

A. Pardo Giménez

**REUTILIZACIÓN DEL SUSTRATO AGOTADO EN LA PRODUCCIÓN DE HONGOS
COMESTIBLES CULTIVADOS**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **104** N.º 3 (360-368), 2008

Reutilización del sustrato agotado en la producción de hongos comestibles cultivados

A. Pardo Giménez

Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón (CIES), C/ Peñicas, s/n, Apartado 63, 16220 Quintanar del Rey, Cuenca. E-mail: apardo.cies@dipucuenca.es

Resumen

En el presente trabajo se presenta una revisión de conocimientos relativos a la reincorporación de los sustratos agotados del cultivo de hongos, una vez finalizado el ciclo de producción, en nuevos ciclos de cultivo. En primer lugar se tiene en cuenta su utilización en la preparación de sustratos de cobertura para cultivo de *Agaricus bisporus*. Se describen en este área aspectos como la evolución histórica y distribución geográfica de su empleo, las formulaciones utilizadas y los tratamientos aplicados, a la vez que se discuten los diferentes factores que pueden influir sobre el comportamiento agronómico. Por otra parte se considera la utilización de estos materiales en la preparación de sustratos para cultivo de diferentes especies de hongos, teniendo en cuenta aspectos como su enriquecimiento y combinación con otros materiales, los tratamientos a aplicar y los resultados obtenidos. Estas aplicaciones permiten integrar este tipo de materiales, por medio de nuevas formulaciones y metodologías, con la doble ventaja del abaratamiento de los costes de producción y la disminución del impacto ambiental.

Palabras clave: valorización, champiñón, setas, sustratos de cultivo, capa de cobertura

Summary

Reuse of spent mushrooms substrates in edible mushrooms production

In this work, a review of knowledge relative to the reintroduction of spent mushrooms substrates in the elaboration of casing layers and base substrates for new cultivation cycles is presented. Firstly, their use in the preparation of casing substrates to induce fructification in *Agaricus bisporus* cultivation is considered. Aspects like the historical evolution and geographical distribution of their employment, the used formulations and the applied treatments are described in this area, at the same time that different factors that can influence on the agronomic behaviour are discussed. On the other hand, the use of these materials in the preparation of substrates for cultivation of different species of mushrooms is considered, taking into account aspects like their enrichment and combinations with other materials, the treatments to apply and the obtained results. These applications allow to integrate this type of materials by means of new formulations and methodologies with the added advantages of lowering the production costs and decreasing the environmental impact.

Key words: valorisation, cultivated mushrooms, substrates, casing material

Introducción

Las actuales aplicaciones de los sustratos agotados de champiñón y setas, principalmente como componente de enmiendas y sustratos de cultivo, no parecen suficientes para dar salida al elevado volumen de material generado año tras año, estimado en más de 500000 t anuales en España, que se acumula en los centros de recogida situados en las zonas productoras (principalmente en Castilla-La Mancha y La Rioja) y que constituye un contaminante potencial.

En un trabajo de Rinker (2002) se presenta una recopilación de los posibles usos que puede tener el compost agotado de hongos cultivados, haciendo referencia a su empleo en biorremediación (purificación de aire, agua, suelos y sustratos contaminados con plaguicidas), utilización en otros cultivos (flores y hortalizas en invernadero, frutas y hortalizas en campo, otros cultivos), enmienda general de suelos, semilleros y paisajismo, alimentación animal y acuicultura, control de plagas y enfermedades y usos diversos (combustible, vermicultura, otros), considerando también su reutilización en el cultivo de hongos, como material de cobertura para *Agaricus* spp. y como sustrato para el cultivo de otras especies.

Uno de los principales problemas a resolver en una gestión eficaz del medio ambiente es minimizar la producción de residuos o reincorporarlo a la cadena de producción, tomando como prioridad frente a otras técnicas de gestión la reutilización, reciclado y valorización de los residuos. En este sentido, el Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón, ubicado en Quintanar del Rey (Cuenca), en plena zona productora de Castilla-La Mancha, ha puesto en marcha un proyecto de investigación enmarcado en el Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en Coordinación con las Comunidades Autónomas, en

el que se propone la caracterización y tratamiento de los sustratos agotados de champiñón y setas para su reincorporación en la elaboración de sustratos de cobertura en cultivo de *Agaricus* spp. y en la elaboración de sustratos de base para el cultivo de *Pleurotus* spp., principales hongos comestibles cultivados actualmente en España, así como la evaluación agronómica en salas de cultivo de los materiales obtenidos. El material puede, en principio, ser integrado por medio de nuevas formulaciones y metodologías con la doble ventaja del abaratamiento de los costes de producción y la disminución del impacto ambiental.

