

Elaboración de nuevos sustratos para cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. basados en sustratos degradados por el cultivo de hongos

A. Pardo-Giménez*,¹, J.E. Pardo-González**

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

** Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Universitario, s/n. 02071 Albacete. España.

¹ Persona a la que debe dirigirse la correspondencia

Resumen

Se describe en el presente trabajo el estudio de la viabilidad de cultivar comercialmente *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., segundo hongo en importancia cultivado en España, utilizando para ello sustratos selectivos basados en la reutilización de sustratos agotados de cultivos previos de *P. ostreatus* y *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Pilát. Para ello, tras la caracterización química y biológica de los sustratos, se han evaluado los parámetros de producción cualitativos y cuantitativos en un ciclo de cultivo de *P. ostreatus*. Sustratos basados en combinaciones de sustrato agotado de *Pleurotus* y compost agotado de *Agaricus* en proporciones 9:1 y 8:2 (p/p) han proporcionado, respectivamente, eficiencias biológicas de 36,0 y 39,7 kg/100 kg sustrato, sin diferencias significativas con el sustrato comercial utilizado como testigo. Las setas producidas con estos sustratos son, no obstante, de menor tamaño y presentan bajos contenidos en proteína y cenizas. Este tipo de materiales 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.

Palabras clave: setas cultivadas, parámetros de producción, sustrato selectivo.

Summary

Elaboration of new substrates for cultivating *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. based on degraded substrates from edible fungi cultivation

We investigate the viability of commercially growing *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., second mushroom in importance cultivated in Spain, using the spent mushroom substrate remaining after the cultivation of *P. ostreatus* and *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Pilát. After the chemical and biological characterisation of the substrates, the qualitative and quantitative production parameters were evaluated in a *P. ostreatus* production cycle. Substrates based on combinations of *Pleurotus* spent substrate and spent *Agaricus* compost mixed in proportions of 9:1 and 8:2 (w/w) provided biological efficiencies of 36.0 and 39.7 kg/100 kg substrate, respectively, which is not significantly different from the values obtained with the commercial substrate used as control. However, the mushrooms obtained were smaller and had lower protein and ash contents. In principle, this kind of material could be incorporated in new formulations and methodologies with the advantage of lowering costs and diminishing the environmental impact of the wastes produced during mushroom cultivation.

Key words: edible mushrooms cultivation, production parameters, selective substrate

Introducción

La producción comercial de setas del género *Pleurotus* constituye en la actualidad, junto a otras especies de hongos comestibles, una moderna y singular actividad, un poco a caballo entre la agronomía y la biotecnología, que goza de una notable implantación tanto en nuestro país como en amplias zonas del resto del mundo.

Las actuales aplicaciones de los sustratos agotados de champiñón y otros hongos cultivados, principalmente como componentes 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 500.000 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 medioambiental potencial.

Entre los posibles usos que pueden tener los sustratos degradados por el cultivo de hongos encontramos referencias, recopiladas por Rinker (2002), 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, y otros), 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.

Sobre este último aspecto existen referencias acerca de la utilización de diferentes sustratos post-cultivo en la producción de distintas especies de hongos comestibles, entre otras, de los géneros *Agaricus*, *Auricu-*

laria, *Lentinula*, *Pleurotus* y *Volvariella* (Pardo, 2008). Según Till (1963), el compost agotado de champiñón se puede reutilizar como nuevo sustrato para *Agaricus* spp. 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* spp. También cita el trabajo de Quimio (1988), quién elaboró un sustrato de *Pleurotus* spp. adecuado mezclando sustrato de *Volvariella* spp. 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* spp. a partir de sustrato agotado de *Agaricus* spp. combinado con residuos de algodón. Chang y Miles (1989) registraron una eficiencia biológica del 80% para compost agotado de *Volvariella* spp. 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, mientras Mamiro y Royse (2008) evaluaron mezclas de sustrato no compostado con compost agotado de champiñón en nuevos cultivos de *A. bisporus*.

