

## Reutilización del sustrato post-cultivo de hongos en semillero de hortícolas

María R. Yagüe\* y M. Carmen Lobo

Departamento de Investigación Agroambiental, Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA). Finca El Encín, Autovía A-2. Km. 38,2. 28805, Alcalá de Henares (Madrid), España

### Resumen

El uso agronómico de sustratos post-cultivo de hongos (SPCHs) en semillero para hortícolas podría ser una alternativa interesante para la reutilización de estos residuos en línea con la estrategia europea de economía circular. En este trabajo se evalúa el potencial uso de cuatro tratamientos con diferentes SPCHs, champiñón (-Ch), seta (-St), compostado de champiñón (-CO), y una mezcla (SPCH-Ch y SPCH-St) como sustratos para germinación de semillas de lechuga y guindilla. El ensayo se realizó en cámara de germinación utilizando como tratamiento control, compost comercial. La evaluación se realizó en base a sus características químicas (salinidad, contenido de N y C), físicas (densidad aparente y real, porosidad y retención de agua) y el efecto en la planta (germinación y biomasa). De las propiedades químicas estudiadas, la alta salinidad en SPCH-Ch y SPCH-CO, fue un factor limitante para el desarrollo de las especies hortícolas evaluadas (conductividad eléctrica 1:2,5; p/v;  $\sim 11 \text{ dS m}^{-1}$ ), observándose bajos porcentajes de germinación. En cuanto a las propiedades físicas, porosidad y retención de agua, los tratamientos SPCH-CO, SPCH-St y mezcla presentaron algunos valores fuera del rango óptimo establecido para sustratos de germinación. En el caso de SPCH-St, su alta relación C/N podría suponer una limitación para suministrar N al cultivo. En relación a la producción de biomasa (aérea y radicular) de lechuga y guindilla, todos los tratamientos evaluados obtuvieron valores similares al tratamiento control. El tratamiento mezcla presentó los mayores valores de biomasa, significativamente mayores en el cultivo de lechuga. En general, el tratamiento mezcla resultó ser la mejor alternativa para su uso en semillero.

**Palabras clave:** Guindilla, lechuga, propiedades físicas, plantero de hortícolas, propiedades químicas, sustratos orgánicos.

### Reuse of the spent mushroom substrate in a vegetable seedbed

#### Abstract

The agronomic use of spent mushrooms substrate (SPCHs) in a substrate seedbed could be an interesting alternative for the reuse of these residues in line with the European circular economy strategy. This work evaluates the potential use of four treatments with different SPCHs, *Agaricus* mushroom (-Ch), *Pleurotus* mushroom (-St), composting of *Agaricus* (-CO), and a mixture of SPCH (SPCH-Ch and SPCH-St), as a substrate for lettuce and chilli pepper seedbeds. The experiment was performed in a germination chamber using commercial compost as a control treatment. The evaluation was carried out based on

---

\* Autor para correspondencia: mariarosa.yague@madrid.org

its chemical characteristics (salinity, N and C content), physical properties (bulk and real density, porosity and water retention) and the effect on the plant (germination and biomass). According to the chemical properties studied, the high salinity in SPCH-Ch and SPCH-CO was a limiting factor for the development of the horticultural species evaluated (electrical conductivity 1:2.5; w/v;  $\sim 11 \text{ dS m}^{-1}$ ), low percentages of germination were observed. Regarding the physical properties, porosity and water retention, it was the SPCH-CO, SPCH-St, and mixture treatments that presented some values outside the optimal range established for germination substrates. In the case of SPCH-St, its high C/N ratio could be a limitation in the supply of N to the crop. In relation to the biomass production (aerial and root) of lettuce and chilli pepper, all the evaluated treatments obtained similar values to the control treatment. The treatment of the mixture showed the largest biomass which was significantly higher in lettuce crop. In general, the mixed treatment seems to be the best alternative for use in the seedbed.

**Keywords:** Chilli, lettuce, physical properties, chemical properties, vegetables nursery, organic substrates.

## Introducción

Las industrias agroalimentarias generan un importante volumen de residuos cuya reutilización supone una gestión eficiente de los mismos y la recuperación de nuevos recursos que pueden ser utilizados como fuente de producción en otras actividades agrarias. Esta utilización de materias primas secundarias es uno de los objetivos que impulsa el plan europeo de economía circular (EU, 2019).

La industria de producción de hongos comestibles, genera una cantidad de material orgánico tras su producción, de alrededor de cinco kilogramos de sustrato post-cultivo de hongos en fresco por cada kilogramo de hongos producido (Finney *et al.*, 2009). La previsión en la próxima década para esta industria es de un incremento notable (Industry report, 2018), lo que supondría el incremento de la producción de residuos asociados. La eliminación de estos residuos generados después del cultivo de hongos, representa un problema en las industrias de cultivo de hongos (Kulshreshtha, 2019). Las especies de hongos que más se producen en el mundo son las de champiñón (*Agaricus* spp. 15 %) y seta (*Pleurotus* spp. 19 %) (Royse *et al.*, 2017), siendo la producción de hongos comestibles a nivel mundial en 2017 de alrededor de 10,2 millones de toneladas. España ocupa la quin-

ta posición (160.000 toneladas anuales; FAOSTAT, 2019), estando la producción geográficamente concentrada en Castilla la Mancha y La Rioja. Tras el cultivo de los hongos, ( $\sim 3-4$  fructificaciones), se genera el denominado sustrato post-cultivo de hongos (SPCH).

El SPCH se puede utilizar agrónomicamente como fertilizante, enmienda del suelo o sustrato de plántulas (contenedor medio o en semillero). Mediante estas alternativas se incorporan estos residuos como recurso en otro sistema agrario según las directrices de la economía circular (Rinker, 2017; Grimm y Wösten, 2018; Hanafi *et al.*, 2018; Jasińska, 2018). La aplicación de los SPCHs en los sistemas agrarios además de contribuir a reducir los costes de producción supone una reducción de su impacto ambiental (Pardo-Giménez, 2008).

