

UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES EN EL CULTIVO Y PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE SETA (*Pleurotus* spp.)

Ana Belem PIÑA-GUZMÁN^{1,3}, Diego Alejandro NIETO-MONTEROS² y Fabián ROBLES-MARTÍNEZ^{1,3*}

¹Sección de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotechnología. Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n, Barrio La Laguna, Col. Ticomán, D.F., C.P. 07340, México

²Sección de Ingeniería Ambiental, Departamento de Química y Ciencias Exactas. Universidad Técnica Particular de Loja. San Cayetano alto s/n, C.P. 1101608, Loja, Ecuador

³REDISA. Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental

*Autor para correspondencia: froblesm@ipn.mx

(Recibido octubre 2014; aceptado agosto 2015)

Palabras clave: biodegradación, eficiencia biológica (EB), materiales lignocelulósicos

RESUMEN

Algunos procesos productivos permiten el aprovechamiento de subproductos, desechos o residuos generados en otros procesos distintos. Lo anterior es interesante desde el punto de vista del desarrollo sustentable debido a que, por un lado, se tiende a aprovechar al máximo los recursos y, por otro, se disminuye la disposición de residuos. Un ejemplo de esto último es el cultivo de setas, en cuya producción pueden utilizarse como sustrato una gran variedad de residuos o subproductos agrícolas o agroindustriales. El cultivo de setas es un sistema biotecnológico eficiente, ya que se logran altos rendimientos y buena productividad con pocos controles ambientales. Las setas tienen tiempos de crecimiento cortos, crecen en un amplio intervalo de temperaturas y su habilidad para utilizar diversos materiales lignocelulósicos como sustrato, hace posible el empleo de residuos agrícolas, agroindustriales y forestales disponibles regionalmente. En México, el cultivo de setas es una actividad económica y ecológicamente importante, genera empleos y permite el reciclaje de más de 500 000 toneladas anuales de residuos agrícolas, agroindustriales y forestales, aminorando así el impacto ambiental de la disposición final de dichos residuos. El objetivo del presente trabajo es presentar una revisión de las investigaciones realizadas principalmente en Iberoamérica, en relación a la utilización de diversos subproductos biológicos en el cultivo y producción de los hongos comestibles (*Pleurotus* spp.). Los materiales utilizables como sustratos para el cultivo de setas se clasifican en seis categorías: pajas, rastrojos, pulpas, bagazos, residuos forestales y otros. Se analiza la amplia variación en eficiencias biológicas (EB) (15 % al 235 %) obtenidas en los diferentes estudios y, de manera sintética, los criterios de elegibilidad de los materiales.

Key words: biodegradation, biological efficiency (BE), lignocellulosic substrates

ABSTRACT

Some productive processes allow the utilization of by-products, waste or residues generated in other different processes. From the point of view of the sustainable development, this is interesting because, on the one hand, the resources are to be useful to the maximum, and for other one, the waste disposal decreases. A good example is the use of a great variety of agricultural crop residues and agroindustrial by-products as substrates in the production of edible mushrooms. Mushroom cultivation is an efficient

biotechnological process, since high performances and good productivity are achieved with low environmental controls. Mushrooms grow in a wide range of temperature, in short periods and has the ability of biodegrade different lignocellulosic substrates. This makes possible the valorization of agricultural, forest and agroindustrial residues regionally available. In Mexico, mushroom cultivation is an important economic and ecological activity, because it generates employments and enables the use and recycling of more than 500,000 tons of agricultural, agroindustrial and forest residues, per year. Moreover, it reduces the environmental impact of the final disposition of green residues. The goal of this work is to present a review of the research, mainly in Ibero-American countries, about the utilization of different green wastes (substrates) on the cultivation and production of edible mushrooms (*Pleurotus* spp.). Substrates were classified as straw, stubble, pulp, bagasse, forest residues, and others. The wide variation of biological efficiency (BE) (15 % - 235 %) obtained in different studies, and the criteria needed to choose the correct substrate for the cultivation of mushrooms were also analyzed.

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES EN LA PRODUCCIÓN DE HONGOS COMESTIBLES

Debido al rápido crecimiento de la agroindustria y a la extensión de terrenos cultivados en algunas regiones agrícolas, la cantidad de materiales orgánicos de desecho son una fuente de contaminación ambiental pues los grandes volúmenes generados rebasan la capacidad de biodegradación natural, de manera que estos desperdicios se pueden acumular llegando a convertirse en un riesgo para el equilibrio del ecosistema, ya sea porque son depositados en terrenos sin control alguno o bien quemados en el sitio generándose de esta manera contaminación ambiental. Por esta razón hay un interés creciente en la utilización de estos residuos en procesos productivos que permitan emplear estos materiales con los consecuentes beneficios económicos y ambientales.

El cultivo de hongos comestibles es una industria biotecnológica en continuo proceso de expansión y que va cobrando mayor importancia en el ámbito económico de muchos países. Entre los principales países productores de hongos comestibles se encuentra China, Estados Unidos, Holanda, Francia, España, Polonia, Italia, Canadá, Irlanda y Reino Unido (Sánchez 2010). En China hay una gran tradición por el consumo y el cultivo de hongos comestibles; sin embargo, en México, se tienen registrados más hongos silvestres comestibles (Andrade *et al.* 2013).

Los hongos *Pleurotus* spp. son agentes biológicos de gran interés por su capacidad de convertir los subproductos orgánicos no comestibles en alimentos humanos de buena palatabilidad, con una eficiencia de conversión de proteína por unidad de área y por unidad de tiempo superior a las fuentes de proteína animal (Rodríguez y Zuluaga 1994). Este género se

encuentra distribuido en Europa, Asia, Australia y América y, *Pleurotus ostreatus* es el segundo hongo comestible más cultivado por todo el mundo después de *Agaricus bisporus* (Sánchez 2010). En todo América (incluidos Canadá y Estados Unidos), México es el principal país productor de *Pleurotus* spp., solamente seguido por Brasil (Andrade *et al.* 2013). En Iberoamérica se han realizado esfuerzos científicos y tecnológicos por probar nuevos materiales como sustrato para el cultivo del hongo. El objetivo del presente documento es dar a conocer de forma sintetizada diferentes trabajos de Iberoamérica, en los que se ha investigado una gran variedad de materiales como posibles soportes en el cultivo y producción de los hongos comestibles setas (*Pleurotus* spp.).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS SETAS (*Pleurotus* spp.)