El objetivo del presente trabajo supone el estudio de la viabilidad de cultivar comer-

cialmente *Pleurotus ostreatus*, segundo hongo en importancia cultivado en España, utilizando para ello sustratos selectivos basados en mezclas en diferentes proporciones de sustrato agotado del cultivo de setas del género *Pleurotus* y compost agotado del cultivo de champiñón.

Materiales y métodos

Elaboración de los sustratos

Los materiales de base empleados en la elaboración de los sustratos, cuyas características se presentan en la tabla 1, fueron sustratos degradados por el cultivo de hongos, concretamente sustrato agotado del cultivo de *Pleurotus ostreatus*, obtenido inicialmente a partir de paja de trigo, y compost agotado de *Agaricus bisporus*, obtenido inicialmente a partir de paja de trigo y cebada con estiércol de pollo como principal suplemento nitrogenado, y en el que estaba incluida la capa de cobertura basada en suelo mineral.

En cuanto al procedimiento de preparación, los materiales estudiados como sustratos de cultivo fueron seis combinaciones de sustrato agotado de *Pleurotus* spp. al que se añadieron cantidades crecientes de compost agotado de *Agaricus* spp. (entre 0 y 50%, a intervalos de 10%). Como suplemento se empleó sulfato cálcico (50 g kg⁻¹). Los materiales fueron mezclados y humectados tras lo cual se sometieron a un tratamiento térmico de pasteurización (60-65 °C, 8 h) y progresivo descenso en 15 h a temperatura de siembra (25 °C). Como testigo se empleó un sustrato comercial. Finalizados los tratamientos, los sustratos, cuyas características se presentan en la tabla 2, fueron inoculados utilizando una dosis de siembra del 3% (p/p) y empleando micelio comercial Fungi-sem K-15. Por último se procedió al ensaca-

Tabla 1. Caracterización química y biológica de los materiales de base
Table 1. Chemical and biological properties of base materials

Sustrato	pH (aq. 1:5, p/v)	Humedad (g kg ⁻¹)	N total (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Cenizas (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Materia orgánica (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	C/N	Fibra bruta (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Grasa bruta (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	E.L.N. (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Acaros	Nematodos	Trichoderma spp.
SAP	5,51	776	6,1	158,3	841,7	80,0	319,0	3,5	481,1	Ausencia	Ausencia	Ausencia
CAA	8,64	496	11,3	671,4	328,6	16,9	111,6	3,2	143,2	Ausencia	Ausencia	Ausencia

SAP: sustrato agotado de *Pleurotus*; CAA: compost agotado de *Agaricus*; E.L.N.: extractivos libres de nitrógeno

Tabla 2. Caracterización química y biológica de los sustratos elaborados
Table 2. Chemical and biological properties of specific substrates

Sustrato	pH (aq. 1:5, p/v)	Humedad (g kg ⁻¹)	N total (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Cenizas (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Materia orgánica (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	C/N	Fibra bruta (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Grasa bruta (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	E.L.N. (g kg ⁻¹ , s.m.s.)	Acaros	Nematodos	Trichoderma spp.
SAP	5,88	756	6,0	276,6	723,4	69,9	294,8	3,0	388,1	Ausencia	Ausencia	Ausencia
SAP/CAA 9:1	6,96	742	7,1	384,3	615,7	50,3	243,0	3,4	324,9	Ausencia	Ausencia	Ausencia
SAP/CAA 8:2	7,51	740	7,2	388,9	611,1	49,2	238,1	3,9	324,1	Ausencia	Ausencia	Ausencia
SAP/CAA 7:3	7,85	719	7,3	419,9	580,1	46,1	237,3	4,2	293,0	Ausencia	Ausencia	Ausencia
SAP/CAA 6:4	7,94	755	7,6	474,1	525,9	40,1	213,8	2,7	261,9	Ausencia	Ausencia	Ausencia
SAP/CAA 5:5	8,07	725	8,6	508,8	491,2	33,1	209,7	2,5	225,3	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Comercial	8,15	672	9,6	143,0	857,0	51,8	426,2	5,1	365,7	Ausencia	Ausencia	Ausencia

SAP: sustrato agotado de *Pleurotus*; CAA: compost agotado de *Agaricus*; E.L.N.: extractivos libres de nitrógeno. Todos los sustratos, excepto el comercial, contienen 50 g kg⁻¹ de CaSO₄.

do, empleando para ello sacos perforados transparentes de polietileno, con capacidad para 6 kg de sustrato, a los que se practicaron 4 orificios de 22 mm de diámetro distribuidos uniformemente en la superficie lateral de cada saco.