Este sustrato podría ser utilizado directamente o tras un proceso de compostaje, como semillero para producción de hortalizas. En ambos casos, supondría una alternativa interesante al uso de compost comercial convencional. El compost de restos de sustrato del cultivo de hongos, está incluido el listado de productos orgánicos como sustratos de cultivo o como mezcla de sustratos de cultivo (BOE, 2010 –anexo 1–; BOE, 2016).

En una revisión reciente de Stewart-Wade (2020) sobre la eficacia de los residuos orgá-

nicos utilizados en la producción de plantas de contenedores, se concluyó que las características, los inconvenientes y la idoneidad deberían revisarse en cada residuo específico.

En este sentido su reutilización supone la necesidad de evaluar su potencial tanto desde el punto de vista de sus características químicas (Postemsky y López-Castro, 2016), y propiedades físicas (Yeager *et al.*, 1997; Bilderback *et al.*, 2005), como por su efecto en la germinación y la producción de plántulas en el semillero (biomasa aérea y radicular).

En este estudio se evaluaron cuatro tratamientos con residuos de sustratos post-cultivo de hongos respecto a un tratamiento de compost comercial para la germinación de semillas y crecimiento de plantero de lechuga y guindilla en una cámara en condiciones controladas.

## Material y métodos

### **Origen de los materiales de post-cultivo de hongos utilizados**

Los sustratos post-cultivo del champiñón (*Agaricus*) y de la seta (*Pleurotus* sp.) proceden del Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón (CTICH, La Rioja, España) y son el material orgánico resultante tras el proceso de cultivo del hongo, por lo que su composición está condicionada por las materias primas utilizadas en su elaboración-compostaje y los restos de micelio de los hongos tras su cultivo.

Las materias primas para la elaboración del sustrato de cultivo de champiñón fueron paja de trigo, gallinaza, yeso, urea y agua. Esta mezcla inicia el proceso de biodegradación cuando alcanza una humedad del 76 %. En condiciones aeróbicas alcanza temperaturas hasta 80 °C, con volteos sucesivos; esta fase

dura entre 17-20 días y posteriormente se procede a la pasteurización y acondicionamiento termófilo. El sustrato obtenido se mezcla con el micelio y se traslada a la sala de cultivo, donde el hongo coloniza el sustrato, tras lo cual se aplica una capa de cobertura basada en turba (corregida con CaCO<sub>3</sub>) sobre la que se produce la fructificación. Tras el fin de la producción de champiñón se obtiene el sustrato post-cultivo de hongos de champiñón (SPCH-Ch), que incluye el compost degradado y la capa de cobertura.

En el caso del sustrato para setas, se produce a partir de paja de trigo que es humedecida y volteada en condiciones aeróbicas hasta obtener una humedad alrededor 65-70 %. Posteriormente se somete a un proceso de pasteurización al sustrato generado y se añade el micelio. Tras finalizar la producción de seta, se obtiene el sustrato post-cultivo de hongos de seta (SPCH-St).

Para el compostaje del SPCH-Ch se utiliza un sistema abierto de mesetas que son volteadas durante un periodo mínimo de 8 semanas en condiciones de temperatura y humedad controladas para la maduración. En esas condiciones se genera un producto denominado sustrato post-cultivo de hongos compostado (SPCH-CO). En este proceso, la biodegradación hace desaparecer el micelio, se homogeneiza y se reduce la humedad del sustrato resultante, modificando los parámetros físico-químicos y la materia orgánica del producto original. Como tratamiento control se utilizó un compost comercial para semillero de horticolas (mezcla de turba negra, turba rubia y compost vegetal).

El procedimiento para preparar los sustratos de hongos, el origen y la composición de mezcla de los materiales fueron siempre los mismos. La composición de SPCH es estable entre lotes a lo largo del tiempo, lo que hace que el producto obtenido sea relativamente homogéneo en cuanto a su composición.

### Descripción del ensayo

En la realización del ensayo se utilizaron los sustratos post-cultivo de hongos, SPCH-Ch, SPCH-St, SPCH-CO y la mezcla de SPCH-Ch y SPCH-St (50 % en peso de cada sustrato) en comparación con un compost comercial, como tratamiento control (Tabla 1). Para evaluar las características químicas y físicas de los tratamientos SPCHs como sustratos de semillero, se determinaron los parámetros químicos: pH y conductividad eléctrica (CE) en solución 1:2,5 (p/v) sobre muestra fresca, determinación de la materia seca (MS) a 105 °C (MAPA, 1994), carbono orgánico mediante el

método de oxidación con dicromato potásico (Walkley y Black, 1934) considerando un factor de recuperación (1,29), el N total por Kjeldahl (MAPA, 1994) y los parámetros físicos determinados sobre muestra fresca (smf): densidad aparente (Da) y densidad real (Dr) en muestras inalteradas de sustrato según Hao *et al.* (2006). La Da se determinó con una probeta, estableciendo la relación entre el peso y el volumen que ocupa, y la Dr se determinó basándose en la metodología del picnómetro, determinando el volumen que ocupa un determinado peso del sustrato. La relación entre ambas densidades permite el calcular de la porosidad total ( $\epsilon$ ) de la muestra.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos y condiciones de humedad inicial para la germinación de los cultivos de lechuga y guindilla.

Table 1. Description of treatments and initial humidity conditions for the germination of lettuce and chilli pepper crops.