El género *Pleurotus* comprende especies comestibles de excelente gusto y sabor que generalmente son de color blanco, amarillento o rosado, a veces grisáceo o de color oscuro. A los hongos de este género se les denomina seta, aunque éstos también son conocidos popularmente como hongos ostra, orejas blancas, orejas de palo, orejas de patancán, orejas de cazahuate y orejas de izote (Gaitán-Hernández *et al.* 2006). Hasta ahora se han registrado aproximadamente 70 especies del género *Pleurotus* y se siguen descubriendo nuevas especies.

Los hongos del género *Pleurotus* han visto incrementada su popularidad a nivel mundial en los últimos años, debido a su capacidad para crecer en un amplio intervalo de temperaturas y su habilidad para utilizar como sustrato diversos materiales ricos en lignina y celulosa (Melo de Carvalho *et al.* 2010).

Requieren menor tiempo de crecimiento en comparación con otros hongos comestibles, exigen pocos controles ambientales y sus cuerpos fructíferos no son a menudo atacados por plagas y enfermedades (Jwanny *et al.* 1995). Otras ventajas, además de su fácil cultivo, son su alto rendimiento de productividad y su elevado valor nutricional por su alto contenido en proteínas de buena calidad, vitaminas, ácidos grasos insaturados y elementos esenciales como calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio, sodio, zinc, cobre, manganeso y selenio, con bajo contenido calórico y libre de colesterol (Kumari y Achal 2008). Además, los extractos o polvos provenientes de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus* han sido reconocidos por poseer propiedades medicinales, tales como: antioxidante, hepatoprotectora, antidiabética, anticancerígena, entre otras (Asaduzzaman y Mousumi 2012).

EL CULTIVO DEL GÉNERO *Pleurotus*

Los hongos del género *Pleurotus* spp. son saprófitos, crecen de manera natural sobre troncos, ramas o árboles muertos y algunas veces se encuentra en el suelo sobre raíces podridas (Díaz 2009). Gracias a estas propiedades, *Pleurotus* spp. puede crecer también de manera controlada en diferentes materiales obtenidos como subproductos o desechos de las actividades agrícolas y agroindustriales, lo cual trae un beneficio ambiental debido a que el manejo y el tratamiento adecuado de desechos orgánicos en el mundo cada día resulta más necesario.

Guzmán *et al.* (2008) señalan que los materiales elegibles para ser utilizados en la preparación de sustratos para el cultivo de *Pleurotus* spp., deben poseer el mayor número posible de propiedades favorables tales como: buena disponibilidad en cantidad y continuidad; características físico-químicas conocidas; regularidad en su composición físico-química; precio de adquisición ventajoso; localización fácil y cercana al sitio de uso y facilidad de transporte y manejo. De acuerdo al mismo autor, los sustratos para el cultivo de los hongos se pueden clasificar en seis categorías, a saber: 1) Pajas (de ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, sorgo, trigo, avena y zacate en general); 2) Rastrojos (de maíz, mijo, garbanzo, frijol, etc.); 3) Pulpas (de café, de limón, de cardamomo); 4) Bagazos (de caña de azúcar, citronela, maguey tequilero, henequén, uva, etc.); 5) Residuos forestales (como aserrín, viruta, troncos y ramas); y 6) Otros (como papel, olote, tamo de maíz, hojas de piña, fibra de coco, lirio acuático, hojas y tallos de plátano, desechos de la industria textil, etc.).

La productividad del cultivo de los hongos se valora mediante el parámetro de eficiencia biológica (EB) expresado en porcentaje. La EB se expresa en kg de biomasa de hongos por kg de sustrato, y resulta de dividir el peso fresco de los hongos cosechados entre el peso seco del sustrato empleado. Con la EB se puede evaluar la calidad de un residuo orgánico como sustrato para el cultivo de hongos, de tal forma que cuanto mayor sea el valor de este parámetro, mayor será la idoneidad del sustrato para el cultivo de la cepa de hongo en particular (Ragunathana y Swaminathan 2003). Ríos *et al.* (2010) indican que una EB se percibe como aceptable a partir del 50 %, ya que este es el valor mínimo de referencia para el cultivo comercial de *P. ostreatus* considerado como económicamente rentable. Aunque una EB adecuada debe ser cercana o mayor al 100 %, los productores de hongos no sólo están interesados en la obtención de altos rendimientos, sino también en ofrecer un buen producto de alta calidad, donde la morfología y el color de los cuerpos fructíferos, y el tamaño del píleo y estípite son también aspectos importantes a tener en cuenta cuando los agricultores seleccionan la “semilla”.

DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS LIGNO-CELULÓSICOS

La lignocelulosa es el componente principal de la biomasa vegetal y es el más abundante de los recursos renovables. Se compone de tres tipos de polímeros: celulosa (principal componente), hemicelulosa y lignina, que están fuertemente entrelazados y unidos químicamente por fuerzas no covalentes y reticulaciones covalentes (Pérez *et al.* 2002), formando un sello físico en la pared celular de las plantas que es una barrera impenetrable. La celulosa y la hemicelulosa son macromoléculas construidas a partir de diferentes azúcares. La lignina es un heteropolímero amorfo, insoluble en agua y ópticamente inactivo, se forma a partir de subunidades de fenilpropano interconectadas mediante enlaces no hidrolizables carbono-carbono y carbono-oxígeno-carbono (Sánchez 2009); está presente en la pared celular para dar soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. El principal enlace de la estructura de la lignina es el éter arilglicerol- β -aril, enlace que comprende la mitad de los enlaces de la estructura (Young y Akhtar 1998). La composición y las proporciones de estos tres compuestos varían entre cada planta (Sánchez 2009). Muchos microorganismos son capaces de degradar la celulosa y la hemicelulosa para utilizarlos como

fuente de carbono y energía. Sin embargo, un grupo muy reducido de hongos filamentosos han evolucionado en su capacidad para descomponer la lignina, que es el componente más recalcitrante de la pared celular de las plantas. Estos hongos son conocidos como los hongos de pudrición blanca (PB), entre los cuales se encuentran los del género *Pleurotus*, y que poseen la capacidad única de degradar de manera eficiente la lignina a CO₂ y agua (Hurst *et al.* 2007).

