

Sustratos de cobertura y suplementación del compost en cultivo de champiñón

Arturo Pardo-Giménez⁽¹⁾, Vinícius Reis de Figueirêdo⁽²⁾, Diego Cunha Zied⁽³⁾ y José Emilio Pardo González⁽⁴⁾

⁽¹⁾Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón, Calle Peñicas, s/nº, Apartado 63, 16220 Quintanar del Rey, Cuenca, España. E-mail: apardo.cies@dipucuenca.es ⁽²⁾Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Rodovia BR-420, Km 2,5, Zona Rural, CEP 45320-000 Santa Inês, BA, Brasil. E-mail: vinicius.figueiredo@si.ifbaiano.edu.br ⁽³⁾Faculdades Integradas de Bauru, Rua Rodolfina Dias Domingues, nº 11, Jardim Ferraz, CEP 17056-100 Bauru, SP, Brasil. E-mail: agronomia@fibbauru.br ⁽⁴⁾Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Campus Universitario, s/nº, 02071 Albacete, España. E-mail: jose.pgonzalez@uclm.es

Resumen – El objetivo de este trabajo fue describir el comportamiento de la corteza de pino, de la fibra de coco y del sustrato postcultivo, como capas de cobertura, en el cultivo del champiñón (*Agaricus bisporus*). Tras la caracterización física, química y biológica de las capas de cobertura, se evaluaron los parámetros de producción cualitativos y cuantitativos, en un ciclo de cultivo de champiñón con cuatro floradas. La menor porosidad y capacidad de retención de agua del suelo mineral, sin aditivos, y la alta conductividad eléctrica del sustrato postcultivo del champiñón utilizado, asociado a la suplementación nutritiva, son los factores determinantes en el diferente comportamiento agronómico observado. Las mezclas de cobertura influenciaron el rendimiento y el número de champiñones, la eficiencia biológica, la tasa de producción y la precocidad. El mejor rendimiento total se obtuvo con la mezcla de suelo mineral y fibra de coco suplementado. Las capas de coberturas evaluadas pueden ser utilizadas comercialmente para la producción de champiñón.

Términos para indexación: *Agaricus bisporus*, capa de cobertura, corteza de pino, fibra de coco, sustrato postcultivo.

Substrate casing and compost supplementation in button mushroom cultivation

Abstract – The objective of this work was to describe the behavior of pine bark, coconut fiber, and spent mushroom substrate, as casing layers, in the button mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation. After the physical, chemical and biological characterization of these casing layers, qualitative and quantitative yield parameters were evaluated in a mushroom crop cycle with four crops. The lower porosity and water retention capacity of the mineral soil without additives and the high electrical conductivity of the post culture substrate of the mushroom used, associated with nutrient supplementation, are the determinant factors of the different agronomical behavior observed. The casing mixtures influenced mushroom yield, number of mushrooms, biological efficiency, production rate, and earliness. The best total yield was obtained using mineral soil mixed with supplemented coconut fiber. The evaluated casing layers can be used commercially for button mushroom production.

Index terms: *Agaricus bisporus*, casing layer, pine bark, coconut fiber, spent mushroom substrate.

Introducción

En los cultivos comerciales de champiñón [*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach], la transición de la fase vegetativa a la fase productiva y la formación y posterior desarrollo de los carpóforos se producen en la capa de cobertura que es aplicada sobre el compost. La capa de cobertura es un material limitado en el aspecto nutricional, si se la compara con el compost,

que constituye el soporte en el que se desarrollan los carpóforos (Jarial et al., 2005). La capa de cobertura, en general, es un medio nutricionalmente débil, pero, además de mantener el grado de humedad adecuado, puede estimular la liberación de sustancias generadas por poblaciones microbianas las cuales están implicadas en la estimulación del desarrollo de los carpóforos; esto provoca importantes cambios morfológicos en la transición del crecimiento vegetativo

a la fase de fructificación, con lo que se puede notar una fructificación más uniforme de los carpóforos (Choudhary, 2011).

Los materiales utilizados y su manejo resultan determinantes en la viabilidad de la producción. Aunque muchos materiales diferentes pueden resultar adecuados como capas de cobertura, la turba es utilizada y recomendada habitualmente como material idóneo en cultivo de champiñón (Gulser & Peksen, 2003).

Además de los materiales alternativos a las turbas, como fibra de coco, suelo y estiércol, utilizados habitualmente en diferentes países, otros materiales naturales y polímeros sintéticos se pueden mezclar como aditivos en las turbas comerciales para obtener floradas más productivas (Beyer et al., 2002). Sassine et al. (2005) utilizaron residuos de papel compostados con adición de nitrato potásico. Aunque obtuvieron resultados prometedores, indican la necesidad de mejorar las características físicas del material, para obtener resultados comparables a los obtenidos con las coberturas comerciales estándar basadas en turbas. Cáscaras de acacia negra y residuos de las minas de carbón también pueden ser utilizados como material en las capas de cobertura, para mejorar el rendimiento de los carpóforos (Labuschagne et al., 2004; Noble & Dobrovin-Pennington, 2005).