Metodología analítica para la caracterización de materiales

Para la caracterización de las materias primas y los sustratos elaborados se llevaron a cabo las siguientes determinaciones:

- Humedad: por desecación en estufa a 105 °C (MAPA, 1994).
- pH: directamente sobre el extracto 1:5, p/v (Ansorena, 1994).
- Nitrógeno total: por el método Kjeldahl (MAPA, 1994; Tecator, 1987).
- Cenizas: por calcinación a 540 °C (MAPA, 1994).
- Materia orgánica: por diferencia con cenizas (Ansorena, 1994).
- Relación C/N: a partir del contenido en materia orgánica y nitrógeno total.
- Fibra bruta: por el método Weende (MSC, 1985a).
- Grasa bruta: por extracción con éter etílico (MSC, 1985b).
- Extractivos libres de nitrógeno (ELN): restando de 100 g de materia seca la suma de los porcentajes de fibra bruta, grasa bruta, proteína bruta y cenizas brutas (González et al., 1987).
- Prospección de ácaros (Brady, 1969; Krantz, 1986).
- Prospección de nematodos (Nombela y Bello, 1983).
- Prospección de *Trichoderma* spp. y otros hongos competidores (Tello et al., 1991).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con seis repeticiones. Los seis bloques, correspondientes a las repeticiones, se colocaron en tres niveles, a ambos lados de la sala de cultivo. Se utilizaron un total de 42 sacos, cada uno de los cuales se llenó con 6 kg de sustrato.

Conducción y seguimiento del ciclo de cultivo

El desarrollo del ciclo de cultivo tuvo lugar en un túnel invernadero experimental en condiciones climáticas controladas y dentro de los rangos recomendados para la cepa de micelio comercial objeto de estudio (CIES, 2007). La incubación de los sustratos se desarrolló entre 24 y 27 °C durante 17 días, sin ventilación exterior ni iluminación, tras los cuales se procedió a la inducción de la fructificación mediante ventilación, reducción de la temperatura y humedad relativa e iluminación. La duración total del ciclo de cultivo fue de 70 días.

En función del nivel de invasión del sustrato por parte del micelio y las contaminaciones observadas, se estableció un parámetro denominado índice de germinación, en una escala entre 0 (invasión nula) y 5 (invasión completa). La recolección de las setas se realizó diariamente en el estado óptimo comercial de desarrollo. El número de "piñas" y de setas cosechadas se determinó mediante recuento durante todo el ciclo de cultivo, entendiendo como "piña" al grupo de carpóforos que fructifican simultáneamente desde el mismo orificio practicado en el saco de sustrato. Para calcular el rendimiento se pesó, con precisión de 1g, la cantidad de setas producidas diariamente por cada saco. La estimación del rendimiento neto se llevó a cabo pesando los carpóforos después de cortar la parte no comercializable del pedicelo, calculándose el porcentaje

de merma resultante de esta operación. La eficiencia biológica, que expresa la relación entre el rendimiento de setas producidas y la cantidad de sustrato utilizada (materia seca), se estableció a partir del rendimiento proporcionado por cada paquete, teniendo en cuenta la densidad de carga del sustrato en los sacos y su contenido en humedad. El peso unitario de las setas (bruto y neto), expresado en g, se determinó a partir de los rendimientos obtenidos y del número de esporóforos cosechados.

La precocidad se estableció como el tiempo, en días, transcurridos desde la operación de siembra del sustrato hasta la cosecha de la primera florada, ponderando la producción relativa diaria de la misma; una florada se corresponde con cada ciclo de producción que se repite de manera rítmica durante la cosecha. Del mismo modo se realizó una segunda estimación de la precocidad considerando el total de la cosecha.