Durante el crecimiento y el desarrollo del micelio, los cambios bioquímicos tienen lugar como consecuencia de la producción de enzimas extracelulares. Estas enzimas degradan los componentes insolubles y gran cantidad de material lignocelulósico en compuestos solubles y de bajo peso molecular, que son tomados posteriormente por enzimas intracelulares del hongo para su nutrición. Por lo tanto, las enzimas tienen un papel significativo en el crecimiento y desarrollo de hongos (Kurt y Buyukalaca 2010). Los hongos tienen dos tipos de sistemas enzimáticos extracelulares: el sistema de hidrólisis, que produce hidrolasas que son responsables de la degradación de polisacáridos, y un sistema ligninolítico oxidativo único, que degrada lignina y abre los anillos de fenilo (Sánchez 2009).

El sistema enzimático ligninolítico es poco específico, ya que las peroxidasas y oxidasas actúan al azar sobre la molécula de lignina, generando radicales libres que son inestables y tienden a polimerizarse. Las principales enzimas que actúan directa o indirectamente sobre la lignina son: lignina peroxidasas (LiP), manganeso peroxidasas (MnP) y lacasas (Young y Akhtar 1998). Los hongos de la pudrición blanca, secretan una o más de las tres enzimas extracelulares oxidativas esenciales en la mineralización de lignina: la LiP que, por síntesis endógena de H₂O₂, oxida el veratril alcohol y compuestos aromáticos no fenólicos, en una reacción que genera radicales arilo y alquilo que se anabolizan intracelularmente; la MnP, que oxida componentes fenólicos de la lignina, mediante la reacción de oxidación del Mn²⁺ a Mn³⁺, la cual es dependiente del H₂O₂; y la lacasa, una fenol oxidasa con cobre, que oxida anillos de la lignina (Pérez *et al.* 2002). Todas estas enzimas participan en la degradación bajo condiciones de fermentación en estado sólido, y se ha detectado que ayudan tanto a la infestación del micelio sobre el sustrato como a la degradación del mismo (Kudryavtseva *et al.* 2008).

CUADRO I. PAÍSES DE IBEROAMÉRICA DONDE SE HAN REPORTADO TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL USO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS, AGROINDUSTRIALES Y FORESTALES EN LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus* spp.

País	Referencia	País	Referencia
Colombia	Rodríguez y Zuluaga 1994, Bonilla y López 2001, Sánchez-Velez 2013, López-Rodríguez <i>et al.</i> 2008, Rivera-Omen <i>et al.</i> 2013	Brasil	Moda <i>et al.</i> 2005, Loss <i>et al.</i> 2009
Cuba	Bermúdez <i>et al.</i> 2001 y 2007	Ecuador	Toledo 2008
Argentina	Curvetto <i>et al.</i> 2002, Fracchia <i>et al.</i> 2009, Lechner y Albertó 2011	México-Francia	Velázquez-Cedeño <i>et al.</i> 2002
México	Soto-Velazco <i>et al.</i> 1989, Lara <i>et al.</i> 2002, Bernabé-González <i>et al.</i> 2004, Salmones <i>et al.</i> 2004 y 2005, Pérez y Mata 2005, García <i>et al.</i> 2006, Guzmán <i>et al.</i> 2008, Sánchez <i>et al.</i> 2008, Gaitán-Hernández <i>et al.</i> 2009, Sánchez-Vélez 2013, Romero <i>et al.</i> 2010, Flores 2012.	América Central (Guatemala, República Dominicana, El Salvador, Honduras, Costa Rica y Nicaragua)	Cruz <i>et al.</i> 2010
España	Andrino <i>et al.</i> 2011	Chile	Varnero <i>et al.</i> 2010

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EMPLEADOS EN EL CULTIVO DE *Pleurotus* spp.

Puesto que *Pleurotus* spp. puede descomponer la lignocelulosa de manera eficiente sin un pretratamiento biológico o químico, para su cultivo se han utilizado una gran variedad de desechos lignocelulósicos, de los que la mayoría se han empleado como alimentos para animales pero, debido a su baja digestibilidad, bajo contenido de proteína y alto contenido de lignina no son recomendables para tal fin (Cohen *et al.* 2002). Tradicionalmente el género *Pleurotus* ha sido cultivado sobre paja de cereales como trigo, arroz, avena y cebada. En Asia, donde el arroz es cultivado en grandes extensiones, la paja de arroz es ampliamente aceptada como sustrato principal para cultivar hongo ostra y así se aprovecha este residuo agrícola. Por otro lado, varios autores coinciden en que para el cultivo de *Pleurotus* spp. la paja de trigo es el mejor sustrato por su disponibilidad y economía (Kumari y Achal 2008), encontrándose que en la producción comercial de diferentes especies y cepas de *Pleurotus*, los valores de EB varían entre 30.5 % (Salmones *et al.* 2005) y 161.7 % (Lechner y Albertó 2011). Sin embargo, en vista de la creciente demanda, costo y otros usos alternativos de la paja de arroz o trigo, se ha considerado la posibilidad de uso de otros residuos lignocelulósicos sin valor comercial, que se tengan disponibles en cada localidad y que puedan ser aprovechados como nuevos sustratos para la producción comercial de hongos ostra con alto contenido de proteínas, generando así productos con valor económico y contribuyendo de esta manera al cuidado del ambiente. El **cuadro I** muestra una lista de diferentes países de Iberoamérica en donde se han realizado trabajos de investigación en los que se han probado diferentes residuos agrícolas, agroindustriales y forestales como sustratos para la producción de *Pleurotus* spp.