En España, la capa de cobertura más utilizada es el suelo mineral mezclado con distintos materiales, principalmente turbas, como correctores estructurales y de retención de agua. Entre los materiales alternativos, se encuentra la posibilidad de utilizar, en sustitución a las turbas, corteza de pino, fibra de coco y sustratos postcultivo de champiñón. Pardo Giménez et al. (2010), con respecto a la utilización de suelo mineral mezclado con fibra de coco (4:1, v/v), observaron rendimientos de 19,93 kg m⁻² en el cultivo de champiñón, con 22,1 días de precocidad (desde la cobertura), alta eficiencia biológica (104,7 kg dt⁻¹ de compost) y media de 30,3 mm para el diámetro de los carpóforos.

La fibra de coco es un material fibroso, procedente de la primera corteza que envuelve a la cáscara dura del coco maduro, utilizado en la preparación de sustratos de cultivo de plantas ornamentales, en la fabricación de cuerdas y en rellenos de sillas para coches, entre otros. Es un material que presenta una estructura estable y comparte la mayoría de

las características de la turba, por lo que suele ser denominada “turba ecológica” (Rangel et al., 2006). Además, la corteza de pino es un residuo de la industria de la madera que se puede utilizar directamente después de un largo proceso natural de fermentación aeróbica controlada. El producto tiene una media del 70% de contenido en materia orgánica (Pardo et al., 2003). La corteza de pino posibilita elevados rendimientos, cuando es utilizada como capa de cobertura para cultivo de champiñón (Rainey et al., 1987). Además de ser un material residual, presenta buena aeración y la posibilidad de cosechas más precoces. Los carpóforos son cosechados con más calidad y limpios al fructificar más separados en la superficie de la capa de cobertura (Allen, 1976).

Investigaciones previas mostraron que no existían diferencias significativas entre la fibra de coco y la corteza de pino, en la utilización de estas como capa de cobertura, en cuanto a los parámetros de rendimiento, eficiencia biológica, precocidad, materia seca y proteína, en el cultivo de la variedad Gurelan 45 de champiñón (Pardo et al., 2004). La fibra de coco mezclada con suelo mineral, en distintas proporciones (entre 1:5 y 1:4, v/v), puede mejorar los rendimientos, cuando es utilizada en cultivo del champiñón como capa de cobertura. En la zona de Castilla-La Mancha, donde se concentra aproximadamente el 45% de la producción de champiñón en España, se vienen generando unas 3 x 10⁵ toneladas de residuos de sustratos, degradados por los hongos al año tras el cultivo comercial. La utilización de los sustratos postcultivo de champiñón y setas puede disminuir el elevado volumen de material generado, el cual se acumula en el medio ambiente (Rinker, 2002). La viabilidad de la reintroducción del sustrato postcultivo de champiñón en nuevos ciclos de cultivo ya ha sido comprobada previamente, con las ventajas añadidas de rebajar los costos de producción y disminuir el impacto ambiental. Numerosas fórmulas han sido utilizadas comercialmente y experimentalmente, con diferentes grados de éxito, para la elaboración de mezclas de cobertura basadas en sustratos postcultivo (Barry et al., 2008; Riahi y Zamani, 2008). Como ventaja añadida, la utilización del compost postcultivo puede reducir la incidencia de enfermedades causadas por *Verticillium* y afectar positivamente el contenido de materia seca y proteína de los carpóforos (Dhar et al., 2003). En consecuencia

de la elevada conductividad eléctrica que presenta el material, es necesario realizar acciones correctoras como paso previo a su utilización.

En cualquier caso, la compleja interacción entre las distintas características físicas, químicas y biológicas de las capas de cobertura hacen que la fructificación presente una gran dependencia de los materiales empleados.

El objetivo de este trabajo fue describir el comportamiento de la corteza de pino, de la fibra de coco y del sustrato postcultivo, como capas de cobertura, en el cultivo del champiñón (*Agaricus bisporus*).

Materiales y Métodos

El experimento se realizó, entre febrero y abril de 2012, en una planta piloto del Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón, en Quintanar del Rey, Cuenca, España. La conducción del ciclo de cultivo, desde la siembra hasta el final de la cosecha, se llevó a cabo en las condiciones de temperatura, humedad relativa y concentración de dióxido de carbono recomendadas para la variedad comercial del micelio seleccionada. La planta piloto de cultivo dispone de sistemas de humidificación, calefacción/refrigeración, y recirculación/ventilación exterior que permiten el control automático de la temperatura y de la humedad relativa, así como de la concentración de dióxido de carbono.