Como paso previo al desarrollo del proyecto mencionado, se presenta en este trabajo una revisión del estado actual de los conocimientos científico-técnicos generales sobre las dos áreas de trabajo consideradas.

El sustrato agotado como material de cobertura para *Agaricus* spp.

En el cultivo de champiñón (*Agaricus* spp.), se hace necesario, además del sustrato de base para el cultivo (compost), un material empleado como recubrimiento superior del mismo aplicado con objeto de inducir la fructificación del champiñón. Teniendo en cuenta los factores que influyen en la fructificación y las funciones que desarrolla la capa de cobertura, se establecen las características que debe reunir un material para considerarse adecuado para tal uso (Pardo *et al.*, 1999). Actualmente, muchos son los materiales empleados, siendo diferentes tipos de turbas los más extendidos en todo el mundo, principalmente por sus excepcionales propiedades estructurales y de retención de agua. La problemática asociada al empleo de turbas, principalmente en cuanto al agotamiento de reservas y alteración de ecosistemas, obliga a la búsqueda de mate-

riales alternativos. Uno de estos materiales alternativos lo constituye el compost agotado, aunque debe, en principio, ser acondicionado modificando algunas de sus características para constituir un medio adecuado antes de ser empleado como ingrediente de las mezclas de cobertura. Las primeras referencias sobre la utilización del compost agotado como cobertura para cultivo de *Agaricus* spp. se sitúan en Suiza a mediados de los 60, donde Sinden, trabajando en Hauser, utilizaba compost agotado madurado durante un par de años, lixiviado y pasteurizado, mezclado con tierra y toba (Sinden, 1971). A finales de los 60 se introduce en Estados Unidos, donde se venía utilizando suelo mineral, alcanzando cierta importancia durante la década de los 70, mezclándolo con piedra caliza molida, llegando a emplearse este material en aproximadamente el 30% de los casos, aunque a partir de 1978 fue rápidamente desplazado por la turba, de manera que en la actualidad su empleo es prácticamente nulo.

India es el país donde actualmente el empleo del compost agotado está más extendido y donde más se ha experimentado con él. Las primeras referencias de utilización datan de 1973, año en el que Mantel recomendó el empleo de este material de 1 año mezclado con arena y cal apagada (4:1:1), aunque según parece los cultivadores que los utilizaban obtenían con frecuencia pobres rendimientos (Mantel, 1973). Actualmente en India se emplean como coberturas mezclas de estiércol compostado con tierra o compost agotado. El material se emplea madurado durante 2-3 años, neutralizado con CaCO_3 y mezclado con estiércol (1:2, 1:3).

También hubo intentos de introducción en Inglaterra y Australia a mediados de los 70 y más recientemente en otros países donde la turba no está disponible y su adquisición resulta prohibitiva, como Irán, Korea o Sudáfrica.

En todo caso se ha observado a lo largo del tiempo una gran variabilidad de resultados, que han ido del éxito relativo al total fracaso, de manera que generalmente no se mejora el comportamiento agronómico proporcionado por las coberturas basadas en turba u otros tipos de cobertura disponibles.

La irregularidad de los resultados puede estar justificada por la amplia variedad de factores que pueden influir sobre las características finales del producto. Por ello se deben hacer una serie de consideraciones para la utilización del compost agotado como cobertura teniendo en cuentas aspectos que pueden influir sobre el comportamiento agronómico. Entre estos aspectos encontramos el material de origen (materias primas empleadas en el compostaje, presencia/ausencia de la capa de cobertura, tipo de cobertura utilizado), el tratamiento térmico con vapor previo al vaciado del local ("cook-out"), las condiciones de recompostaje/maduración/biotransformación (duración del proceso, maduración natural/proceso controlado acelerado, las condiciones de aerobiosis/anaerobiosis, la altura de los montones, la frecuencia de los volteos, la climatología), la realización de un lavado artificial, la molienda y/o cribado, el tratamiento final (térmico/químico), las mezclas con otros materiales y sus proporciones, y el manejo del cultivo (espesor de aplicación, aplicación de riegos, aplicación de la operación de rastrillado, utilización de inóculos para cobertura, otros).