Teniendo en cuenta que en México se está incrementando el interés por la producción comercial de hongos comestibles y se busca el abaratamiento de los costos de producción mediante el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos disponibles en cada región, es importante la búsqueda de sustratos alternativos de bajo costo y fácil acceso, sin dejar de lado que para el cultivo exitoso es fundamental la plena identificación del material que asegure que el sustrato resultará adecuado, tanto biológica como económicamente (Tisdale *et al.* 2006). Por tal motivo, hay un creciente interés en la búsqueda de nuevos sustratos o mezclas que ofrezcan una alta disponibilidad de nutrientes para el cultivo de *Pleurotus* y

que aseguren mayores rendimientos. En el **cuadro II** se muestra una lista de materiales probados como sustratos y la Eficiencia Biológica (EB) obtenida para unas 10 de las más de 70 especies conocidas de *Pleurotus* spp. Entre los materiales probados se encuentran diferentes residuos de diferentes actividades productivas como la agrícola, forestal, agroindustrial y especies vegetales originarias del lugar donde los estudios fueron realizados. Tal es el caso de la quinua, un pseudocereal originario de la región andina de Perú, Ecuador, Bolivia y Colombia, cuyo rastrojo solo y combinado con olote de maíz ha sido probado (Toledo 2008), o bien el maguey tequilero originario de México, cuyo bagazo seco y fermentado han sido probados como sustratos (Lara *et al.* 2002, Bernabé-González *et al.* 2004), obteniéndose EB aceptables (>50 %). En lo que respecta al bagazo de caña de azúcar, un residuo agroindustrial lignocelulósico producido en grandes volúmenes en países como Brasil y México, ha sido ya probado en el cultivo de *Pleurotus sajor-caju* por Moda *et al.* (2005), obteniendo EB de 13.9 – 19.2 %.

El **cuadro III** muestra algunas combinaciones en las que diversos residuos fueron empleados como co-sustratos, donde se mezclaron con sustratos típicos (olote de maíz, paja de trigo, paja de arroz, rastrojo de maíz) e incluso fueron suplementados con efluentes residuales de origen agroindustrial. En la mayoría de los casos, dichas combinaciones ofrecen mejores rendimientos que los residuos solos (co-sustratos). En un estudio realizado por Flores (2012), la combinación de bagazo de yuca + paja de trigo tuvo un mayor rendimiento en comparación con el bagazo de yuca solo. De manera similar, Rajak *et al.* (2011) reportaron que con la combinación de paja de arroz (sustrato) y hierbas silvestres de la India (co-sustrato) se obtuvo el mayor rendimiento, en comparación con las hierbas silvestres solas. Esto podría ser explicado por el hecho de que en la mezcla, los sustratos típicos aportan los nutrientes necesarios para la incubación y desarrollo de primordios y formación de esporóforos durante la colonización, mientras que los co-sustratos, cuya descomposición es más lenta que la de los sustratos, proveen los requerimientos nutricionales necesarios para los estadios posteriores de crecimiento. De manera contraria, algunas combinaciones de sustratos resultan desfavorables para la producción de *Pleurotus*. Tal es el caso del estudio realizado por Bermúdez *et al.* (2007), en el que la EB obtenida con *Pleurotus sajor-caju* sobre la combinación de pulpa de café + viruta de cedro (136.9 %) no logra superar la extraordinaria EB alcanzada por la pulpa de café sola (225.2 %). En este estudio, la pobreza de

CUADRO II. EFICIENCIA BIOLÓGICA DE DISTINTAS ESPECIES DEL GÉNERO *Pleurotus* SOBRE DIVERSOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.

	Residuos utilizados como sustrato	Especies de <i>Pleurotus</i>	EB (%)	Referencia
Pajas	De trigo	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. florida</i> , <i>P. sajor-caju</i> , <i>P. albidus</i> , <i>P. pulmonarius</i> , <i>P. eryngii</i> , <i>P. djamor</i>	30.5 – 161.7	Philippoussis <i>et al.</i> 2001, Salmones <i>et al.</i> 2005, Ahmed <i>et al.</i> 2009, Varnero <i>et al.</i> 2010, Fanadzo <i>et al.</i> 2010, Romero <i>et al.</i> 2010, Kurt y Buyukalaca 2010, Flores 2012, Lechner y Albertó 2011
	De arroz	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. florida</i> , <i>P. sajor-caju</i> ,	50.6 – 75.1	Basak <i>et al.</i> 1996, Obodai <i>et al.</i> 2003, Ahmed <i>et al.</i> 2009 , Kurt y Buyukalaca 2010
	De cebada	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. pulmonarius</i> , <i>P. djamor</i>	66.3 – 124.88	Salmones <i>et al.</i> 2004, Pérez y Mata 2005, Romero <i>et al.</i> 2010
	De soja	<i>P. florida</i> , <i>P. eous</i> ,	76.8 – 87.56	Ahmed <i>et al.</i> 2009 , Ingale y Ramteke 2010
	De frijol	<i>P. ostreatus</i>	76.95	Romero <i>et al.</i> 2010
	De sésamo	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i>	66.2 - 91.3	Kurt y Buyukalaca 2010
Rastrojos	De algodón	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. pulmonarius</i>	70.61 – 116.7	Philippoussis <i>et al.</i> 2001
	De maíz	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i> , <i>P. pulmonarius</i> , <i>P. floridae</i>	19.9 – 154.1	Obodai <i>et al.</i> 2003, Bernabé-González <i>et al.</i> 2004 , Loss <i>et al.</i> 2009, Romero <i>et al.</i> 2010, Fanadzo <i>et al.</i> 2010.
	De tomate	<i>P. ostreatus</i>	118.5	Sánchez <i>et al.</i> 2008,
	De sorgo	<i>P. sajor-caju</i>	36.8	Ragunathan y Swaminathan 2003,
	De jamaica (S y F)	<i>P. pulmonarius</i>	44.1-78.4	Bernabé-González <i>et al.</i> 2004
	De quinua	<i>P. florida</i>	32	Toledo 2008
Pulpas	De café	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i> , <i>P. pulmonarius</i> , <i>P. djamor</i>	67.1 – 225.2	Bermúdez <i>et al.</i> 2001, 2007, Velázquez-Cedeño <i>et al.</i> 2002, Salmones <i>et al.</i> 2005, García <i>et al.</i> 2006, Huerta <i>et al.</i> 2009
	De limón	<i>P. ostreatus</i>	5	Rashad <i>et al.</i> 2009
	De cardamomo	<i>P. ostreatus</i>	113.64	Morales 1987
Bagazo	De maguey tequilero (S y F)	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i> , <i>P. pulmonarius</i>	69.1 - 78.3	Lara <i>et al.</i> 2002, Bernabé-González <i>et al.</i> 2004
	De caña de azúcar	<i>P. sajor-caju</i>	13.9 – 19.2	Moda <i>et al.</i> 2005
	De cervecera	<i>P. eryngii</i>	41.02-87.35	Andrino <i>et al.</i> 2011
	De yuca	<i>P. ostreatus</i>	54.7 – 69.4	Flores 2012
	De remolacha azucarera	<i>P. ostreatus</i>	111.8	Jafarpour <i>et al.</i> 2010
Forestales	Aserrín	<i>P. columbinus</i> , <i>P. ostreatus</i> ,	47.2 – 135.6	Obodai <i>et al.</i> 2003, Narh <i>et al.</i> 2011, Lechner y Albertó 2011 , Jafarpour <i>et al.</i> 2010, Mandeel <i>et al.</i> 2005
	Viruta de madera	<i>P. albidus</i>		
	Viruta de cedro	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i>	68.5 – 89.4	Bermúdez <i>et al.</i> 2007
	Viruta de pino	<i>P. ostreatus</i> , <i>p. pulmonarius</i>	27.9 – 53.5	Pérez y Mata 2005
	Astillas de eucalipto	<i>P. ostreatus</i>	4.2	Varnero <i>et al.</i> 2010
Otros	Residuos de maíz (hojas y olotes)	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. florida</i> , <i>citrinopileatus</i>	16.5 – 78.8	Obodai <i>et al.</i> 2003, Toledo 2008, Naraian <i>et al.</i> 2009 , Liang <i>et al.</i> 2009, Mamiro y Mamiro 2011
	Hierbas de la india	<i>P. sajor-caju</i>		Rajak <i>et al.</i> 2011
	Malezas y especies arbustivas del bosque	<i>P. ostreatus</i>	22.9 – 97.9	Tisdale <i>et al.</i> 2006 , Das y Mukherjee 2007, Fracchia <i>et al.</i> 2009