Durante la fase de crecimiento vegetativo, la temperatura media ambiental fue de 22°C, la concentración de CO₂ mayor que 7.000 ppm, y la humedad relativa del 95±2%, sin ventilación. Para la inducción de la fructificación, se disminuyeron la temperatura, el contenido en CO₂ y la humedad relativa a 18°C, <1.200 ppm y 90±2%, respectivamente, condiciones que se mantuvieron durante la fase de producción. Tras un periodo de germinación de 14 días, se aplicaron la capa de cobertura y los tratamientos fitosanitarios habituales, como: formalina (18 mL m⁻², en 1.000 mL agua), diflubenzuron (25% PM, 3,6 g m⁻², en 1.300 mL agua) y prochloraz (46% PM, 0,62 g m⁻², en 1.000 mL agua). Las coberturas se rastrillaron ocho días después de su aplicación, y en el mismo día se procedió a inducir la fructificación. La duración total del ciclo de cultivo fue de 64 días, durante lo cual se cosecharon cuatro floradas.

Para la caracterización física, química y biológica del compost, del suplemento nutritivo y las mezclas de cobertura, se realizaron las siguientes determinaciones: humedad, pH, conductividad eléctrica, contenido en N total, materia orgánica y cenizas, relación C:N, fibra bruta, grasa bruta, celulosa, hemicelulosa, lignina y solubles neutro-detergentes, densidad real, densidad aparente, porosidad total y capacidad de retención de agua, nematodos, ácaros y hongos competidores. Se utilizó para ello la metodología descrita por Pardo-Giménez et al. (2012).

Como sustrato de base para el cultivo de champiñón, se utilizó un compost comercial basado en paja de trigo y estiércol de pollo. Las características analíticas fueron las siguientes: pH (1:5, p/v), 7,64; humedad, 679 g kg⁻¹; nitrógeno, 22,3 g kg⁻¹; cenizas, 309,1 g kg⁻¹; C/N, 18,0; fibra bruta, 290,3 g kg⁻¹; grasa bruta, 1,0 g kg⁻¹; extractivos libres de nitrógeno, 260,5 g kg⁻¹; hemicelulosa, 125,3 g kg⁻¹; celulosa, 187,8 g kg⁻¹; lignina, 215,8 g kg⁻¹; solubles neutro-detergentes, 162,1 g kg⁻¹. El micelio utilizado fue Gurelan 45 (híbrido blanco liso, mediano), a razón de 10 g kg⁻¹ de compost fresco.

Como testigo, se utilizó el suelo mineral de la zona Manchuela sin aditivos (cobertura 1, SM). Este material es la base de la mayoría de las coberturas empleadas por el sector productor en Castilla-La Mancha. Las capas de cobertura 2 y 3 (SM+FC y SM+CP) son, respectivamente, mezclas del suelo mineral con fibra de coco y corteza de pino en la proporción 3:1 (v/v). La capa de cobertura 4 (SM+SPC) fue una mezcla de suelo mineral con sustrato postcultivo de champiñón (SPC) en la misma proporción. El SPC fue previamente sometido a un tratamiento térmico (70°C, 12 horas). Todas estas coberturas presentaron buen comportamiento agronómico en investigaciones anteriores. El espesor de la cobertura empleada fue de 3 cm.

El suplemento comercial ProMycel 600 (Amycel France, Vendôme, Francia), de alta eficiencia en el compost para champiñones, también fue utilizado en el sustrato de cultivo para evaluar la influencia de su aplicación en la producción de los champiñones. Se utilizó la dosis de aplicación recomendada por el fabricante (100 g kg⁻¹ compost fresco), aplicado en el momento de la siembra. Como testigo no se añadió ningún material para suplementación.

El diseño experimental utilizado fue un plan factorial equilibrado 4x2, con seis repeticiones, con un total de 48 cubetas, cada una con 10 kg de compost. El factor 1, con cuatro niveles, correspondió al tipo de cobertura. El factor 2, con dos niveles, correspondió a la aplicación o no de la suplementación nutritiva.

Diariamente, se realizó la recolección de los champiñones, en el estado óptimo comercial de desarrollo correspondiente a los estados morfológicos 2, 3 y 4 (Hammond y Nichols, 1976). Para el establecimiento del rendimiento por unidad de superficie, se pesó la cantidad de champiñones producidos diariamente, y se contó el número de champiñones obtenidos. Además, se separó la producción en dos grupos, según su tamaño: gruesos (≥ 40 mm) y medianos (15–40 mm). La eficiencia biológica, expresada en kilogramos de hongos cosechados por decitonelada (dt) de compost (materia seca), se estableció a partir del rendimiento por unidad de superficie.

El peso unitario de los champiñones se determinó a partir del rendimiento obtenido y del número de champiñones cosechados. En el día de la máxima cosecha, de cada una de las tres primeras floradas, se eligieron cinco champiñones de tamaño y madurez uniformes para la evaluación de su calidad. Sobre ellos se determinó el color, el contenido en materia seca y la textura. La precocidad se expresó como el tiempo transcurrido entre la aplicación de la cobertura y la cosecha de la primera florada. El color de la superficie de los champiñones se midió por reflexión, con un colorímetro Minolta CR300 (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japón), en un total de veinte medidas en cada una de las tres primeras floradas, para cada cubeta, habiéndose realizado cuatro medidas sobre los sombreros de tamaño uniforme y libres de enfermedad de los champiñones.

