia, 2005.
- Wang, H.; T. B. Ng: «Ganodermin an Antifungal Protein from Fruiting Bodies of the Medicinal Mushroom *Ganoderma lucidum*», *Peptides* 27 (1): 27-30, Reino Unido, 2006.
- Worrall, J.; S. Anagnost; R. Zabel: «Comparison of Wood Decay Among Diverse Lignicolous Fungi», *Mycol.* 89: 199-219, EE. UU., 1997.
- Wu, Y. X.; A. Von Tiedemann: «Physiological Effects of Azoxystrobin and Epoxiconazole on Senescence and the Oxidative Status of Wheat», *Pestic. Biochem. Physiol.* 71: 1-10, Reino Unido, 2001.
- Yadav, J.; I. J. Quensen; J. Tiedge; C. Reddy: «Degradation of Polychlorinated Biphenil Mixtures by the White-Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium* as Container Specific Analysis», *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 2560-2565, EE. UU., 1995.
- Ick-Dong, Y.; C. Soo-Muk; P. Byeung-Wook; Y. Jae-Kuk; H. Nam-Doo; K. Hwan-Mook; H. Sang-Bae; L. Chang-Woo: «Nuevo polisacárido inmunoestimulante procedente de la cepa de la especie *Phellinus*, y su uso», Patente 2241219, Corea, 2005.
- Zakharychev, V.; L. Kovalenko: «Natural Compounds of the Strobilurin Series and Their Synthetic Analogues as Cell Respiration Inhibition», *Russ. Chem. Rev.* 67: 535-544, Rusia, 1998.