CUADRO II. (cont.) EFICIENCIA BIOLÓGICA DE DISTINTAS ESPECIES DEL GÉNERO *Pleurotus* SOBRE DIVERSOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.

Otros	Pastos forrajeros (<i>Panicum virgatum</i> L., <i>P. repens</i> , <i>Pennisetum purpureum</i> , <i>Hyparrhenia filipéndula</i>)	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. cornucopiae</i> ; <i>P. citrinopileatus</i>	5.3 – 57.3	Royse <i>et al.</i> 2004, Liang <i>et al.</i> 2009 , Fanadzo <i>et al.</i> 2010, Mamiro y Mamiro 2011
	Capuchones, cáscaras y cascarillas (de cacao, coco, cacahuete, semilla de girasol, arroz, uchuva, algodón , arveja)	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. eryngii</i> , <i>P. pulmonarius</i> , <i>P. citrinopileatus</i>	7.8 – 120.7	Bermúdez <i>et al.</i> 2001, Philippoussis <i>et al.</i> 2001, Obodai <i>et al.</i> 2003, López-Rodríguez <i>et al.</i> 2008, Rodríguez Estrada <i>et al.</i> 2009, Liang <i>et al.</i> 2009, Jafarpour <i>et al.</i> 2010
	Papel y cartón	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. colombinus</i>	100.8 – 134.5	Mandeel <i>et al.</i> 2005
	Fibras (de palma , yute, coco, sisal)	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i> , <i>P. flabellatus</i> , <i>P. columbinus</i>	27.3 – 97.2	Basak <i>et al.</i> 1996, Ragunathan y Swaminathan 2003, Mandeel <i>et al.</i> 2005, Mshandete y Cuff 2008, Jafarpour <i>et al.</i> 2010
	Hojas y tallos (plátano, algodón, maíz, brócoli y coliflor)	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i> , <i>P. citrinopileatus</i> , <i>P. florida</i>	37.2 – 123.3	Basak <i>et al.</i> 1996, Ragunathan y Swaminathan 2003, Obodai <i>et al.</i> 2003, Liang <i>et al.</i> 2009, Romero <i>et al.</i> 2010 , Heredia 2010,
	Residuos vitivinícolas	<i>P. ostreatus</i> , <i>P. sajor-caju</i>	70.4 - 73.6	Kurt y Buyukalaca 2010

Nota: En negritas se presentan los estudios en los que se obtuvieron las mayores EB. S: sustrato seco; F: sustrato fermentado

CUADRO III. EFICIENCIA BIOLÓGICA DE DISTINTAS ESPECIES DEL GÉNERO *Pleurotus* SOBRE DIVERSAS MEZCLAS DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Mezclas de residuos utilizadas como sustrato	Especies de <i>Pleurotus</i>	EB (%)	Referencia
Bagazo de maguey tequilero (Agave tequilana) fermentado + paja de trigo	<i>P. ostreatus</i>	96.4	Soto-Velazco <i>et al.</i> 1989
Pulpa de café + viruta de cedro	<i>P. sajor-caju</i>	136.9	Bermúdez <i>et al.</i> , 2007
Pseudotallo + hojas frescas de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	<i>P. ostreatus</i>	99.8	Cayetano-Catarino y Bernabé-González 2008
Tallo de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>) + Paja de arroz (<i>Oryza sativa</i>) (2:1)	<i>P. pulmonarius</i>	74.4	
Pseudotallo + hojas de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>) fermentado 14 días		96.4	
Rastrojo de quinua + olote de maíz (70:30)	<i>P. florida</i>	96.67	Toledo 2008
Pulpa de limón + cascarilla de arroz (1:1)	<i>P. ostreatus</i>	26.98	Rashad <i>et al.</i> 2009
Fruta papaya + cascarilla de arroz (2:1)		13.5	
<i>Jatropha macrocarpa</i> + paja de trigo	<i>P. ostreatus</i>	76.4	Fracchia <i>et al.</i> 2009
Paja de soja + Paja de arroz	<i>P. florida</i>	85.20	Ahmed <i>et al.</i> 2009
Paja de soja + Paja de trigo		78.26	
Olote de maíz + pulpa de café (3:1)	<i>P. ostreatus</i>	43.48	Cruz <i>et al.</i> 2010
Olote de maíz + Paja de trigo, suplementado con agua residual de industria de lácteos	<i>P. florida</i>	108.68	Naraian <i>et al.</i> 2011
Bagazo de yuca + paja de trigo	<i>P. ostreatus</i>	54.7 – 69.4	Flores 2012
Fibra de coco + residuos de poda (diferentes proporciones)	<i>P. ostreatus</i>	2.95 – 11.9	Sánchez-Velez 2013