Para la descripción del color, se utilizaron los valores de L^* (luminosidad), b^* (componente amarillo-azul) e ΔE^* , parámetro que mide el grado de desviación, en comparación con los valores de un esporóforo de color ideal. El método utilizado para determinar el contenido de materia seca de los carpóforos consistió en la medida de la pérdida de peso, tras desecación a 105°C durante 72 horas. Para evaluar la textura, se utilizó un analizador TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Godalming, UK), y se cortó el pie del champiñón perpendicularmente a nivel del velo, para medir la textura sobre el centro del sombrero, con una

punta de prueba cilíndrica de acero inoxidable, con una velocidad constante de ensayo de 2 mm s⁻¹.

Para la realización del análisis estadístico, se utilizó el paquete informático Statgraphics Plus v. 4.1 (Statistical Graphics Corp., Princeton, 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, al 5% de probabilidad.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1, se presentan los resultados de la caracterización analítica de los sustratos de cobertura utilizados. La capas de coberturas utilizadas presentaron, en el momento de su aplicación sobre el compost, contenido en humedad medio de 214 g kg⁻¹, siendo el menor el del testigo SM (155 g kg⁻¹) y el mayor del SM+SPC (252 g kg⁻¹). La cobertura con SPC presentó un mayor contenido de humedad. Hubieron ligeras diferencias de pH (1:5, p/v) entre los ensayos, que oscilaron entre 7,81 en el SM+SPC y 8,75 en el testigo SM, con una media de 8,42. Los resultados de pH de los tratamientos con SM+FC y SM+CP fueron iguales (8,55). Para la conductividad eléctrica (1:10, p.seco/v) de las coberturas estudiadas,

Cuadro 1. Caracterización analítica de los sustratos de cobertura utilizados para el cultivo de champiñones.

Parámetro	SM ⁽¹⁾	SM+FC ⁽²⁾	SM+CP ⁽³⁾	SM+SPC ⁽⁴⁾
pH (1:5, p/v)	8,75	8,55	8,55	7,81
pH (1:5, v/v)	8,76	8,6	8,5	7,84
CE (1:5, v/v, $\mu\text{S cm}^{-1}$)	126	173	173	1839
CE (1:10, p.seco/v, $\mu\text{S cm}^{-1}$)	112	170	177	1459
Cenizas (g kg ⁻¹)	970,3	949,6	914,6	927,5
Densidad real (g mL ⁻¹)	2,595	2,558	2,499	2,520
DA (fresco) (g mL ⁻¹)	1,005	1,040	0,892	0,990
Humedad (g kg ⁻¹)	155	240	208	252
DA (seco) (g mL ⁻¹)	0,849	0,790	0,706	0,741
Porosidad (%)	67,3	69,1	71,7	70,6
RA (mL100 g ⁻¹ m.s.)	43,1	49,2	55,4	53,6
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	29,7	50,4	85,4	72,5
Carbonatos (g kg ⁻¹)	444	400	392	388
Caliza activa (g kg ⁻¹)	188	170	143	126
Ácaros	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Nematodos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Hongos competidores	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

⁽¹⁾Suelo mineral. ⁽²⁾Suelo mineral + fibra de coco 3:1 (v/v). ⁽³⁾Suelo mineral + corteza de pino 3:1 (v/v). ⁽⁴⁾Suelo mineral + sustrato postcultivo de champiñón 3:1 (v/v). CE, Conductividad eléctrica; DA, Densidad aparente; RA, Retención de agua.

se observaron, en todos los casos, valores superiores al testigo, con un máximo de $1.459 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la cobertura que utilizó sustrato postcultivo. La cobertura con suelo mineral presentó la menor conductividad ($112 \mu\text{S cm}^{-1}$).

El mayor contenido en cenizas se observó en el testigo, seguido de los tratamientos con SM+FC, SM+SPC y SM+CP. Los valores registrados para la densidad real y aparente (fresco) de las coberturas utilizadas fueron similares a los del testigo. Se observó una ligera diferencia entre el testigo y el resto de las coberturas en la densidad aparente (seco). Para la capacidad de retención de agua de las capas de cobertura analizadas, se observaron mayores valores en el tratamiento con SM+CP. Todas las mezclas analizadas fueron superiores al testigo basado en suelo mineral.

El valor más bajo de contenido de materia orgánica fue observado en el testigo, y la capa con corteza de pino fue la que mostró los resultados más elevados. Sin embargo, los valores más altos del contenido en carbonatos y caliza activa fueron observados en el testigo. La prospección de ácaros, nematodos y hongos competidores mostró resultados negativos para todas las coberturas ensayadas.

En el Cuadro 2, se presentan las características analíticas del suplemento comercial utilizado. En el momento de su aplicación, el pH fue de 5,97, y la humedad de 12,3. Se destacan los valores encontrados para el contenido de proteína (51,59), materia orgánica (93,53) y nitrógeno libre (29,48).