Vamos a repasar a continuación con más detalle algunos de estos factores de variabilidad. Tras el vaciado de la sala de cultivo, el material se amontona, pudiendo hacerse en diferentes condiciones.

Si pretendemos emplear el material como cobertura, la alta concentración de sales solubles supone un handicap (son frecuentes valores de conductividad eléctrica por encima de $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$ en extracto 1:5, v/v),

de manera que para que la lluvia permita un lavado natural es importante que el espesor no sea excesivo. Se han recomendado espesores entre 40 y 75 cm, con duraciones de proceso entre 18 meses y 3 años (Wuest, 1974; Yeatman y Kinrus, 1974; Nair, 1976, 1977; Brosius, 1981; Schisler y Wuest, 1982). El proceso está condicionado por la pluviometría y la disponibilidad de terreno y maquinaria adecuada. También se debe tener en cuenta el procedimiento seguido para reducir el contenido en sales solubles pudiendo hacerse, además del lavado natural (pluviometría), un lavado por inmersión (agua o agentes quelantes) o mediante riego aéreo (aspersión).

Un segundo factor a considerar es el de la duración del proceso, pudiendo emplearse el material fresco o madurado mediante un proceso de biotransformación natural entre 1 y 8 años (normalmente 2-3 años). También puede llevarse a cabo un proceso de compostaje acelerado en condiciones controladas, al exterior, en búnker ventilado o en cámaras, con duración entre 4 y 20 semanas (Lohr *et al.*, 1984; Eicker y van Greuning, 1989; Szmids, 1994; Beyer, 2004).

La seguridad biológica que debe proporcionar el material supone la necesidad de aplicar tratamientos para eliminar agentes perjudiciales para el cultivo (virus presentes en esporas y micelio, nematodos, ácaros, moscas y hongos perjudiciales). Un primer tipo de tratamiento es el que se puede realizar con vapor en la sala de cultivo antes del vaciado del compost ("cook-out"). En la bibliografía encontramos referencias de empleo de diferentes temperaturas, entre 60 y 70 °C con duración variable (Stoller, 1979; Brosius, 1981; Kleyn y Wetzler, 1981; Hermans, 1988; van Gils, 1988; Geels *et al.*, 1988; Wuest y Fahy, 1992; Guardino, 1998). Entre los posibles tratamientos, el de 70 °C durante 12 h ha sido optimizado en Holanda para eliminar toda forma viviente de micelio y esporas de

champiñón que pueden ser potenciales portadores de virus (Hermans, 1988).

El segundo tipo de tratamiento a aplicar es un tratamiento final aplicado al material antes de su reintroducción como cobertura en el cultivo. Entre ellos encontramos numerosos tratamientos térmicos, entre 57 y 82 °C con duración variable (Mantel, 1973; Yeatman y Kinrus, 1974; White, 1975; Wuest, 1976; Nair, 1976, 1977; Hayes y Shandilya, 1977; Brosius, 1981; Nair y Bradley, 1981; Shandilya, 1989; Eicker y van Greuning, 1989; Guardino, 1998; Sharma *et al.*, 1999; Gupta y Dhar, 1999; Dhar *et al.*, 2003; Riahi y Arab, 2004; Beyer, 2004) y algunos tratamientos químicos con formaldehído u otros fumigantes (Mantel, 1973; Stoller, 1979; Garcha y Sekhon, 1981; Singh y Saini, 1993; Singh *et al.*, 2000; Khanna *et al.*, 1995; Raina *et al.*, 2002).

En cuanto a la elaboración de mezclas de cobertura basadas en compost agotado, son numerosas las fórmulas utilizadas a nivel comercial y experimental, con diferentes grados de éxito. Entre ellas se pueden destacar algunas que han tenido o tienen cierto nivel de aplicación en la práctica: una mezcla de tierra, toba volcánica y compost agotado madurado durante dos años (Sinden, 1971), compost agotado de 1 año con arena y cal apagada en proporción 4:1:1 (Mantel, 1973), una mezcla de compost agotado de más de dos años y piedra caliza molida (Brosius, 1981) y combinaciones de estiércol compostado y compost agotado de champiñón de 2 años en proporción 2:1 (Sing *et al.*, 2000) y 3:1 (Bhatt y Singh, 2002; Dhar *et al.*, 2003).