nitrógeno en la viruta de cedro puede ser la causante de los valores relativamente bajos de producción y fructificación obtenidos sobre dicha mezcla. Resulta también interesante mencionar que Delfín-Alcalá y Durán de Bazúa (2003) probaron paja de trigo y pasto mezclados con penachos de piña y posos de café (café lavado), estos tres últimos materiales tomados como parte de los residuos lignocelulósicos que pueden encontrarse en los residuos sólidos urbanos (RSU). Sin embargo, cabe remarcar la inconveniencia del uso de materiales recuperados de los RSU como sustratos para el cultivo de *Pleurotus*, dada la heterogeneidad de los materiales, los costos de separación, la contaminación de la materia orgánica por las demás fracciones contenidas en los RSU y la posible dificultad de acopiar cantidades suficientemente grandes para llevar a cabo un cultivo comercial sostenido.

Por último, es de gran importancia señalar que al final del cultivo de las setas, el sustrato agotado (SMS-spent mushroom substrate, por sus siglas en Inglés), si se enriquece con otros desechos agroindustriales puede ser empleado para el re-cultivo de más setas (*Pleurotus* spp.) o de otros hongos comestibles, o bien para la recuperación de suelos contaminados y áreas deforestadas, reduciendo de esta manera el impacto ambiental que puede provocar el SMS (Sánchez 2010).

CONCLUSIONES

Para el cultivo y producción de hongos del género *Pleurotus*, es posible el aprovechamiento de materiales residuales muy variados, lo cual permitiría destinar una parte de los sustratos convencionales como la paja de trigo y arroz, a otros usos alternativos como la alimentación animal y/o generación de energía. En Iberoamérica, en los últimos años, se han visto incrementados los estudios para la utilización de distintos residuos agrícolas y agroindustriales, ya sea solos o en combinación, con el fin de encontrar el material más adecuado que genere una alta productividad así como una mayor calidad en los hongos obtenidos a partir de él, encontrándose resultados alentadores que permitirán obtener ventajas en los ámbitos sociales, económicos y ambientales.

Los resultados de eficiencia biológica (EB) varían mucho de sustrato a sustrato, sin embargo los sustratos recomendables son aquellos que tienen un valor de EB cercano o mayor a 100, lo cual puede lograrse probando algunas combinaciones de materiales residuales o bien realizando algún tipo de pretratamiento del material como la fermentación,

el composteo o simplemente la pasteurización. De esta manera, se pueden aprovechar residuos producidos regionalmente, para producir alimentos de alto contenido proteico y el sustrato agotado puede aún ser empleado tanto para el re-cultivo de hongos comestibles como para la recuperación de suelos contaminados, ofreciendo así alternativas tanto para la seguridad alimentaria como para la disminución del impacto ambiental ocasionado por los residuos agrícolas y agroindustriales.

REFERENCIAS

- Ahmed S. A., Kadam J. A., Mane V. P., Patil S. S. y Baig M. M. V. (2009). Biological Efficiency and Nutritional Contents of *Pleurotus florida* (Mont.) Singer Cultivated On Different Agro-wastes. *Nat. Sci.* 7, 44-48.
- Andrade R. H., Mata G. y Sánchez J. E. (2013). La producción iberoamericana de hongos comestibles en el contexto internacional. En: *Hongos Comestibles y Medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. (Sánchez Velázquez J.E. y Mata G., Eds.) ECOSUR-INECOL, México, pp. 393.
- Andrino A., Morte A. y Honrubia M. (2011). Caracterización y cultivo de tres cepas de *Pleurotus eryngii* (Fries) Quélet sobre sustratos basados en residuos agroalimentarios. *An. Biol.* 33, 53-66.
- Asaduzzaman K. y Mousumi T. (2012). Nutritional and Medical importance of *Pleurotus* mushrooms: an overview. *Food Rev. Int.* 28, 313-329. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2011.637267>
- Basak M. K., Chanda S., Bhaduri S. K., Mondal S. B. y Nandi R. (1996). Recycling of jute waste for edible mushroom production. *Ind. Crops Prod.* 5, 173-176. DOI: 10.1016/0926-6690(00)00002-9
- Bermúdez R. C., García N., Gross P. y Serrano M. (2001). Cultivation of *Pleurotus* on agricultural substrates in Cuba. *Micol. Apl. Int.* 13, 25-29.
- Bermúdez R. C., García N. y Mourlot A. (2007). Fermentación sólida para la producción de *Pleurotus* spp. sobre mezclas de pulpa de café y viruta de cedro. *Rev. Tecnol. Quím.* 27, 55-62.
- Bernabé-González T., Cayetano-Catarino M., Adán-Díaz A. y Torres-Pastrana M. A. (2004). Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* sobre diversos subproductos agrícolas de Guerrero, México. *Rev. Mex. Micol.* 18, 77-80.
- Bonilla E. Y. y López F. Y. (2001). Evaluación de la eficiencia biológica de dos cepas del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (Jaques ex Fries) Quélet, en residuos postcosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y guayaba (*Psidium guajava*) en La Hoya del Río Suárez. Tesis de pregrado. Facultad de