En el Cuadro 3, se presentan los resultados de los principales parámetros de producción cuantitativos evaluados en los champiñones procedentes de las

distintas capas de cobertura ensayadas. El mayor número de champiñones cosechados por unidad de superficie fue proporcionado por la capa de cobertura con SM+CP/NS (1.079), aunque sólo se encontraron diferencias significativas con respecto a SM y SM+SPC con o sin suplementación, en ambos casos. No se observaron diferencias significativas en el peso unitario (media 29,1 g) entre las coberturas suplementadas y las no suplementadas. Los mayores valores se encontraron con el suelo mineral, aunque sin diferencia significativa con el SM+SPC suplementado.

La primera y segunda floradas fueron las más productivas, observándose una notable disminución en las últimas. Los tratamientos con SM+SPC suplementados o no suplementados presentaron

Cuadro 2. Caracterización analítica del suplemento comercial ProMycel 600 utilizado en el cultivo de champiñones.

Característica	Valor
pH (1:5, p/v)	5,97
Humedad (g kg ⁻¹)	12,3
Nitrógeno (g kg ⁻¹)	8,26
Proteína (g kg ⁻¹)	51,59
Cenizas (g kg ⁻¹)	6,47
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	93,53
Relación C/N	6,6
Fibra bruta (g kg ⁻¹)	8,80
Grasas (g kg ⁻¹)	3,52
Extractivos libres de nitrógeno (g kg ⁻¹)	29,48
Hemicelulosa (g kg ⁻¹)	18,60
Celulosa (g kg ⁻¹)	4,84
Lignina (g kg ⁻¹)	12,00
Solubles neutro-detergentes (g kg ⁻¹)	55,20

Cuadro 3. Resultados obtenidos para los principales parámetros de producción cuantitativos evaluados en los champiñones procedentes de los distintos tratamientos evaluados⁽¹⁾.

Tratamiento	Número champiñones per m ²	Peso unitario (g)	Rendimiento (kg m ⁻²)				Total	Eficiencia biológica (kg dt ⁻¹)	Tasa de producción	Precocidad (días desde la cobertura)
			1ª florada	2ª florada	3ª florada	4ª florada				
1 SM/NS	534b	36,6a	5,33d	7,31abcd	4,58a	2,03a	19,25cd	87,8c	1,38cd	24,9a
2 SM/S	600b	34,5a	6,28cd	6,88bcd	5,31a	2,00a	20,46bc	90,8bc	1,43bc	25,4a
3 SM+FC/NS	937a	26,7cd	9,43a	7,69abc	4,42a	2,94a	24,47a	111,6a	1,75a	23,6bc
4 SM+FC/S	1052a	25,3cd	8,65ab	8,26abc	5,90a	3,50a	26,30a	116,7a	1,85a	23,6c
5 SM+CP/NS	1079a	23,0d	8,69ab	8,48ab	4,78a	2,69a	24,64a	112,3a	1,77a	23,2c
6 SM+CP/S	952a	25,2cd	8,02abc	8,72a	4,33a	2,85a	23,92ab	106,2ab	1,68ab	23,3c
7 SM+SMS/NS	495b	29,6bc	6,81bcd	5,82d	1,49b	0,39b	14,51e	66,2d	1,12d	23,7bc
8 SM+SMS/S	520b	32,2ab	7,35bcd	6,58cd	2,19b	0,45b	16,57de	73,5cd	1,23cd	24,2b
Media	771	29,1	7,57	7,47	4,12	2,11	21,26	95,6	1,53	24,0

⁽¹⁾Para cada columna, valores seguidos de distintas letras son significativamente diferentes entre si, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad. NS, no suplementado; S, suplementado. ⁽²⁾Tasa de producción, eficiencia biológica/64 (duración del ciclo del cultivo).

rendimientos significativamente bajos en la tercera y cuarta floradas, lo que se puede atribuir a la acumulación de sales en la capa de cobertura. El rendimiento total medio observado en el experimento fue de 21,26 kg m⁻². El tratamiento SM+FC/S proporcionó el mayor rendimiento, con 26,30 kg m⁻², aunque no se diferenció significativamente de SM+FC/S y SM+CP (con o sin suplementación). El registro significativo más bajo fue obtenido con las coberturas SM+SPC, con o sin suplementación. La utilización del suplemento proporcionó, en general, resultados mejores para los parámetros cuantitativos, en comparación con los tratamientos no suplementados. Entre los tratamientos con la misma capa de cobertura, para la suplementación, no hay diferencia significativa, aunque los tratamientos con suplementación presenten mayores rendimientos. Petrenko & Bisko (2004) relataron que el aumento del rendimiento es dependiente de la concentración del suplemento añadido.