Se ha establecido un parámetro indicador del grado de fructificación, definido como el cociente entre el número de piñas producidas y el número de orificios practicados a los sacos.

Para la evaluación de los parámetros de calidad se utilizaron setas de tamaño y madurez uniforme, seleccionadas el día de la máxima cosecha. El color de la superficie de los carpóforos se midió por reflexión utilizando un colorímetro marca Minolta, modelo CR-300, calibrado previamente con una placa de calibración CR-A43 (L* = 96,12, a* = -0,11, b* = +2,66), e iluminante D65. Para evaluar las propiedades mecánicas de las setas, en términos de firmeza (firmness), se utilizó un analizador TA-XT Plus de Stable Micro Systems. Para realizar la medida se cortaron los carpóforos en trozos pequeños (4 cm², aproximadamente) y se introdujeron dentro de la sonda Kramer KS5 de 5 hojas, disponiéndose en dos capas uniformes conti-

guas, realizándose el ensayo a una velocidad constante de 2 mm s^{-1} ; de esta forma se obtuvo la fuerza de ruptura (F_R), entendiéndose por tal la fuerza máxima, expresada en N, necesaria para provocar la ruptura de los carpóforos. Para calcular el contenido en materia seca, expresado en g kg^{-1} , se midió la pérdida de peso tras desecación a 105°C (MAPA, 1994). El contenido en proteínas de los carpóforos se calculó multiplicando el contenido en nitrógeno total por un factor de conversión de 4,38 (Delmas, 1989). El contenido en nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl (MAPA, 1994; Tecator, 1987). Para determinar el contenido en cenizas de los carpóforos, se procedió a la calcinación directa de las muestras a 540°C (MAPA, 1994).

Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Plus v. 4.1 (Statistical Graphics Corp., Princeton, NJ, USA). Se empleó la técnica de análisis de varianza para evaluar los datos. Para el establecimiento de diferencias significativas entre medias se utilizó el test de Tukey-HSD ($p=0,05$).

Resultados y discusión

Al comparar los resultados de la caracterización de los sustratos de base utilizados (tabla 1), observamos como aspectos destacables que el sustrato agotado de *Pleurotus* (SAP) presenta, respecto al compost agotado de *Agaricus* (CAA), menores valores de pH, nitrógeno total y cenizas, siendo mayores los contenidos en humedad, materia orgánica y fibra bruta. Destaca entre estos valores el alto contenido en cenizas del compost agotado de champiñón ($671,4 \text{ g kg}^{-1}$), al que contribuye en gran medida la capa de cobertura basada en suelo mineral que lo acompaña.

En cuanto a la caracterización de las mezclas ensayadas (tabla 2) observamos como aspectos destacables que al aumentar la proporción de compost agotado en las mezclas aumenta el pH, el contenido en nitrógeno total y cenizas, disminuyendo el contenido en materia orgánica y la relación C/N. El testigo comercial presenta altos valores de pH, nitrógeno total, materia orgánica, fibra bruta y grasa bruta, siendo menor su contenido en humedad y cenizas. Ninguna de las mezclas utilizadas mostró presencia de ácaros, nematodos ni *Trichoderma* spp.

En la tabla 3 se presentan los resultados proporcionados por los diferentes sustratos en cuanto a los parámetros de producción cuantitativos. El primero de ellos, el índice de germinación, muestra las dificultades observadas para el sustrato basado exclusivamente en sustrato agotado de *Pleurotus*. En este caso, se detectó un alto grado de contaminación por *Gliocladium* spp., que puede asociarse al bajo valor del pH del sustrato, y que trajo como consecuencia la dificultad para el desarrollo del micelio y la ausencia de producción. El resto de sustratos presentó una germinación aceptable. Entre los basados en sustratos degradados por el cultivo de hongos, las combinaciones SAP/CAA 9:1 y 8:2 han presentado el mejor comportamiento en cuanto a los parámetros de producción cuantitativos, con un significativo adelanto de la cosecha (precocidad de la 1ª florada de 23,4 y 21,4 días, respectivamente), un buen índice de fructificación (1,19 piñas/orificio en ambos casos) y rendimientos aceptables, con eficiencias biológicas de 36,0 y 39,7 $\text{kg } 100 \text{ kg}^{-1}$ de sustrato, menores a las del testigo (46,2 $\text{kg } 100 \text{ kg}^{-1}$), aunque sin diferencias significativas.

