
HORTICULTURA

Aplicaciones de sustrato residual del cultivo de hongos en la producción hortícola

Postemsky, P. D.*; López-Castro, R. I.

CERZOS-CONICET-UNS (Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Universidad Nacional del Sur), Bahía Blanca, Argentina. * Pablo Daniel Postemsky: pablop@criba.edu.ar

Recibido: 01/12/2015

Aceptado: 16/08/2016

RESUMEN

Postemsky, P. D.; López-Castro, R. I. 2016. Aplicaciones de sustrato residual del cultivo de hongos en la producción hortícola. Horticultura Argentina 35(86): 44-63.

El cultivo de hongos comestibles y medicinales crece y a su paso genera considerables volúmenes de sustrato degradado por hongos (SDH). Dicho cultivo implica una fermentación en estado sólido (FES), con aparición de metabolitos fúngicos y la consecuente biodegradación de materiales lignocelulósicos. La FES acelera la mineralización de la materia orgánica; como resultado, el SDH final es más estable que el sustrato original. Las propiedades del SDH dependen en gran medida de si, previo a la inoculación del hongo, el sustrato es compostado o sólo descontaminado. El primer caso aplica a hongos más exigentes en cuanto a componentes orgánicos de la materia. El segundo, a especies más adaptables a diferentes materiales, a su vez las más adoptadas por pequeños y medianos productores. Finalizado el cultivo, el SDH se retira del lugar de producción. Dependiendo de su uso ulterior, habrá que disponerlo bajo

ciertas condiciones de almacenamiento y adecuación fisicoquímica. Para su uso en horticultura es especialmente necesaria la reducción del tamaño de partícula y la dilución del exceso de sales. Esta revisión tiene como objetivo general poner en relieve el potencial de los SDH como recurso valioso. En particular, se describen sus propiedades físicas y químicas y sus aplicaciones en sistemas de producción hortícola. Entre éstas destacan: sustrato para plantines, enmienda de suelos y biofertilizante.

Palabras claves:

Agaricus sp., biotransformación, fermentación en estado sólido, *Ganoderma lucidum*, humificación, lignocelulosa, *Pleurotus sp.*

Abreviaturas:

CRH: compost residual del cultivo de hongos descomponedores secundarios; SDH: sustrato degradado por hongos; SRH: sustrato residual del cultivo de hongos descomponedores primarios.

ABSTRACT

Postemsky, P. D.; López-Castro, R. I. 2016. Applications of mushrooms residual substrate in horticultural production. Horticulture Argentina 35 (86): 44-63.

The cultivation of edible and medicinal mushrooms generates large volumes of substrate degraded by fungi (SDF). Mushroom cultivation implies a solid-state fermentation (SSF) with production of fungal metabolites and the consequent biodegradation of lignocellulosic materials. SSF accelerates organic matter mineralization; therefore, at the end of the cultivation cycle, SDH has greater stability than the original substrate. SDF properties depend largely on whether prior to inoculation of the mushroom species, the starting substrate is composted or just decontaminated. In the first case, the cultivated mushroom species are more substrate-sensitive. In the latter, the mushroom species used are more substrate-adaptable, and are the most widely adopted

by small and medium-sized producers as well. After mushroom cultivation, SDF is removed from the production site. Henceforth, depending on its further use, certain storage conditions should be observed, and physical and/or chemical conditioning is usually needed. In horticulture, particle size reduction and dilution of excess salts, by mixing with other materials or leaching, are especially required. The aim of this review is to highlight SDF's potential as a valuable resource. Particularly, the physical and chemical properties of SDF reported in the literature are summarized, and its different uses evaluated in horticultural systems are described. Among these are: substrate for seedlings, soil amendment and biofertilizer.

Keywords:

Agaricus sp., biotransformation, *Ganoderma lucidum*, humification, lignocelullose, *Pleurotus sp.*, solid-state fermentation.