Tratamiento	Peso sustrato por alveolo fresco (g)	Humedad inicial (%)	Contenido de agua inicial por alveolo (g)
SPCH-Ch	25	72	18
SPCH-St	17	82	14
SPCH-CO <sup>†</sup>	24	44	13
Mezcla <sup>†</sup>	21	41	12
Compost	17	73	12

SPCH-Ch: sustrato post-cultivo de champiñón; SPCH-St: sustrato post-cultivo de seta; SPCH-CO: SPCH-Ch compostado; Mezcla: SPCH-Ch y SPCH-St; Compost: compost comercial. <sup>†</sup>En el momento inicial a los tratamientos SPCH-CO y mezcla se aportaron 2,5 mL de agua destilada.

La determinación de la retención de agua se realizó según UNE 77332:2003, que consiste en saturar el sustrato en fresco con agua destilada, ocupando todos los poros por agua, y después dejar drenar el agua por gravedad libremente hasta su cese (24-48 h). La diferencia entre el peso del sustrato antes de saturar y tras el drenaje es el agua retenida, expresado en peso fresco del sustrato.

El agua de constitución del sustrato (humedad del sustrato) se obtiene por secado de la muestra fresca a 105 °C.

Para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos en la germinación y en el desarrollo de las plántulas se realizaron ensayos en cámara de germinación durante 40 días con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L., variedad 'Venegia Seminis') recubierta con trata-

miento fungicida (thiram) (16 julio-26 agosto 2019) y semillas de guindilla de Ibarra (*Cap-sicum annuum* L., variedad 'Ibarroria') (5 noviembre-17 diciembre 2019).

Se evaluó la germinación a los 10 días, pero debido a que se observó en determinados tratamientos un retraso en la germinación, se calculó el porcentaje a partir de los datos de conteo de plántulas viables antes de la cosecha. Tras finalizar el ensayo, se recolectaron las plantas y se separó parte aérea y raíz en las que se determinó la biomasa.

Ambos ensayos se desarrollaron en condiciones controladas: 16 h de luz, 25 °C día y

18 °C noche. La humedad ambiental se mantuvo alta, mediante la colocación de bandejas con agua destilada en la parte inferior de la cámara.

Al inicio de cada ensayo se procedió a humectar los tratamientos para conseguir 12-18 g de agua por alveolo para garantizar la germinación (Tabla 2). El riego fue de unas 3 veces por semana, controlando que no se produjera lixiviación.

Cada ensayo constaba de 3 bloques (3 réplicas), uno por bandeja de alvéolos, y en cada bloque 3 semillas por tratamiento (total 9 semillas por tratamiento).

Tabla 2. Caracterización de los principales parámetros químicos de los materiales utilizados como sustratos. Table 2. Characterization of the main chemical parameters of the materials used by substrates.

Material	pH (1:2,5) Ud. pH	CE (1:2,5) dS m <sup>-1</sup>	Materia seca % smf	Carbono orgánico % sms	N total (N mineral) % sms	C/N
SPCH-Ch	7,36 ± 0,01 <sup>c</sup>	10,87 ± 0,06 <sup>b</sup>	29,4 ± 0,9 <sup>b</sup>	29,9 ± 0,5 <sup>c</sup>	2,7 ± 0,07 <sup>a</sup> (0,5)	11
SPCH-St	8,14 ± 0,04 <sup>a</sup>	2,79 ± 0,02 <sup>d</sup>	22,7 ± 0,7 <sup>c</sup>	48,1 ± 0,8 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,03 <sup>d</sup> (0,2)	43
SPCH-CO	7,44 ± 0,20 <sup>c</sup>	11,20 ± 0,20 <sup>a</sup>	54,7 ± 0,4 <sup>a</sup>	24,4 ± 0,3 <sup>d</sup>	1,8 ± 0,04 <sup>c</sup> (0,3)	13
Mezcla	7,93 ± 0,05 <sup>b</sup>	7,62 ± 0,15 <sup>c</sup>	23,3 ± 1,9 <sup>c</sup>	34,0 ± 1,1 <sup>b</sup>	2,1 ± 0,02 <sup>b</sup> (NA)	17
Compost	7,14 ± 0,05 <sup>d</sup>	1,14 ± 0,08 <sup>e</sup>	55,7 ± 1,1 <sup>a</sup>	18,6 ± 0,5 <sup>e</sup>	0,7 ± 0,01 <sup>e</sup> (NA)	27
Significación	***	***	***	***	***	—

SPCH-Ch: sustrato post-cultivo de champiñón; SPCH-St: sustrato post-cultivo de seta; SPCH-CO: SPCH-Ch compostado; Mezcla: SPCH-Ch y SPCH-St; Compost: compost comercial. CE: conductividad eléctrica; smf: expresado sobre material fresca; sms: expresado sobre materia seca, la determinación del carbono orgánico por oxidación considera 58 % de la materia orgánica como carbono orgánico (n = 3 ± desviación estándar). NA: no analizado. N mineral: N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Letras diferentes entre sustratos en cada columna indican diferencias significativas p < 0,05; test de Duncan.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico del programa SAS v8 (SAS Institute, 1999-2001), a partir del análisis de varianza (complementos 1 a 4), considerando los niveles de significación ( $p$ ): \* ( $0,05 \leq p < 0,01$ ); \*\* ( $0,01 \leq p < 0,001$ ); \*\*\* ( $0,001 \leq p < 0,0001$ ). Los valores de  $p > 0,05$ , se consideran no significativos (NS). La separación de medias se realizó mediante el test DUNCAN.