Como aspectos destacables en cuanto a los parámetros de producción cualitativos (tabla 4) encontramos como los sustratos con bajo contenido en CAA (SAP/CAA 9:1 y 8:2), los más productivos, proporcionaron setas de

Tabla 3. Resultados de los parámetros de producción cuantitativos
Table 3. Mean values of production parameters

Sustrato	Índice de germinación	Precocidad (días)		Rendimiento (g/bolsa)		Porcentaje de merma	Eficiencia biológica ($\text{kg } 100 \text{ kg}^{-1}$ sustrato)	Índice de fructificación (nº piñas/orificio)	Nº setas/bolsa
		1ª florada	Total	Bruto	Neto				
SAP	1,00 b (SD: 0,00)	—	—	0 d (SD: 0)	0 c (SD: 0)	—	0,0 e (SD: 0,0)	0,00 b (SD: 0,00)	0 d (SD: 0)
SAP/CAA 9:1	5,00 a (SD: 0,00)	23,4 cd (SD: 2,8)	35,9 b (SD: 3,0)	574 bc (SD: 54)	483 b (SD: 43)	15,8 ab (SD: 4,0)	36,0 abc (SD: 3,4)	1,19 a (SD: 0,25)	49 ab (SD: 13)
SAP/CAA 8:2	5,00 a (SD: 0,00)	21,4 d (SD: 1,3)	33,1 b (SD: 1,8)	638 ab (SD: 83)	513 b (SD: 49)	19,2 a (SD: 4,9)	39,7 ab (SD: 5,2)	1,19 a (SD: 0,13)	63 a (SD: 7)
SAP/CAA 7:3	5,00 a (SD: 0,00)	28,2 bc (SD: 2,3)	33,9 b (SD: 3,4)	473 bc (SD: 89)	408 b (SD: 91)	14,2 ab (SD: 4,8)	27,2 bcd (SD: 5,1)	1,00 a (SD: 0,30)	35 bc (SD: 4)
SAP/CAA 6:4	4,75 a (SD: 0,50)	30,2 b (SD: 2,0)	35,2 b (SD: 3,1)	342 bc (SD: 16)	307 b (SD: 15)	10,2 b (SD: 3,2)	22,6 cd (SD: 1,1)	0,69 b (SD: 0,38)	23 bcd (SD: 3)
SAP/CAA 5:5	4,25 a (SD: 0,50)	32,6 ab (SD: 5,1)	39,2 ab (SD: 1,9)	261 cd (SD: 60)	238 bc (SD: 59)	8,9 b (SD: 1,8)	15,9 de (SD: 3,7)	0,69 b (SD: 0,13)	19 cd (SD: 5)
Comercial	4,75 a (SD: 0,50)	36,7 a (SD: 1,8)	43,8 a (SD: 5,2)	939 a (SD: 92)	828 a (SD: 94)	11,8 ab (SD: 2,6)	46,2 a (SD: 7,3)	1,00 a (SD: 0,40)	42 abc (SD: 16)
Media	4,25	28,7	36,8	461	397	13,3	26,8	0,82	33

(*) Para cada columna, valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes entre sí ($p \leq 0,05$, test de Tukey)
SAP: sustrato agotado de *Pleurotus*; CAA: compost agotado de *Agaricus*; SD: desviación estándar

Tabla 4. Resultados de los parámetros de producción cualitativos
Table 4. Mean values of qualitative production parameters