1. Introducción

La obtención de una tonelada de hongos en sustratos acondicionados conlleva la producción de otra (o más) de sustrato degradado por hongos (SDH) (Rinker, 2002). Se entiende por sustratos acondicionados aquellos que son diseñados considerando las propiedades físicas y químicas de los componentes de la formulación (se excluye de este grupo al sustrato de hongos cultivados en troncos). Tiempo atrás, al SDH se lo denominaba “sustrato gastado” en referencia a qué parte de sus constituyentes se agotaban al ser utilizados como fuente de nutrientes por el hongo en cultivo. Hoy en día, el SDH es considerado un residuo valioso, como fuente de materia prima para nuevos procesos (Sánchez & Royse, 2001).

Los sustratos empleados para el cultivo de hongos suelen ser residuos lignocelulósicos y/o subproductos agroindustriales de bajo valor como ser: paja y/o salvado de trigo o arroz, bagazo de caña de azúcar, “cáscara” (pericarpio) de girasol, restos de té, pastos, orujo de uva, cápsulas de algodón y viruta de forestales, entre otros (Tabla 1). Es por la utilización de este tipo de biomasa que el cultivo de hongos se considera un tipo de “tecnología amigable con el medio ambiente”, ya que permite reciclar una gran cantidad de biomasa de difícil disposición.

El bioproceso del cultivo de hongos en sustratos acondicionados es conocido técnicamente como *fermentación en estado sólido* (FES). La FES es un sistema eficiente para el crecimiento de microorganismos cuando es necesario emplear grandes cantidades de biomasa. El mismo tiene la

particularidad de que el sustrato es también la matriz donde crece el microorganismo. El agua no está en forma libre sino adsorbida sobre la superficie de las partículas, y los poros intersticiales forman una red que permite el libre intercambio gaseoso, necesario para el crecimiento aeróbico (Woiciechowski *et al.*, 2014).

En estas condiciones, el micelio degrada y/o absorbe nutrientes del sustrato a la vez que lo explora. El espacio intersticial es ocupado hasta el momento en que existe una o varias señales como agotamiento de nutrientes, cambios en la temperatura, luz, concentraciones de gases y/o humedad. A partir de esta situación, se inicia el proceso reproductivo con la formación de las estructuras iniciales de los basidiomas. Los cuerpos de fructificación de los hongos continúan su crecimiento con la movilización de los nutrientes acumulados en el micelio. En conjunto, la FES y la producción de basidiomas, generan en el sustrato cambios importantes como reducción de la densidad, del espacio intersticial, de la fracción de lignina y de carbohidratos mientras que se incrementa la mineralización. En otras palabras, las propiedades iniciales del sustrato antes de la inoculación serán considerablemente distintas a las obtenidas en el SDH.

1.1 Especies de hongos cultivadas

La producción mundial de hongos en sustratos acondicionados alcanza 10 millones de toneladas (FAO Stats, 2013). Entre las principales especies cultivadas se encuentran: el champiñón (*Agaricus bisporus*), los hongos ostra o gírgolas (*Pleurotus* spp.) y el shiitake (*Lentinus edodes*). Existen además alrededor de otras 12 especies cultivables entre las que se destacan algunas con propiedades medicinales como el reishi (*Ganoderma lucidum*), el champiñón brasileiro (*Agaricus subrufescens*), y el maitake (*Grifola frondosa*) (Tabla 1).

En Argentina, los principales cultivadores de hongos se encuentran en las zonas del Gran Buenos Aires, Costa Atlántica (Necochea, Bahía Blanca), Alto Valle del Río Negro y Neuquén. La mayor producción está ligada a un número menor de cultivadores de *A. bisporus* que emplean como sustrato paja de trigo y camas de animales. Los microemprendedores, son más numerosos y optan preferentemente por el cultivo de *Pleurotus* spp. En este último caso, emplean agro-residuos regionales como paja de trigo, “cáscara” de girasol y virutas de álamo (Dr. Ramiro González Matute, comunicación personal; Albertó *et al.*, 2010).