### **Resultados y discusión**

#### **Caracterización química de los materiales utilizados como sustratos para semillero**

Las propiedades químicas de los materiales utilizados (Tabla 2) muestran un pH entre neutro y básico (7,1-8,1), que no supone limitación a la disponibilidad de nutrientes como sustrato de hortícolas. La CE muestra importantes diferencias entre los sustratos utilizados, variando entre  $1,1 \text{ dS m}^{-1}$  a  $11,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Los tratamientos SPCH-Ch y SPCH-CO presentan los mayores valores, lo que condiciona la germinación de las semillas de ambos cultivos (Figura 2). Estos datos están en consonancia con los encontrados por Postemsky y López-Castro (2016), indicando que altos valores de CE están relacionados con los efectos de sequía osmótica y toxicidad por acumulación de sales. El efecto de la salinidad en SPCH-Ch no tuvo efecto cuando su aplicación se realizaba como enmienda en suelo para la producción de lechugas (Paredes *et al.*, 2016), presumiblemente por un efecto de dilución en el suelo.

En relación al contenido de MS, los sustratos SPCH-CO y compost presentaron alrededor del doble (~55 %) respecto al resto (29-23 %). En general, la pérdida de peso de los sustratos depende de la fuente de carbono de partida (Owaid *et al.*, 2017). Estas diferencias van a tener implicaciones desde el punto de vista del manejo y transporte de estos mate-

riales. Los resultados obtenidos en relación al contenido de carbono orgánico y N total muestran diferencias entre todos los tratamientos, destacando el SPCH-St con el mayor contenido de carbono y un bajo contenido de N total, lo que conduce a una alta relación C/N superior a 40. La relación C/N es un indicador químico apropiado para conocer la estabilidad de un sustrato vegetal. El valor de esta relación no debería ser mayor a 30, ya que en valores superiores los microorganismos pueden inmovilizar el N, compitiendo por este nutriente con la planta (Dar *et al.*, 2009). En estos casos, la adición de N mineral al sustrato evitaría su inmovilización (Postemsky y López-Castro, 2016). El compost comercial fue el que menor contenido de carbono orgánico y N total presentó, con una relación C/N ligeramente por debajo de 30. El resto de los tratamientos presentaron relaciones C/N entre 11 y 17, que favorecen la disponibilidad de N para el cultivo.

El contenido de N mineral en SPCH-Ch se presentó en forma amoniacal, representando un 19 % del N total. Este valor puede ser atribuido en parte a la presencia de gallinaza en su composición inicial. En el caso de SPCH-CO, el proceso de compostaje supuso una reducción del N mineral atribuido a las pérdidas que se producen durante el proceso y a la mineralización de parte del N amoniacal a nitrato (Wong *et al.*, 2017).

#### **Caracterización física de los materiales utilizados como sustratos para semillero**

Los parámetros físicos como densidad (real y aparente), retención de agua, espacio de aire y porosidad total se muestran en la Tabla 3 y Figura 1.

Aunque no hay aceptados unos estándares en relación a las propiedades físicas de los sustratos, algunos autores han observado los rangos óptimos más utilizados para horticultura (Yeager *et al.*, 1997; Bilderback *et al.*, 2005). Estos rangos expresados en volumen

Tabla 3. Valores medios de la densidad aparente (Da), real (Dr), porosidad total (ε) y retención de agua del material utilizado.

Table 3. Average values of the bulk (Da), real (Dr) density, total porosity (ε) and water retention of the material used.

Material	Da kg smf m <sup>-3</sup>	Dr kg smf m <sup>-3</sup>	ε % (v/v)	Agua retenida kg agua t <sup>-1</sup> smf
SPCH-Ch	472 ± 36 (140) <sup>b</sup>	1050 ± 137 <sup>ab</sup>	54,5 ± 6,9 <sup>c</sup>	649 ± 72 <sup>c</sup>
SPCH-St	224 ± 13 (50) <sup>d</sup>	964 ± 21 <sup>b</sup>	76,9 ± 1,2 <sup>a</sup>	820 ± 108 <sup>b</sup>
SPCH-CO	640 ± 34 (350) <sup>a</sup>	1148 ± 64 <sup>a</sup>	44,2 ± 0,9 <sup>d</sup>	606 ± 89 <sup>c</sup>
Mezcla	387 ± 24 (90) <sup>c</sup>	979 ± 56 <sup>b</sup>	60,5 ± 3,5 <sup>b</sup>	486 ± 18 <sup>d</sup>
Compost	472 ± 4 (263) <sup>b</sup>	1116 ± 58 <sup>a</sup>	57,7 ± 1,9 <sup>bc</sup>	952 ± 25 <sup>a</sup>
Significación	***	**	***	***

SPCH-Ch: sustrato post-cultivo de champiñón; SPCH-St: sustrato post-cultivo de seta; SPCH-CO: SPCH-Ch compostado; Mezcla: SPCH-Chy SPCH-St; Compost: compost comercial. smf: sobre materia fresca; n = 6 ± desviación estándar. Valor entre paréntesis de la columna de Da es expresado kg sms m<sup>-3</sup>.

Letras diferentes entre sustratos en cada columna indican diferencias significativas p < 0,05; test de Duncan.