- Ciencias. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tula, Colombia, 139 pp.
- Cayetano-Catarino M. y Bernabé-González T. (2008). Cultivo de *Pleurotus* sobre residuos de las cosechas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y plátano (*Musa paradisiaca*). Rev. Mex. Micol. 26, 57-60.
- Cohen R., Persky L. y Hadar Y. (2002). Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 58, 582-594. DOI: 10.1007/s00253-002-0930-y
- Cruz D., López de León E., Pascual L. F. y Battaglia M. (2010). Guía técnica de producción de hongos comestibles de la especie *Pleurotus ostreatus*. J. Agr. Environ. Int. Dev. 104, 139-154. DOI: <http://dx.doi.org/10.12895/jaeid.20103/4.16>
- Curvetto N. R., Figlas D., Devalis R. y Delmastro S. (2002). Growth and productivity of different *Pleurotus ostreatus* strains on sunflower seed hulls supplemented with $N-NH_4^+$ and/or Mn(II). Bioresource Technol. 84, 171-176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00013-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00013-5)
- Das N. y Mukherjee M. (2007). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on weed plants. Bioresource Technol. 98, 2723-2726. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.061>
- Díaz R. (2009). Efecto del pH inicial de desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en fermentación sumergida sobre su actividad de lacasas. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). Instituto Politécnico Nacional. Tlaxcala, México, 108 pp
- Delfín-Alcalá I. y Durán de Bazúa C. (2003). Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. Rev. Int. Contam. Ambient. 19(1), 37-45.
- Fanadzo M., Zireva D. T., Dube E. y Mashigaidze A. B. (2010). Evaluation of various substrates and supplements for biological efficiency of *Pleurotus sajor-caju* and *Pleurotus ostreatus*. Afr. J. Biotechnol. 9(19), 2756-2761. DOI: 10.5897/AJB2010.000-3100
- Flores Ramírez G. (2012). Aprovechamiento del bagazo residual de *Yucca* spp. como sustrato para la producción de *Pleurotus* spp. Tesis de Maestría. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México, 111 pp.
- Fracchia S., ArandaRickert A. y Terrizzano E. (2009). Cultivo de una cepa comercial de *Pleurotus ostreatus* en desechos de *Simmondsia chinensis* y *Jatropha macrocarpa*. Rev. Mex. Micol. 29, 37-42.
- Gaitán-Hernández R., Salmones D., Pérez R. y Mata G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México. pp. 56.
- García N., Bermúdez R. C., Gross P. y Hernández M. (2006). Cultivo de cepas de *Pleurotus* sp. sobre pulpa de café. Rev. Mex. Micol. 23, 99-101.
- Guzmán G., Mata G., Salmones D., Soto-Velazco C. y Guzmán-Dávalos L. (2008). El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales. Instituto Politécnico Nacional. D.F., México. pp. 245.
- Heredia, C. (2010). Utilización de residuos de brócoli (*Brassica oleracea itálica*), coliflor (*Brassica oleracea*) y romanesco (*Brassica oleracea botrytis*) generados en la empresa PROVEFRUT S. A. para la producción de setas *Pleurotus*. Tesis de Ingeniería. Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador, 97 pp.
- Huerta G., Martínez-Carrera D., Sánchez J. E. y Leal-Lara H. (2009). Grupos de interesterilidad y productividad de cepas de *Pleurotus* de regiones tropicales y subtropicales de México. Rev. Mex. Micol. 30, 31-42.
- Hurst C., Crawford R., Garland J., Lipson D., Mills A. y Stetzenbach L. (2007). *Manual of environmental microbiology*. AMS press. Washington D.C., United States of America. 1352 pp.
- Ingale A. y Ramteke A. (2010). Studies on cultivation and biological efficiency of mushrooms grown on different agro-residues. Innov. Rom. Food. Biotechnol. 6, 25-28.
- Jafarpour M., Zand A. J., Dehdashtizadeh B. y Eghbalsaied S. (2010). Evaluation of agricultural wastes and food supplements usage on growth characteristics of *Pleurotus ostreatus*. Afr. J. Agric. Res. 5, 3291-3296. DOI: 10.5897/AJAR10.623
- Jwanny E. W., Rashad M. M. y Abdu H. M. (1995). Solid-state fermentation of agricultural wastes into food through *Pleurotus* cultivation. Appl. Biochem. Biotech. 50, 71-78. DOI: 10.1007/BF02788041
- Kudryavtseva O. A., Dunaevsky Y. E., Kamzolnikina O. V. y Belozersky M. A. (2008). Fungal Proteolytic Enzymes: Features of the Extracellular Proteases of Xylotrophic Basidiomycetes. J. Microbiol. 77, 643-653. DOI: 10.1134/S0026261708060015
- Kumari D. y Achal V. (2008). Effect of different substrates on the production and non-enzymatic antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom). Life Sci. J. 5, 73-76.
- Kurt S. y Buyukalaca S. (2010). Yield performances and changes in enzyme activities of *Pleurotus* spp. (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*) cultivated on different agricultural wastes. Bioresource Technol. 101, 3164-3169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.011>
- Lara M., Arias A. y Villaseñor L. (2002). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *P. pulmonarius* on spent brewer's grain and tequila maguey bagasse. In: Proceed. IV International Conference on Mushroom Bi-