El sustrato agotado como material de base para el cultivo de otras especies

Menor estudio se ha llevado a cabo sobre la reutilización de los sustratos agotados en la

elaboración de nuevos sustratos para cultivo de otras especies de hongos. Existen referencias, recopiladas por Rinker (2002), sobre utilización del compost agotado de champiñón en el cultivo de diferentes especies de hongos comestibles, entre otras de los géneros *Agaricus*, *Auricularia*, *Lentinula*, *Pleurotus* y *Volvariella*. Según Till (1963), el compost agotado de champiñón se puede reutilizar como nuevo sustrato para *Agaricus* si se enriquece con harina de semilla de algodón y harina de soja. Oei (1991) hace referencia a la utilización en Taiwán, con buenos rendimientos, de compost agotado de *Agaricus* mezclado con residuos de algodón, fermentado entre 2 y 4 días y pasteurizado, para la producción de *Volvariella*. También cita el trabajo de Quimio (1988), quién elaboró un sustrato de *Pleurotus* adecuado mezclando sustrato de *Volvariella* agotado con un 20% de salvado de arroz, proporcionando eficiencias biológicas entre el 60 y el 100%. Incide en la necesidad de proporcionar al material un tratamiento térmico adecuado. Posteriormente Poppe (2000, 2004) indicó la posibilidad de producir *Volvariella* a partir de sustrato agotado de *Agaricus* combinado con residuos de algodón. Chang y Miles (1989) registraron una eficiencia biológica del 80% para compost agotado de *Volvariella* desecado y reutilizado en el cultivo de *Pleurotus sajor-caju*. Schisler (1988) estudió el comportamiento de compost agotado de champiñón al que añadió el suplemento comercial Spawnmate II y turba Bonaparte en nuevos ciclos de *A. bisporus*. Royse (1993) evaluó el empleo de sustrato agotado de shiitake, al que añadió salvado de trigo y mijo en la producción de *Pleurotus sajor-caju*. Más recientemente, Kilpatrick *et al.* (2000) utilizaron formulaciones para cultivo de *Lentinula edodes* empleando compost agotado de *Agaricus*, suplementando con diversas proporciones de grano, harina de trigo y carbonato cálcico. En la tabla 1 se presenta una revisión bibliográfica en la que

se muestran las aplicaciones de sustratos agotados procedentes del cultivo de diferentes especies de hongos.

En España, la dependencia casi exclusiva del suministro de paja de cereales como material de base en la elaboración de sustratos para cultivo de *Pleurotus* spp. y su elevado precio de mercado, constituye un problema, agudizado en años de sequía, por lo que una incorporación de nuevos materiales que implique el aprovechamiento de subproductos autóctonos puede llegar a suponer un importante beneficio económico. En este sentido, la incorporación del compost agotado del champiñón y el sustrato agotado de setas como ingredientes de este tipo de sustratos presenta una notable potencialidad para ser integrado en la composición de un sustrato selectivo y equilibrado en nutrientes para el desarrollo de las setas del género *Pleurotus*.

Consideraciones finales

A modo de resumen, a la hora de reutilizar los sustratos agotados en el cultivo de hongos se debe tener en cuenta, en primer lugar, la necesidad de conseguir materiales uniformes con calidad constante y continuidad en el suministro, obtenidos mediante un proceso de elaboración estandarizado. Por otro lado, el material debe presentar unas características físicas, químicas y biológicas adecuadas, centrado principalmente en la necesidad de presentar un bajo nivel en sales solubles y la realización de un tratamiento térmico que proporcione seguridad biológica. Por último, se debe optimizar la preparación mezclas de cobertura para cultivo de *Agaricus* (combinaciones de materiales y proporciones) y la elaboración de sustratos para cultivo de *Pleurotus* y otros hongos (materiales y tratamientos), así como su manejo para rendimiento y calidad.