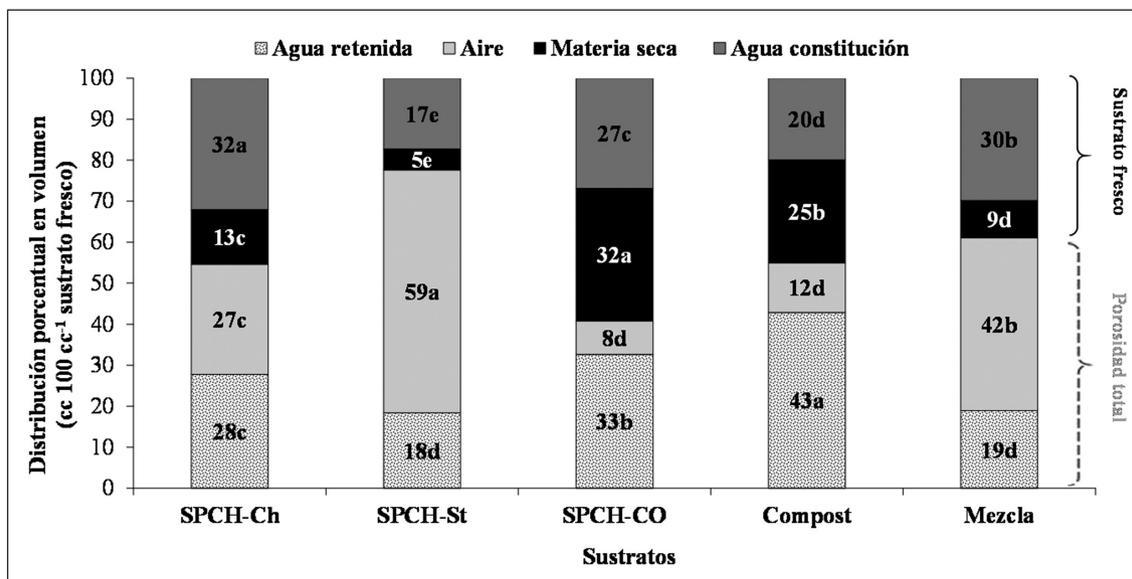


Figura 1. Distribución porcentual en volumen (n = 6) en porosidad total: agua retenida tras 24 h de drenaje y el volumen de aire, y sustrato fresco: materia seca y el agua de constitución (secado sustrato a 105 °C). SPCH-Ch: sustrato post-cultivo de champiñón; SPCH-St: sustrato post-cultivo de seta; SPCH-CO: SPCH-Ch compostado; Mezcla: SPCH-Ch y SPCH-St; Compost: compost comercial. Letras diferentes entre sustratos en cada parámetro indican diferencias significativas (p < 0,05; test de Duncan).

Figure 1. Percentage of distribution in volume (n = 6) in total porosity: water retained after 24 h of drainage and the volume of air, and fresh substrate: dry matter and constitution water (drying at 105 °C). SPCH-Ch: Agaricus mushroom substrate; SPCH-St: Pleurotus mushroom substrate; SPCH-CO: composting of SPCH-Ch; Mezcla: mixture of SPCH-Ch and SPCH-St; Compost: commercial compost. Different letter between substrates in each parameter indicate significant differences (p < 0,05; test de Duncan).

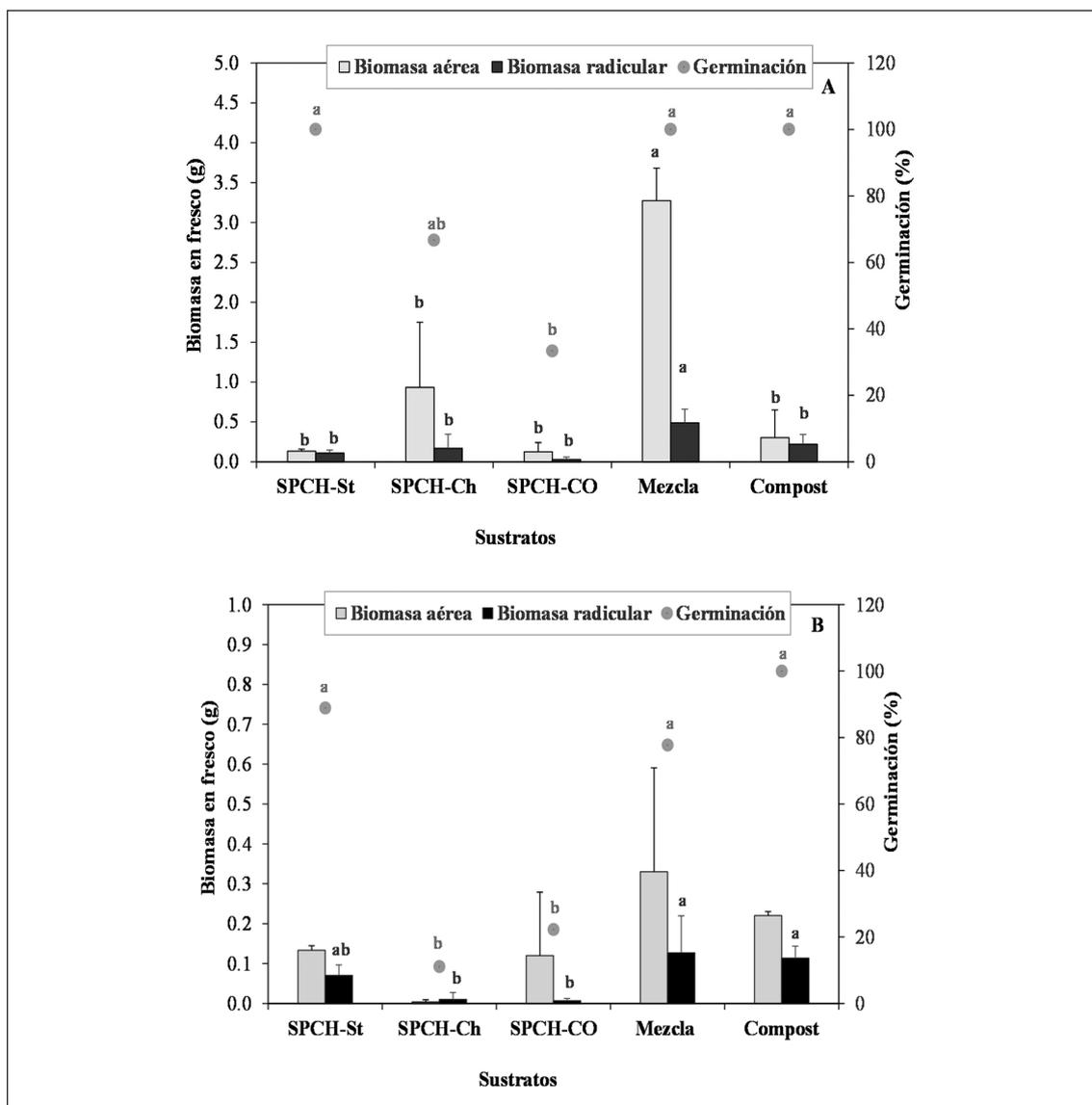


Figura 2. Valores medios ( $n = 3$ ) de los parámetros evaluados de biomasa en fresco en lechuga (A) y en guindilla (B) al final del ensayo. Barras representan la desviación estándar.