La eficiencia biológica fue alta en prácticamente todos los tratamientos, a lo que contribuyó el hecho de que el compost utilizado presentaba humedad considerable (679 g kg⁻¹). Así, a excepción de SM/NS y SM+SPC (con o sin suplementación), las coberturas ensayadas superaron el umbral de los 90 kg dt⁻¹ de compost. La tasa de producción, calculada a partir de la eficiencia biológica y la duración del ciclo del cultivo, también mostró los valores más bajos en las coberturas citadas anteriormente. En las coberturas SM+FC y SM+CP, suplementadas o no, se obtuvieron las mejores tasas de producción. Las coberturas

testigos fueron las menos precoces, cosechándose los carpóforos 25,4 y 24,9 días después de la cobertura. Aunque los testigos con suelo mineral presentaron mayor retraso, debe destacarse que aumentó el tamaño de los champiñones cosechados, con mayor peso unitario y con más carpóforos en la categoría comercial grueso (≥ 40 mm).

En el Cuadro 4, se presentan los resultados de los principales parámetros de producción cualitativos de los distintos tratamientos. La separación de la producción por categoría comercial solo diferenció significativamente las coberturas SM+SPC (con o sin suplementación) del resto. Se obtuvo, en todos los casos, una mayor proporción de champiñón grueso, con una media de 17,84 kg m⁻², comparada a 3,42 kg m⁻² de champiñón mediano. Se observaron diferencias significativas del diámetro de los carpóforos entre los distintos tratamientos, con una media de 45,5 mm, y la cobertura SM/NS, con 50,3 mm, fue la que presentó los mayores diámetros, aunque sin diferencia significativa con SM/S y SM+SPC/S.

En relación al color de los carpóforos, la menor luminosidad (L*) se observó en las coberturas de suelo mineral, sin diferencias significativas del resto. La cobertura SM/S presentó el ΔE^* más alto, lo que indica su mayor distancia de un carpóforo ideal. El contenido de materia seca de los champiñones es de especial interés, ya que aquellos con valores altos presentan una textura más firme, un mayor valor nutritivo y una menor predisposición al deterioro microbiano (Schisler, 1983; Beelman, 1988). En el presente estudio, se obtuvieron valores medios de

Cuadro 4. Resultados obtenidos para los principales parámetros de producción cualitativos, evaluados en los champiñones procedentes de los distintos tratamientos ⁽¹⁾.

Tratamiento	Categoría (kg m ⁻²)		Diámetro del carpóforo (mm)	Color			Materia seca (g kg ⁻¹)	Textura	
	Grueso (≥ 40 mm)	Mediano (< 40 mm)		L*	b*	ΔE^*		F _{ruptura} (N)	E _{compresión} (mj)
1 SM/NS	18,06ab	1,20b	50,3a	93,37bc	9,240bc	10,080b	86,5b	27,26abc	199,4
2 SM/S	18,64a	1,82b	49,1ab	92,78c	10,069a	11,067a	83,7bc	26,75bcd	184,8
3 SM+FC/NS	19,65a	4,82a	43,9cd	94,18ab	8,305e	8,936c	79,3c	23,75e	165,1
4 SM+FC/S	20,51a	5,80a	43,0cd	94,30a	8,857cde	9,390bc	79,7c	24,66cde	170,4
5 SM+CP/NS	18,87a	5,76a	41,4d	94,33a	8,488de	9,079c	81,1bc	24,28de	184,4
6 SM+CP/S	19,10a	4,82a	42,9cd	94,47a	9,150bcd	9,622bc	80,7bc	24,82cde	181,6
7 SM+SMS/NS	12,86c	1,64b	45,9bc	94,27a	9,603ab	10,111b	95,5a	27,62ab	187,9
8 SM+SMS/S	15,07bc	1,49b	47,6ab	94,13ab	9,468abc	10,032b	96,2a	29,74a	191,0
Media	17,84	3,42	45,5	93,98	9,147	9,790	85,3	26,11	183,1

⁽¹⁾Para cada columna, valores seguidos de distintas letras son significativamente diferentes entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad. NS, no suplementado; S, suplementado.

85,3 g kg⁻¹. Los valores más altos correspondieron a las coberturas de SM+SPC, con o sin suplementación. Estas coberturas también mostraron valores altos de textura, en el análisis de la fuerza de ruptura de los carpóforos, aunque no se diferenciaron significativamente de las coberturas basadas en suelo mineral al 100%. No se observaron diferencias significativas en energía de compresión entre tratamientos.

La conductividad eléctrica parece ser determinante en el comportamiento agronómico de la capa de cobertura, cuando se utiliza SPC como ingrediente. En un trabajo previo (Pardo et al., 2004), el umbral a partir del cual cabría esperar disminuciones notables de rendimiento se fijó en torno a 1.600 $\mu\text{S cm}^{-1}$. En el presente trabajo, se han formulado coberturas que ya habían mostrado su potencial en experimentos independientes anteriores y cuya conductividad se situaba en torno a ese valor como límite superior.