Tabla 1. Referencias de reutilización de sustratos agotados del cultivo de hongos en nuevos ciclos de cultivo de diferentes especies.

Table 1. References of spent mushrooms substrates reuse in new growing cycles of different species.

Cultivo de origen del sustrato agotado	Cultivo de aplicación para el sustrato agotado	Referencias
<i>Agaricus bisporus</i>	11 especies <i>Agaricus bisporus</i>	Flick, 1981 Till, 1963 Schisler, 1988 Rinker y Alm, 1990
	<i>Auricularia</i>	Sharma y Jandaik, 1994
	<i>Lentinula</i>	Kilpatrick <i>et al.</i> , 2000
	<i>Pleurotus</i>	Mueller <i>et al.</i> , 1984 Sharma y Jandaik, 1994
	<i>Volvariella</i>	Oei, 1991 Oei, 1996 Poppe, 2000 Poppe, 2004
<i>Pleurotus</i> spp.	<i>Pleurotus</i> spp.	Sharma y Jandaik, 1985 (citado por Quimio <i>et al.</i> , 1990) Sharma y Jandaik, 1992a Nakaya <i>et al.</i> , 2000
	<i>Stropharia</i>	Poppe, 1995 (citado por Rinker, 2002)
	<i>Auricularia polytricha</i>	Sharma y Jandaik, 1992b
<i>Lentinula edodes</i>	<i>Pleurotus</i>	Royse, 1993 Jaramillo, 2001, com. pers. (citado por Rinker, 2002) Yeatman, 2001, com. pers. (citado por Rinker, 2002)
	<i>Agaricus</i>	Babcock, 2004
	<i>Lentinula edodes</i>	Quimio, 1988 (citada por Oei, 1991, 1996, Royse, 1993 y Quimio <i>et al.</i> , 1990)
<i>Volvariella</i>	<i>Pleurotus</i>	Chang y Miles, 1989 Quimio <i>et al.</i> , 1990
<i>Flammulina</i> o <i>Ganoderma</i>	<i>Coprinus comatus</i>	Chen, 2001, com. pers. (citado por Rinker, 2002)

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto RTA2006-00013-00-00 financiado por el INIA y FEDER.

Referencias bibliográficas

Babcock G, 2004. Reuse of substrate in specialty mushroom production. *Mushroom Science* 16: 559-563.

Beyer DM, 2004. Polishing up and managing your casing. *Mushroom News* 52(10): 10-21.

Bhatt N, Singh RP, 2002. Casing soil bacteria as biocontrol agents against the mycoparasitic fungi of *Agaricus bisporus*., pp. 171-177. En: JE Sánchez, G Huerta, E Montiel (Eds.). *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 468 pp. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

Brosius CC, 1981. Spent compost as an alternate casing material. *Mushroom Science* 11(2): 397-403.