SPCH-St: sustrato post-cultivo de seta; SPCH-Ch: sustrato post-cultivo de champiñón; SPCH-CO: SPCH-Ch compostado; Mezcla: SPCH-Ch y SPCH-St; Compost: compost comercial. Letras diferentes entre sustratos en cada parámetro indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ; test de Duncan).

Figure 2. Average values ( $n = 3$ ) of the parameters evaluated for fresh biomass in lettuce (A) and chili pepper (B) after the experiment. Bars represent the standard deviation.

SPCH-Ch: Agaricus mushroom substrate; SPCH-St: Pleurotus mushroom substrate; SPCH-CO: composting of SPCH-Ch; Mezcla: mixture of SPCH-Ch and SPCH-St; Compost: commercial compost. Different letter between substrates in each parameter indicate significant differences ( $p < 0.05$ ; test de Duncan).

son: porosidad total entre 50 % y 85 %, espacio de aire entre 10 % y 30 %, agua disponible de 25 % a 35 %, agua no disponible (agua de constitución) entre 20 % y 35 % y densidad aparente expresado sobre materia seca (sms) entre 150 kg sms m<sup>-3</sup> y 700 kg sms m<sup>-3</sup>. En relación a los valores obtenidos en este ensayo, la porosidad total en todos los sustratos está en el rango propuesto, excepto SPCH-CO (44 %) que presenta un valor ligeramente inferior. En pequeños volúmenes de contenedor, el sustrato debe poseer una máxima retención de agua sin perder capacidad de aireación (Ansorena Miner, 1994). Por ello, ambas propiedades físicas, la porosidad ocupada por el aire junto con la retención de agua de los sustratos son consideradas importantes propiedades cuando los sustratos son utilizados en contenedores pequeños, debido a su impacto en las condiciones de las plantas para garantizar el adecuado suministro de oxígeno y agua. En relación al espacio de aire el SPCH-St y la mezcla, superan el límite del rango óptimo (59 % y 42 % respectivamente vs. óptimo 10-30 %), y presentan valores inferiores al rango óptimo, tanto en relación al agua disponible (18 % y 19 % respectivamente vs. óptimo 25-35 %, equivalente expresado sobre materia fresca (smf) a 820 kg agua t<sup>-1</sup> smf y 486 kg agua t<sup>-1</sup> smf) como en la Da (50 kg sms m<sup>-3</sup> y 90 kg sms m<sup>-3</sup>). Estas diferencias posiblemente estarían asociadas a la presencia de macroporos, en el SPCH-St, es identificable visualmente la presencia de paja (poco evolucionada).

Por el contrario, SPCH-CO presenta un porcentaje de aire ligeramente inferior (8 % vs. óptimo 10-30 %), si bien el porcentaje de retención de agua es ligeramente superior (43 % vs. óptimo 25-35 %) a los valores óptimos. La propiedad de retención de agua de un sustrato se relaciona con la mayor proporción de poros de pequeño tamaño, por su capacidad para adsorber agua en sus paredes y la forma de las partículas (Postemsky y López-Castro, 2016). Por lo que el origen de los

materiales orgánicos afecta a la porosidad y la capacidad de retención de agua del sustrato, presumiblemente asociado la forma y el tamaño de las partículas (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2018). Un proceso de triturado o picado condiciona el tamaño de partícula por lo que en estos tratamientos, SPCH-St y mezcla, este proceso además de uniformizar el producto y reducir los macroporos, incrementaría la Da y favorecería la retención de agua (Postemsky y López-Castro, 2016).

En ese sentido, en relación a las propiedades físicas de los sustratos, el tratamiento menos adecuado sería el SPCH-St para su utilización en fresco, debido a que esta fuera de todos los rangos en los parámetros analizados excepto en porosidad total de acuerdo con los estándares para un sustrato óptimo según Yeager *et al.* (1997) y Bilderback *et al.* (2005).

Las propiedades físicas de los sustratos se evaluaron antes de realizar el semillero, un hecho a considerar cuando se utilizan SPCH para cultivar plantas en contenedores debido a la baja estabilidad de MO, la Da y la porosidad, parámetros que pueden resultar afectados a lo largo del cultivo vegetal y esto es perceptible porque el sustrato “se contrae” en el contenedor (Postemsky y López-Castro, 2016). Esta reducción del volumen de los sustratos en el alveolo fue detectado visualmente en todos los tratamientos, incluido el sustrato comercial a medida que transcurría el tiempo en ambos ensayos.