Sustrato	Peso unitario (g)		Color		Firmeza F _R (N)	Materia seca (g kg ⁻¹)	Proteína (g kg ⁻¹)	Cenizas (g kg ⁻¹)
	PNC	PC	L*	a*				
SAP	12,2 b	10,4 b	72,89	1,46 b	314,5 ab	9,92 bc	15,48 b	5,84 c
SAP/CAA 9:1	(SD: 2,7)	(SD: 2,7)	(SD: 1,13)	(SD: 0,28)	(SD: 11,8)	(SD: 0,16)	(SD: 0,80)	(SD: 0,36)
SAP/CAA 8:2	10,1 b	8,2 b	74,20	2,13 ab	315,1 ab	10,02 bc	16,14 b	6,37 bc
SAP/CAA 7:3	(SD: 0,5)	(SD: 0,6)	(SD: 1,46)	(SD: 0,19)	(SD: 19,6)	(SD: 0,34)	(SD: 1,13)	(SD: 0,29)
SAP/CAA 6:4	13,6 ab	11,7 ab	72,41	2,53 ab	303,1 ab	9,82 bc	15,73 b	6,88 ab
(SD: 2,4)	(SD: 2,4)	(SD: 4,21)	(SD: 0,40)	(SD: 0,64)	(SD: 18,0)	(SD: 0,73)	(SD: 1,07)	(SD: 0,30)
SAP/CAA 5:5	15,1 ab	13,6 ab	73,38	2,96 a	319,7 ab	10,27 b	17,22 ab	7,14 ab
(SD: 1,2)	(SD: 1,1)	(SD: 1,43)	(SD: 0,55)	(SD: 2,45)	(SD: 22,9)	(SD: 0,17)	(SD: 2,55)	(SD: 0,51)
Comercial	13,7 ab	12,5 ab	74,22	2,67ab	351,0 a	11,16 a	18,79 ab	7,46 a
(SD: 1,7)	(SD: 1,7)	(SD: 2,20)	(SD: 0,31)	(SD: 1,67)	(SD: 27,5)	(SD: 0,21)	(SD: 2,17)	(SD: 0,47)
	26,5 a	23,6 a	70,90	2,09 ab	279,4 b	9,29 c	20,70 a	6,67 abc
(SD: 6,4)	(SD: 6,2)	(SD: 3,80)	(SD: 0,45)	(SD: 0,30)	(SD: 38,6)	(SD: 0,33)	(SD: 1,16)	(SD: 0,62)
Media	15,2	13,3	73,09	2,32	313,8	10,08	17,34	6,74

(*) Para cada columna, valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes entre sí ($p \leq 0,05$, test de Tukey)
PNC: pie no cortado; PC: pie cortado; F_R: fuerza de ruptura; SAP: sustrato agotado de *Pleurotus*; CAA: compost agotado de *Agaricus*;
SD: desviación estándar

menor tamaño; también se observa como con altos porcentajes de CAA en la formulación se cosechan setas con mayor firmeza (mayor fuerza de ruptura) así como con mayor contenido en cenizas, consecuencia del alto contenido mineral de los sustratos. El testigo comercial proporcionó setas de mayor tamaño (peso unitario) y mayor contenido en proteína, aunque con menor contenido en materia seca y firmeza.

La estructura del material parece el factor determinante del comportamiento observado. Al aumentar la proporción de CAA, con mayor densidad aparente, el sustrato se va haciendo más denso y compacto, dificultando la oxigenación del micelio. Junto a las combinaciones con baja proporción de CAA, la utilización de un compost agotado cuya cobertura no esté basada en suelo mineral (cobertura orgánica basada mayoritariamente en turba) puede resultar de interés para futuros ensayos, en los que la posibilidad de ajustar el pH por adición de carbonato cálcico a las mezclas, limitando la incidencia de hongos competidores sería otro aspecto a considerar.

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. 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. De hecho, teniendo en cuenta el precio de la paja de cereal (entre 0,045 y 0,054 € kg⁻¹ para la campaña 2008/2009), el de los sustratos post-cultivo de hongos comestibles (en torno

a 0,006 € kg⁻¹), y sus respectivos contenidos en humedad, se puede estimar en un más de un 70% la disminución del coste del material de base para la producción de estos sustratos. En consecuencia, las formulaciones basadas en compost agotado del champiñón y sustrato agotado de setas podrían constituir un sustrato de bajo coste, selectivo y equilibrado en nutrientes, para el desarrollo de las setas del género *Pleurotus*.