- Chang ST, Miles PG, 1989. Edible Mushrooms and their Cultivation, 345 pp. CRC Press, Florida, USA.
- Dhar BL, Ahlawat, OP, Gupta Y, 2003. Evaluation of agro-industrial wastes as casing materials in *Agaricus bisporus* cultivation in India. *Mushrooms International* 92: 5-9.
- Eicker A, van Greuning M, 1989. Economical alternatives for topogenous peat as casing material in the cultivation of *Agaricus bisporus* in South Africa. *S. Afr. J. Plant Soil* 6(2): 129-135.
- Flick M, 1981. Using spent mushroom compost for growing other edible fungi. *Champignon* 244: 22-26.
- Garcha HS, Sekhon A, 1981. Evaluating casing materials for mushroom culture in Punjab (India). *Mushroom Science* 11(1): 411-417.
- Geels FP, van de Geijn J, Rutjens AJ, 1988. Pests and diseases, pp. 361-422. En: LJLD van Griensven (Ed.). *The Cultivation of Mushrooms*, 515 pp. Interlingua T.T.I. Ltd., East Grinstead, Sussex, UK.
- Guardino JW, 1998. The performance, microbiology and disease suppressive nature of spent mushroom substrate used as casing for the production of the button mushroom *Agaricus bisporus*, 57 pp + references. Thesis in Plant Pathology. The Pennsylvania State University, The Graduate School, Department of Plant Pathology, PA, USA.
- Gupta Y, Dhar BL, 1999. Spawned casing in white button mushroom for yield increase and uniform flush appearance, pp. 457-464. En: A Broderick, T Nair (Eds.). *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 507 pp. AMGA, Sidney, Australia.
- Hayes WA, Shandilya TR, 1977. Casing soil and compost substrates used in the artificial culture of *Agaricus bisporus* the cultivated mushroom. *Indian J. Mycol. and Pl. Pathol.* 7(1): 5-10.
- Hermans C, 1988. Climate and cultivation technique, pp. 213-248. En: LJLD van Griensven (Ed.). *The Cultivation of Mushrooms*, 515 pp. Interlingua T.T.I. Ltd., East Grinstead, Sussex, UK.
- Khanna PK, Phutela RP, Kapoor S, Garcha HS, 1995. Evaluation of casing materials for *Agaricus bisporus* cultivation. *Mushroom Research* 4: 65-68.
- Kilpatrick M, Murray DJ, Ward F, 2000. Influence of substrate formulation and autoclave treatment on *Lentinula edodes* production. *Mushroom Science* 15(2): 803-810.
- Kleyn JG, Wetzler TF, 1981. The microbiology of spent mushroom compost and its dust. *Can. J. Microbiol.* 27(8): 748-753.
- Lohr VI, Wang SH, Wolt JD, 1984. Physical and chemical characteristics of fresh and aged spent mushroom compost. *HortScience* 19(5): 681-683.
- Mantel EFK, 1973. Casing soil made from spent compost. *Indian J. Mush.* 1: 15-16.
- Mueller JC, Gawley JR, Hayes WA, 1984. Utilization of spent alder compost as a substrate for cultivation of *Pleurotus sajor-caju*. *Mushroom News for the Tropics* 5(2): 3-7.
- Nair NG, 1976. Studies on recycling spent compost for mushroom cultivation. *Aust. J. Agric. Res.* 27: 857-865.
- Nair NG, 1977. Use of spent compost as a casing material. *Mushroom News* 25(9), 12-22.
- Nair NG, Bradley JK, 1981. Recycling waste plant products as casing materials in mushroom cultivation. *Mushroom Science* 11(1): 147-152.
- Nayaka M, Yoneyama S, Kato Y, Harada A, 2000. Recycling of cultural waste of *Pleurotus cornucopiae* for cultivation of *P. cornucopiae* and *P. ostreatus*. <http://www.agro.nl/pc/isms/posters/pos169.htm> (16-Agosto-2000).
- Oei P, 1991. Environmental care: an integrated approach, pp. 43-46. En: *Manual on Mushroom Cultivation*, 249 pp. TOOL Publications-CTA. Amsterdam-Wageningen, The Netherlands.
- Oei P, 1996. Environmental care: an integrated approach, pp. 38-43. En: *Mushroom Cultiva-*