#### **Efecto de los diferentes tratamientos en la germinación y plántula**

En referencia a la germinación de lechuga a los 10 días, los tratamientos SPCH-St, mezcla y compost germinaron las 9 semillas (100 %), en los tratamientos con SPCH-Ch y SPCH-CO solo germinaron 1 de 9 semillas por tratamiento. Pero al final de este ensayo en estos tratamientos germinaron 6 de 9 semillas en el SPCH-Ch y 3 de 9 en SPCH-CO (67 % y 33 %

respectivamente), lo que supone que se produjo un retraso en la germinación. En estudios realizados con frijoles, los autores encontraron el máximo de germinación después de 21 días independientemente del sustrato utilizado (Harp *et al.*, 2015). En el ensayo de guindilla, la germinación fue evaluada al final del ensayo y mostró que el tratamiento compost fue el único en que germinaron 100 % de las semillas; en SPCH-St y mezcla, germinaron 8 y 7 semillas de 9 por cada tratamiento respectivamente (89 % y 78 % respectivamente), y en SPCH-Ch y SPCH-CO solo germinaron 1 y 2 de 9 semillas por tratamiento (11 % y 22 % respectivamente). En estos dos últimos tratamientos, en ambos ensayos el efecto supresor de la germinación (Figura 2) se atribuye a la salinidad debido a sus altos valores en CE (Tabla 1) que afectarían significativamente a la germinación de la semilla.

La biomasa (aérea y radicular), presentó valores significativamente mayores en el tratamiento mezcla respecto al resto de tratamientos, en el ensayo de lechuga. En el caso de la guindilla, también el mayor valor de biomasa se obtuvo en la mezcla, pero no se detectaron diferencias presumiblemente por la elevada variabilidad entre repeticiones.

Considerando la baja disponibilidad de N mineral en SPCH-St, asociada a su alta relación C/N y la elevada salinidad del SPCH-Ch y SPCH-CO que podrían afectar al desarrollo de los cultivos evaluados, la mezcla SPCH-St y SPCH-Ch supone una adecuada opción que además de reducir la salinidad y la relación C/N incorpora N mineral en forma amoniacal.

La sensibilidad del cultivo hortícola puede ser determinante para la respuesta del cultivo al sustrato utilizado, Collela *et al.* (2019) evaluaron SPCH-St como sustrato para semillero y obtuvieron plántulas de tomate vigorosas y de calidad como en los sustratos comerciales testados. También la utilización de SPCH mezclado con residuos de digestión anaerobia produjo buenos resultados en semillero

de hortícolas para tomate y pimiento (Meng *et al.*, 2018). Estos autores concluyeron que su utilización como medio de crecimiento puede reemplazar la turba para la producción de estas especies.

Cuando el SPCH es mezclado con turba en diferentes proporciones para semillero en lechuga, la mezcla del 50 % de SPCH, presentó mejores valores en relación al crecimiento de lechuga que cuando se usó solo turba, aunque sin diferencias significativas entre ellos ni en las distintas mezclas (Liu *et al.*, 2018).

En nuestro caso, el tratamiento mezcla de sustratos utilizados presentó una buena germinación y los mejores valores en relación al desarrollo de planta (biomasa aérea y radicular) respecto al resto de los tratamientos SPCH evaluados, con valores iguales o superiores al sustrato comercial (Figura 2) en lechuga y guindilla.

## Conclusiones

La biomasa obtenida en todos los tratamientos mostró valores similares a los obtenidos con el sustrato comercial. Los sustratos post-cultivo de hongos de champiñón fresco y compostado (SPCH-Ch; SPCH-CO) afectaron negativamente a la nascencia de la lechuga y guindilla, debido posiblemente a su alta salinidad, por lo que no sería recomendable su utilización directa en semillero, en cultivos sensibles a salinidad. Sería conveniente realizar lavados para reducir la salinidad o utilizar mezclas con otros sustratos. El uso de SPCH-St debido a su elevada relación C/N, limitaría la disponibilidad de N mineral para el desarrollo del cultivo, siendo preciso el aporte de N en forma de fertilización mineral.

La mezcla de sustratos de champiñón y seta en fresco, combina las propiedades positivas de ambos sustratos, y produjo los mayores rendimientos de biomasa en las plántulas de

lechuga. En el caso de las guindillas, no se observaron diferencias respecto al sustrato comercial asociadas a la variabilidad entre repeticiones.

Los resultados obtenidos confirman la posibilidad de reutilizar estos materiales para su uso como sustrato en semillero. Sería aconsejable realizar pruebas con diferentes dosis de mezcla de cada sustrato asociadas al cultivo a utilizar, y considerar un triturado previo para favorecer la uniformidad de la mezcla, reducir la macroporosidad e incrementar la retención de agua.

### Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL <https://doi.org/10.12706/itea.2021.004>

### Agradecimientos

Al laboratorio del departamento Agroambiental del Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural (IMIDRA), y Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón (CTICH) de La Rioja por la provisión de los sustratos.

Este trabajo ha sido financiado por un contrato NEIKER-IMIDRA en el marco del proyecto RTA 2015-00060-C04-04, financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y el fondo FEDER de la Unión Europea. Dra. M.R. Yagüe es beneficiaria de un contrato posdoctoral del programa DOC-INIA (Ref.DOC 2015-021), financiado por el INIA, Ministerio de Ciencia e Innovación, y Fondo Social Europeo, y cofinanciado por el IMIDRA.

Parte de esta información ha sido publicada en el congreso SECS 2019.