- ology and Mushroom Products, Cuernavaca, México. 323-330 pp.
- Lechner B.E. y Albertó E. (2011). Search for new naturally occurring strains of *Pleurotus* to improve yields: *Pleurotus albidus* as a novel proposed species for mushroom production. *Rev. Iberoam. Micol.* 28, 148-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.riam.2010.12.001>
- Liang Z. C., Wu C. Y., Shieh Z. L. y Cheng S. L. (2009). Utilization of grass plants for cultivation of *Pleurotus citrinopileatus*. *Int. Biodeter. Biodegr.* 63, 509-514. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.12.006>
- López-Rodríguez C., Hernández-Corredor R., Suárez-Franco C. y Borrero M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Univ. Sci.* 13, 128-137.
- Loss E., Royer A. R., Barreto-Rodrigues M. y Barana A. C. (2009). Use of maize wastewater for the cultivation of the *Pleurotus* spp. mushroom and optimization of its biological efficiency. *J. Hazard Mater.* 166, 1522-1525. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.014>
- Mamiro D. P. y Mamiro P. S. (2011). Yield and mushroom size of *Pleurotus ostreatus* grown on rice straw basal substrate mixed and supplemented with various crop residues. *J. Anim. Plant Sci.* 10, 1211-1218.
- Mandeel Q. A., Al-Laith A. A. y Mohamed S. A. (2005). Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 21, 601-607. DOI: 10.1007/s11274-004-3494-4
- Melo de Carvalho C. S., Sales-Campos C. y Nogueira de Andrade M. C. (2010). Mushrooms of the *Pleurotus* genus: a review of cultivation techniques. *Interciencia.* 35, 177-182.
- Moda E. M., Horii J. y Fillet-Spoto M. H. (2005). Edible mushroom *Pleurotus sajor-caju* production on washed and supplemented sugarcane bagasse. *Sci. Agric.* 62, 127-132. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000200006>
- Morales, P. (1987). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre la pulpa de cardamomo. *Rev. Mex. Micol.* 3, 71-73.
- Mshandete A. M. y Cuff J. (2008). Cultivation of three types of indigenous wild edible mushrooms: *Coprinus cinereus*, *Pleurotus flabellatus* and *Volvariella volvacea* on composted sisal decortication residue in Tanzania. *Afr. J. Biotechnol.* 7, 4551-4562. DOI: 10.5897/AJB08.792
- Naraian R., Sahu R. K., Kumar S., Garg S. K., Singh C. S. y Kanauija R. S. (2009). Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn cob substrate. *Environmentalist.* 29, 1-7. DOI: 10.1007/s10669-008-9174-4
- Naraian R., Srivastava J. y Garg S. K. (2011). Influence of dairy spent wash (DSW) on different cultivation phases and yield response of two *Pleurotus* mushrooms. *Ann Microbiol.* 61, 853-862. DOI: 10.1007/s13213-011-0206-9
- Narh D. L., Obodai M., Baka D. y Dzomeku M. (2011). The efficacy of sorghum and millet grains in spawn production and carpophore formation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex. Fr) Kummer. *Int. Food Res. J.* 18, 1092-1097.
- Obodai M., Cleland-Okine J. y Vowotor K. A. (2003). Comparative study on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus* mushroom on different lignocellulosic by-products. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 30, 146-149. DOI: 10.1007/s10295-002-0021-1
- Pérez J., Muñoz-Dorado J., De la-Rubia T. y Martínez J. (2002). Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int. Microbiol.* 5, 53-63. DOI: 10.1007/s10123-002-0062-3
- Pérez R. y Mata G. (2005). Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. *Rev. Mex. Micol.* 20, 53-59.
- Philippoussis A., Zervakis G. y Diamantopoulou P. (2001). Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agarocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 17, 191-200. doi:10.1023/A:1016685530312
- Ragunathana R. y Swaminathan K. (2003). Nutritional status of *Pleurotus* spp. grown on various agro-wastes. *Food Chem.* 80, 371-375. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00275-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00275-3)
- Rajak S., Mahapatra S. C. y Basu M. (2011). Yield, Fruit Body Diameter and Cropping Duration of Oyster Mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) Grown on Different Grasses and Paddy Straw as Substrates. *Eur. J. Med. Plants.* 1, 10-17.
- Rashad M. M., Abdou H. M., Mahmoud A. E. y Nooman M. U. (2009). Nutritional Analysis and Enzyme Activities of *Pleurotus Ostreatus* Cultivated on Citrus *Limonium* and *Carica Papaya* Wastes. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 3, 3352-3360.
- Ríos M. P., Hoyos J. L. y Mosquera S. A. (2010). Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Rev. Fac. Cienc. Agropec.* 8, 86-94.
- Rivera Omen R.L., Martínez Mamián C. A. y Morales Velasco S. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Luna Azul* 37, 89-100.
- Rodríguez-Estrada A. E., Jimenez-Gasco M. M. y Royse D. J. (2009). Improvement of yield of *Pleurotus eryngii* var. *eryngii* by substrate supplementation and use of a casing overlay. *Bioresource Technol.* 100, 5270-5276.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.073>
- Rodríguez N. y Zuluaga J. (1994). Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. en pulpa de café. *Cenicafé* 45, 85-92.
- Romero O., Huerta M., Damián M. A., Macías A., Tapia A. M., Parraguirre J. F. C. y Juárez J. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas. *Agron. Costarricense* 34: 53-63.
- Royse D., Rhodes T., Ohga S. y Sanchez J. (2004). Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technol.* 91: 85-91. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00151-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00151-2)
- Salmones D., Mestizo-Valdéz L. y Gaitán-Hernández R. (2004). Entrecruzamiento y evaluación de la producción de las variedades de *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn. *Rev. Mex. Micol.* 18, 21-26.
- Salmones D., Mata G y Waliszewski K. N. (2005). Comparative culturing of *Pleurotus* spp. on coffee pulp and wheat straw: biomass production and substrate biodegradation. *Bioresource Technol.* 96, 537-544. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.019>
- Sánchez A., Esqueda M., Gaitán-Hernández R., Córdova A. y Coronado M. L. (2008). Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. *Rev. Mex. Micol.* 28, 17-24.
- Sánchez C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnol. Adv.* 27, 185-194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85, 1321-1337. DOI: 10.1007/s00253-009-2343-7
- Sánchez Velez C. A. (2013). Evaluación de la productividad del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* sobre un residuo agroindustrial del Departamento del Valle del Cauca y residuos de poda de la Universidad Autónoma de Occidente. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia, 94 pp.
- Soto-Velazco C., Guzmán-Dávalos L. y Rodríguez O. (1989). Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* sobre bagazo de maguey tequilero fermentado y mezclado con paja de trigo. *Rev. Mex. Micol.* 5, 97-101.
- Tisdale T. E., Miyasaka S. C. y Hemmes D. E. (2006). Cultivation of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on wood substrates in Hawaii. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 22, 201-206. DOI: 10.1007/s11274-005-9020-5
- Toledo M. (2008). Residuos de maíz y quinua como potenciales sustratos para el cultivo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*. Tesis de Ingeniería. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Chimborazo, Ecuador, 96 pp.
- Varnero M. T., Quiroz M. S. y Álvarez C. H. (2010). Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica.* 21, 13-20. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000200003>
- Velázquez-Cedeño M. A., Mata G. y Savoie J. M. (2002). Waste-reducing cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius* on coffee pulp: changes in the production of some lignocellulolytic enzymes. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 18, 201-207. DOI: 10.1023/A:1014999616381
- Young R. y Akhtar M. (1998). *Environmentally friendly technologies for the pulp and paper industry*. John Wiley y Sons, Inc. New York, EUA. 577 pp.