En los ensayos SM+SPC (con o sin suplementación) se observó disminución de rendimiento en la tercera y cuarta floradas, lo que puede sugerir que los valores de la conductividad eléctrica interfieren en la productividad. Un tratamiento de lavado con agua, además del tratamiento térmico, podría disminuir el contenido en sales solubles en el sustrato postcultivo utilizado en el ensayo. Pardo et al. (2004) utilizaron distintos sustratos postcultivo de champiñones frescos, lavados con agua y tratados térmicamente, los cuales presentaron conductividades eléctricas entre 1.532 y 4.155 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (1:6, v/v). La utilización de sustrato lavado o su combinación con otros materiales permite elaborar mezclas de cobertura, con valores de conductividad eléctrica suficientemente baja, para

que no afecte a la productividad (Pardo-Giménez et al., 2010).

En el Cuadro 5, se presentan los resultados del análisis proximal de los carpóforos producidos. Hubo diferencias significativas en el contenido de humedad, en que se destacaron los tratamientos con fibra de coco con valores ligeramente superiores – 920,8 y 920,4 g kg⁻¹ – a los de los otros tratamientos, aunque solo se hayan diferenciado significativamente de las coberturas SM/NS y SM+SPC (con o sin suplementación). El mejor resultado para proteína bruta se obtuvo con las coberturas con suelo mineral, no suplementado o suplementado, y suelo mineral mezclado con sustrato postcultivo suplementado. La grasa bruta presentó una media de 22,6 g kg⁻¹, y no fueron observadas diferencias significativas entre coberturas. Los mayores valores de carbohidratos totales se observaron en la cobertura SM+SPC/S, aunque solo se diferenció significativamente del suelo mineral con o sin suplementación, destacándose la misma cobertura para carbohidratos disponibles, aunque sin diferencia significativa de SM+FC/NS, SM+CP/NS y SM+SPC/S. Tampoco se observaron diferencias significativas en el contenido de fibra bruta entre tratamientos. El contenido de cenizas mostró una media de 99,4 g kg⁻¹, y el tratamiento SM+CP/S fue el de mayor contenido (104,1 g kg⁻¹), aunque sólo se diferenció significativamente del suelo mineral no suplementado y del SM+SPC con o sin suplementación. Por último, el mayor valor energético lo mostró la cobertura SM+SPC/S, aunque solo se diferenció significativamente de SM y SM+FC, ambos suplementados.

Cuadro 5. Resultados del análisis proximal de los carpóforos de *Agaricus bisporus* producidos⁽¹⁾.

Tratamiento	Humedad (g kg ⁻¹)	Proteína bruta ⁽²⁾	Grasa bruta	Carbohidratos totales	Carbohidratos disponibles	Fibra bruta	Cenizas	Valor energético (kcal 100g m.s.)
SM	914,9b	266,8a	24,1	610,7b	495,8b	114,9	98,4b	328b
SM+FC	920,6a	237,9b	21,8	637,4a	528,5a	109,0	102,9a	329ab
SM+CP	919,1a	236,5b	23,4	637,9a	533,0a	104,9	102,2a	332ab
SM+SMS	904,2c	243,4b	20,9	641,4a	540,5a	100,9	94,3c	336a
No suplementado	914,4	239,8b	22,2	639,8a	537,3a	102,5b	98,3b	334a
Suplementado	914,9	252,6a	22,9	623,9b	511,6b	112,3a	100,6a	328b
Media	914,6	246,2	22,6	631,9	524,4	107,4	99,4	331

⁽¹⁾Para cada columna, valores seguidos de distintas letras son significativamente diferentes entre si, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad. NS, no suplementado; S, suplementado. ⁽²⁾N x 4,38.

Conclusiones

1. La menor porosidad y capacidad de retención de agua del suelo mineral, sin aditivos, y la alta conductividad eléctrica del sustrato postcultivo del champiñón utilizado, asociado a la suplementación nutritiva, son los factores determinantes en el diferente comportamiento agronómico observado.

2. Las mezclas de cobertura con fibra de coco y corteza de pino influyen positivamente el número de champiñones producidos, el rendimiento, la eficiencia biológica, la tasa de producción, la precocidad y la coloración, aunque los champiñones presentan menor tamaño y menor contenido en materia seca.

3. Todos los tratamientos presentaron mayores rendimientos en las dos primeras floradas.

4. El mayor rendimiento total se obtuvo con la cobertura de una mezcla de suelo mineral y fibra de coco, con suplementación.

5. Las capas de cobertura presentadas en este trabajo pueden ser utilizadas comercialmente para la producción de champiñón.