### Referencias bibliográficas

- Ansorena Miner J (1994). Sustratos propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172pp.
- Bilderback TE, Warren SL, Owen JS, Albano JP (2005). Healthy substrates need physicals too! HortTechnology 15:747-751. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.4.0747>.
- BOE (2010). Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. Ministerio de la Presidencia. Boletín Oficial del Estado, núm. 170, de 14 julio de 2010, pp. 61831-61859.
- BOE (2016). Orden PRA/1943/2016, de 22 de diciembre, por la que se modifican los anexos I, II, IV y VI del Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. Boletín Oficial del Estado, núm. 309, de 23 de diciembre de 2016, pp. 89958-89960.
- Collela CF, Martínez Abreu Soares Costa LM, Junqueira de Moraes TS, Cunha Zied D, Lee Rinker D, Souza Dias E (2019). Potential utilization of spent *Agaricusbiporus* mushroom substrate for seeling production and organic fertilizer in tomato cultivation. Ciência e Agrotecnologia 43: e017119. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943017119>.
- Dar SR, Thomas T, Khan IM, Dagar JC, Quadar A, Rashid M (2009). Effect of nitrogen fertilizer with mushroom compost of varied C:N ratio on nitrogen use efficiency, carbon sequestration and rice yield. Communications in Biometry and Crop Science 4 (1): 31-39.
- EU (2019). Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. On the implementation of the Circular Economy Action Plan. Disponible en: [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/report\\_implementation\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/report_implementation_circular_economy_action_plan.pdf) (Consultado: 13 octubre 2020).
- FAOSTAT (2019). Mushrooms and truffles, production quantity (tons) Disponible en: <http://www.factfish.com/statistic/mushrooms%20and%20truffles%2C%20production%20quantity> (Consultado: 13 de octubre 2020).

- Finney KN, Ryu C, SharifiVN, Swithenbank J (2009). The reuse of spent mushroom compost and coal tailing for energy recovery: comparison of thermal treatment technologies, *Bioresource Technology* 100:310-315. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.054>.
- Gayosso-Rodríguez S, Borges-Gómez L, Villanueva-Couoh E, Estrada-Botello MA, Garruña, R (2018). Physical and chemical characterization of organic materials for agricultural substrates. *Agrociencia* 52: 639-652.
- Grimm D, WöstenHAB (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102:7795-7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>.
- Hanafí FHM, Rezanía S, Taib SM, Din MFM, Yamachi M, Sakamoto M, Hara H, Park J, Ebrahimi, SS (2018). Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 20: 1383-1396. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0739-0>.
- Harp DA, Chen Ch, Jones C (2015). Physical characteristics of and seed germination in commercial green roof substrates. *HortTechnology* 25(2): 221-227. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.2.221>.
- Hao X, Ball BC, CulleyJLB, Carter MR, Parkin GW (2006). Chapter 57 soil density and porosity. En: *Soil sampling and methods of analysis 2nd*. (Eds. MR Carter, EG Gregorich), pp. 743-759. Canadian Society of soil Science. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Industry Report (2018). Global mushroom market size, market share, application analysis, regional Outlook, growth trends, key players, competitive strategies 2018 to 2026. Industry Report 2022. ID: 4620326. Research and Markets. The world's largest market research store.
- Jasińska A (2018). Spent mushroom compost (SMC) – retrieved added value product closing loop in agricultural production. *Acta Agraria Debreceniensis* 150: 185-202. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1715>.
- Kulshreshtha S (2019). Removal of pollutants using mushrooms substrates. *Environmental Chemistry Letters* 17: 833-847. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00840-2>.
- Liu CJ, DuanYL, JinRZ, Han YY, Hao JH, Fan SX (2018). Spent mushroom substrates as component of growing media for lettuce seeding. *IOP Conference series: Earth and Environmental Science* 185: 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/185/1/012016>.
- MAPA (1994). Métodos oficiales de análisis. Tomo III: Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas para el riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Servicio de Publicaciones, Madrid, pp. 205-285.
- Meng X, Dai J, Zhang Y, Wang X, Zhu W, YuanX, Yuan H, Cui Z (2018). Composed biogas residue and spent mushroom substrate as growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management* 216: 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.056>.
- Owaid MN, Abed IA, Al-Saeedi SSS (2017). Applicable properties of the bio-fertilizer spent mushroom substrate in organic systems as a byproduct from the cultivation of *Pleurotus* spp. *Information Processing in Agriculture* 4: 78-82. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.01.001>.
- Pardo-Giménez A (2008). Reutilización del sustrato agotado en la producción de hongos comestibles cultivados. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 104(3): 360-368.
- Paredes C, Medina E, Bustamante MA, Moral R (2016). Effects of spent mushroom substrates and inorganic fertilizer on the characteristics of a calcareous clayed-loam soil and lettuce production. *Soil Use and Management* 32:487-491. <https://doi.org/10.0111/sum.12304>.
- Postemsky PD, López-Castro RI (2016). Aplicaciones del sustrato residual de hongos a la producción hortícola. *Horticultura Argentina* 35 (86): 44-63.
- Rinker DL (2017). Spent mushroom substrate uses. En: *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*. (Ed. Zied DC, Pardo-Giménez A.), pp. 427-454. Wiley-Blackwell, West Sussex, England. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch20>.

- Royse DJ, Baars J, Tan Q (2017). Current overview of mushroom production in the world. En: *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications* (Ed. Zied DC, Pardo-Giménez A.), pp. 5-13. Wiley-Blackwell, West Sussex, England. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>.
- SAS Institute Inc. (1999-2001). SAS/TAT. Software B8.2. Cary, NC, USA.
- Stewart-Wade SM (2020). Efficiency of organic amendments used in containerized plant production: part 1-compost-based amendments. *Science Horticulturae* 266: 108856. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108856>.
- UNE 77332: 2003. Calidad de suelo: sistemas de incubación de laboratorio para la medida de la mineralización de compuestos orgánicos presentes en el suelo bajo condiciones aeróbicas.
- Walkley A, Black IA (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic carbon matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.
- Wong JWC, Wang X, Selvam A (2017). Improving compost quality by controlling nitrogen loss during composting. En: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (Ed. Wong JWC, Tyagi RD, Pandey A), pp. 59-82. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63664-5.00004-6>.
- Yeager T, Gilliam C, BilderbackTE, Fare D, Niemiera A, Tilt K (1997). Best management practices, guide for producing container-grow plants. Maryland Nutrient Management Manual. Southern Nursery Ass., Atlanta. USA.

(Aceptado para publicación el 26 de enero de 2021)