Agradecimientos

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

Referencias bibliográficas

- Ansorena J, 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización, 172 pp. Ed. Mundi-prensa, S.A., Madrid, España.
- Brady J, 1969. Some physical gradients set up in Tullgren funnels during the extraction of mites from poultry litter. J. Appl. Ecol., 6: 391-402.
- Chang ST, Miles PG, 1989. Edible Mushrooms and their Cultivation, 345 pp. CRC Press, Florida, USA.
- CIES, 2007. Relación de variedades comerciales de setas *Pleurotus* y otros hongos exóticos. En: El Champiñón en Castilla-La Mancha nº 25. Ed. Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón, Quintanar del Rey, Cuenca, España.
- Delmas J, 1989. Les champignons et leur culture, 970 pp. Ed. Flammarion-La Maison Rustique, Paris, France.
- González J, Alvira P, González G, 1987. La cascari-lla de arroz en la alimentación animal. II. Composición químico-bromatológica. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment., 27(1): 139-149.

- Kilpatrick M, Murray DJ, Ward F, 2000. Influence of substrate formulation and autoclave treatment on *Lentinula edodes* production. *Mushroom Sci.*, 15(2): 803-810.
- Krantz GW, 1986. A manual of acarology. Second edition (emended), 509 pp. Oregon State University Book Stores, Inc., Corvallis, OR, USA.
- Mamiro DP, Royse DJ, 2008. The influence of spawn type and strain on yield, size and mushroom solids content of *Agaricus bisporus* produced on non-composted and spent mushroom compost. *Bioresource Technology*, 99: 3205-3212.
- MAPA, 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III, 532 pp. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- MSC, 1985a. Determinación del índice de materias celulósicas (método de Weende), pp. 346-348. En: Análisis de Alimentos. Métodos oficiales y recomendados por el Centro de Investigación y Control de la Calidad, 1015 pp. Ed. Ministerio de Sanidad y Consumo, Servicio de Publicaciones, Madrid, España.
- MSC, 1985b. Grasa, pp. 354-355. En: Análisis de Alimentos. Métodos oficiales y recomendados por el Centro de Investigación y Control de la Calidad, 1015 pp. Ed. Ministerio de Sanidad y Consumo, Servicio de Publicaciones, Madrid, España.
- Nombela G, Bello A, 1983. Modificaciones al método de extracción de nematodos fitoparásitos por centrifugación en azúcar. *Bol. Serv. Plagas*, 9: 183-189.
- 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.
- Pardo A, 2008. Reutilización del sustrato agotado en la producción de hongos comestibles cultivados. *ITEA*, 104(3): 360-368.
- Poppe J, 2000. Use of agricultural waste materials in the cultivation of mushrooms. *Mushroom Sci.*, 15(1): 3-23.
- Poppe J, 2004. Agricultural wastes as substrates for oyster mushroom. En: *Mushroom Growers' Handbook*. <http://forums.mycotopia.net/attachment.php?attachmentid=11135&d=1130548288> (24-Julio-2006)
- Quimio TH, 1988 (citado por Oei, 1991). 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.
- Rinker DL, 2002. Handling and using "spent" mushroom substrate around the world, pp 43-60. En: *Mushroom Biology and Mushroom Products*, J E. Sánchez, G. Huerta, E. Montiel (eds.), 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.
- Tecator, 1987. Determination of Kjeldahl nitrogen content with the kjeltec Auto 1030 Analyzer. Tecator Application Note 30/87, Hönagäs, Sweden.
- Tello J, Varés F, Lacasa A, 1991. Selección y tratamiento de muestras. Análisis de muestras. Observación microscópica, pp. 29-77. En: *Manual de laboratorio. Diagnóstico de hongos, bacterias y nematodos fitopatógenos*, 485 pp. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria, Madrid, España.
- Till O, 1963. Champignonkultur auf sterilisiertem Nährsubstrat und die wiederverwendung von abgetragenen compost. *Mushroom Sci.* 5: 127-133.

(Aceptado para publicación el 19 de enero de 2009)