- tion, 274 pp. TOOL Publications. Leiden, The Netherlands.
- Pardo, A., Pardo, J.E., de Juan, J.A. (1999). Cobertura y fructificación del champiñón cultivado, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach: materiales y aspectos prácticos, pp. 101-130. En: Avances en la Tecnología de la Producción Comercial del Champiñón y otros Hongos Cultivados, 323 pp. Patronato de Promoción Económica-Diputación Provincial de Cuenca, España.
- Poppe J, 1995. Cultivation of Edible Mushrooms on Tropical Agricultural Wastes. Biennial Training Course, ABOS & VLIR, University Gent, Belgium.
- Poppe J, 2000. Use of agricultural waste materials in the cultivation of mushrooms. *Mushroom Science* 15(1): 3-23.
- Poppe J, 2004. Agricultural wastes as substrates for oyster mushroom. In: *Mushroom Growers' Handbook*. <http://forums.mycotopia.net/attachment.php?attachmentid=11135&d=1130548288> (24-Julio-2006)
- Quimio TH, 1988. Continuous recycling of rice straw in mushroom cultivation for animal feed. En: ST Chang, K Chan, NYS Woo (Eds.). *Recent Advances in Biotechnology and Applied Microbiology*. Chinese University Press, Hongkong.
- Quimio TH, Chang ST, Royse DJ, 1990. Technical Guidelines for Mushroom Growing in the Tropics. *FAO Plant Production and Protection Paper 106*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- Raina PK, Gupta A, Tikoo ML, 2002. Evaluation of some locally available casing materials on the pinning and yield of the mushroom, *Agaricus bisporus*. *Mushroom Research* 11(2): 77-79.
- Rihai H, Arab A, 2004. Spent mushroom compost as an alternative for casing soil. *Mushroom Science* 16: 585-589.
- Rinker DL, Alm G, 1990. Cultivation of commercial mushrooms on spent compost, pp. 27-28. En: *Abstracts in Horticultural Research in Canada – 1990*. Canadian Horticultural Council, Canada.
- Rinker DL, 2002. Handling and using "spent" mushroom substrate around the world, pp. 43-60. En: JE Sánchez, G Huerta, E Montiel. (Eds.). *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 468 pp. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.
- Royse DJ, 1993. Recycling of spent shiitake substrate for production of the oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*). *Mushroom News* 41(2): 14-20.
- Schisler LC, 1988. Why mushroom production declines with each successive break and the production of a second crop of *Agaricus* mushrooms on "spent" compost. *Mushroom News* 36(9): 6-11.
- Schisler LC, Wuest PJ, 1982. Selecting, manipulating and treating mushroom casing, pp. 55-60. En: PJ Wuest, GD Bengtson (Eds.). *Penn State Handbook for Commercial Mushroom Growers*, 130 pp. The Pennsylvania State University, PA, USA.
- Shandilya TR, 1989. Mushroom compost and casing research in India. *Mushroom Science* 12(1): 743-752.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1985. Studies on recycling of *Pleurotus* waste. *Mushroom Journal for the Tropics* 6(2): 13-15.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1992a. Recycling of mushroom industry waste for growing *Pleurotus sajor-caju* and *Auricularia polytricha*. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology* 22(2): 182-186.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1992b. Supplementation of wheat straw for the improved yields of black ear mushroom (*Auricularia polytricha*). *Mushroom Research* 1(1): 57-58.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1994. Recycling of spent compost for growing *Auricularia polytricha* and *Pleurotus* species. *Mushroom Information* 10/11: 15-20.
- Sharma HSS, Furlan A, Lyons G, 1999. Comparative assessment of chelated spent mushroom substrate as casing material for the produc-

- tion of *Agaricus bisporus*. Applied Microbiology and Biotechnology 53(3): 366-372.
- Sinden JW, 1971. Ecological control of pathogens and weed-molds in mushroom culture. Ann. Rev. Phytopathol. 9: 411-432.
- Singh A, Saini LC, 1993. Evaluation of casing materials for the production of *Agaricus bisporus*. Agric. Sci. Digest 13(2), 93-95.
- Singh M, Singh RP, Chaube HS, 2000. Impact of physio-chemical properties of casing on yield of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. Mushroom Science 15(1): 441-446.
- Stoller BB, 1979. A casing made with spent compost. Mushroom Journal 73: 25-29.
- Szmidt RAK, 1994. Recycling of spent mushroom substrates by aerobic composting to produce novel horticultural substrates. Compost Science & Utilization 2(3): 63-72.
- Till O, 1963. Champignonkultur auf sterilisiertem Nährsubstrat und die Wiederverwendung von abgetragenem Kompost. Mushroom Science 5: 127-133.
- Van Gils JJ, 1988. Cultivation, pp. 263-308. En: LJD van Griensven (Ed.). The Cultivation of Mushrooms, 515 pp. Interlingua T.T.I. Ltd., East Grinstead, Sussex, UK.
- White IR, 1975. The mushroom industry in the United States and Canada. Part Four. Casing and pin-head formation. Mushroom Journal 32: 278-279.
- Wuest PJ, 1974. Knowing more about peat moss, soil or spent compost for casing. Mushroom News 22(11): 6-14.
- Wuest PJ, 1976. Facts and fables concerning spent compost for casing. Mushroom News 24(10): 8,16,18.
- Wuest PJ, Fahy HK, 1992. Spent mushroom compost. Its origin, components and impact on water quality. Mushroom News 40(1): 27-33.
- Yeatman JC, Kinrus A, 1974. The re-use of spent compost for casing. Mushroom News 22(9): 3-8.
- (Aceptado para publicación el 24 de enero de 2008)