Referencias

- ALLEN, P.G. Casing variables - plastic tunnels. **Mushroom Journal**, v.37, p.22-29, 1976.
- BARRY, J.; GRANT, J.; DOYLE, O.; GROGAN, H. Partial substitution of peat with spent mushroom substrate in peat-based casing blends. **Mushroom Science**, v.17, p.288-309, 2008.
- BEELMAN, R. Factors influencing post-harvest quality and shelf life of fresh mushrooms. **Mushroom Journal**, v.182, p.455-463, 1988.
- BEYER, D.M.; BEELMAN, R.B.; KREMSER, J.J.; RHODES, T.W. **Casing additives and their influence on yield and fresh quality of *Agaricus bisporus***. In: SÁNCHEZ, J.E.; HUERTA, G.; MONTIEL, E. (Ed.). *Mushroom biology and mushroom products*. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2002. p.311-321.
- CHOUDHARY, D.K. First preliminary report on isolation and characterization of novel *Acinetobacter* spp. in casing soil used for cultivation of button mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. **International Journal of Microbiology**, v.2011, p.1-6, 2011. Doi:10.1155/2011/790285.
- DHAR, B.L.; AHLAWAT, O.P.; GUPTA, Y. Evaluation of agro-industrial wastes as casing materials in *Agaricus bisporus* cultivation in India. **Mushroom International**, v.92, p.5-9, 2003.
- GULSER, C.K.; PEKSEN, A. Using tea waste as a new casing material in mushroom (*Agaricus bisporus* (L.) Sing.) cultivation. **Bioresource Technology**, v.88, p.153-156, 2003.
- HAMMOND, J.B.W.; NICHOLS, R. Carbohydrate metabolism in *Agaricus bisporus* (Lange) Sing: changes in soluble carbohydrates during growth of mycelium and sporophore. **Journal of General Microbiology**, v.93, p.309-320, 1976.
- JARIAL, R.S.; SHANDILYA, T.R.; JARIAL, K. Casing in mushroom beds - a review. **Agricultural Reviews**, v.26, p.261-271, 2005.
- LABUSCHAGNE, P.M.; AVELING, T.A.S.; KORSTEN, L. Mushroom casing research. **The Spawn Run**, v.2004, p.15-20, 2004.
- NOBLE, R.; DOBROVIN-PENNINGTON, A. Partial substitution of peat in mushroom casing with fine particle coal tailings. **Scientia Horticulturae**, v.104, p.351-367, 2005.
- PARDO, A.; JUAN, J.A. de; PARDO, J.E. Characterisation of different substrates for possible use as casing in mushroom cultivation. **Food, Agriculture and Environment**, v.1, p.107-114, 2003.
- PARDO, A.; NAVARRO, M.J.; LOPEZ, M.J.; GEA, F.J. Uso del compost agotado de hongos cultivados reciclado como material de cobertura para el cultivo de champiñón. En: CONGRESO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE AGRICULTURA ECOLÓGICA, 6.; CONGRESSO IBEROAMERICANO DE AGROECOLOGIA, 2.; ENCUENTRO DE ESTUDIANTES DE AGROECOLOGIA Y AGRICULTURA ECOLÓGICA, 1., 2004, Almería. Agroecología: referente para la transición de los sistemas agrarios: **actas**. Almería: Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 2004. p.1599-1609.
- PARDO-GIMÉNEZ, A.; ZIED, D.C.; ÁLVAREZ-ORTÍ, M.; RUBIO, M.; PARDO, J.E. Effect of supplementing compost with rapeseed meal on *Agaricus bisporus* production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.92, p.1665-1671, 2012.
- PARDO-GIMÉNEZ, A.; ZIED, D.C.; PARDO-GONZÁLEZ, J.E. Utilización de compost agotado de champiñón como capa de coberturas en nuevos ciclos de producción. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1164-1171, 2010.
- PETRENKO, B.F.; BSKO, N.A. Influence of the addition of soybean supplements to the compost on the yield of *Agaricus bisporus*. **Mushroom Science**, v.16, p.353-358, 2004.
- RAINEY, P.B.; COLE, A.L.J.; SANDERSON, F.R. Air filled pores - an important component of the mushroom casing layer. **Developments in Crop Science**, v.10, p.510-514, 1987.
- RANGEL, J.I.; LEAL, H.; PALACIOS-MAYORGA, S.; SÁNCHEZ, S.; RAMÍREZ, R.; MÉNDEZ-GARCÍA, T. Coconut fiber as casing material for mushroom production. **TERRA Latinoamericana**, v.24, p.207-213, 2006.
- RIAHI, H.; ZAMANI, H. Use of spent mushroom compost and composted azolla as an alternative for casing soil. **Mushroom Science**, v.17, p.333-339, 2008.
- RINKER, D.L. **Handling and using "spent" mushroom substrate around the world**. In: SÁNCHEZ, J.E.; HUERTA, G.; MONTIEL, E. (Ed.). *Mushroom biology and mushroom products*. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2002. p.43-60.
- SASSINE, Y.N.; GHORA, Y.; KHARRAT, M.; BOHME, M.; ABDEL-MAWGOUD, A.M.R. Waste paper as an alternative for casing soil in mushroom (*Agaricus bisporus*) production. **Journal of Applied Sciences Research**, v.1, p.277-284, 2005.
- SCHISLER, L.C. Quality/size. **Mushroom Journal**, v.123, p.81-89, 1983.

Recibido en 14 de mayo de 2012 y aprobado en 22 de julio de 2012