Tabla 1. Producción mundial de hongos empleando sustratos acondicionados.

Espece	Producción toneladas ^z	Método de preparación del sustrato	Componente principal del sustrato
<i>Agaricus bisporus</i>	1.300.000 Asia 380.000 EEUU	Compostado.	Paja de trigo y deyecciones de animales.
<i>Pleurotus</i> spp.	2.600.000 Asia 2.500 EEUU	Pasteurizado.	Virutas de forestales y paja de trigo.
<i>Lentinus edodes</i>	2.300.000 Asia 4.000 EEUU	Axénico. Pasteurizado. Inoculación de troncos.	Virutas de forestales.
<i>A. subrufescens</i>	- ^y -	Compostado.	Paja de trigo y deyecciones de animales.
<i>Volvariella volvacea</i>	- -	Inoculación de camas de paja.	Paja de arroz.
<i>Ganoderma</i> spp.	- -	Pasteurizado. Inoculación de troncos.	Virutas de forestales y paja de trigo.

^z Valores aproximados, tomados de Chang (2008).

^y No determinado o no hay valores disponibles.

1.2 Técnicas de cultivo y sustratos lignocelulósicos empleados

Las técnicas de cultivo de hongos en sustratos acondicionados pueden darse bajo las modalidades de cultivo en sustratos descontaminados, o bien en sustratos compostados (Fig. 1). La selección entre uno u otro tipo depende del metabolismo de biodegradación de la especie fúngica seleccionada, si es más generalista (metabolismo descomponedor primario) o más especializado (metabolismo descomponedor secundario). El primer caso se utiliza con hongos capaces de degradar eficientemente la lignocelulosa y la descontaminación se realiza mediante calor (pasteurización por vapor de agua o inmersión en agua caliente), alcalinización o uso de desinfectantes. Al SDH resultante se lo denominará, en adelante, *sustrato residual del cultivo de hongos* (SRH). El segundo caso se utiliza para una de las especies más cultivadas, el *A. bisporus* y por ende en esta modalidad se encuentra la mayor cantidad de SDH producido. Como éste es derivado del proceso de compostaje, se lo denominará, en adelante, *compost residual del cultivo de hongos* (CRH).



Figura 1. Técnicas de cultivo de hongos en sustratos acondicionados.

A) Descontaminación del sustrato por calor (pasteurización), empleando el sistema de tambor giratorio y llenado de bolsas plásticas con sustrato inoculado; B) fructificaciones de *Ganoderma lucidum* en nave de cultivo. C) Compostaje de sustrato para el cultivo de *Agaricus* spp. en un tanque plástico; D) Desarrollo de fructificaciones de *A. subrufescens* cultivado en compost a base de “cáscara” (pericarpio) de girasol.

2. Propiedades físicas, químicas y biológicas del SRH y del CRH

A continuación, se discuten las propiedades físicas, químicas y biológicas de los SDH (SRH y CRH) que poseen mayor importancia para considerar su uso en horticultura.

2.1 Físicas

En la Tabla 2 se muestran valores representativos de propiedades físicas, correspondientes al CRH de una especie cultivada con el método de compostaje (*A. bisporus*) y a los SRH del cultivo de otras dos especies en sustratos descontaminados (*P. ostreatus* y *G. lucidum*). Asimismo, en la Tabla 2, se dan las definiciones de las variables.

En general, los SDH tienen baja densidad aparente (DA), *i.e.* peso seco por unidad de volumen de material (incluyendo el espacio volumétrico ocupado por poros). Esta propiedad es de utilidad durante la elaboración de sustratos (ya sea con o sin suelo) ya que el agregado de materiales de baja DA, en general, disminuye la misma en la mezcla. Dentro de cierto rango, esto suele ser deseable por facilitar la manipulación de los contenedores con sustrato (Burés, 1997). La baja DA se debe, en parte, a la alta porosidad efectiva que puede ser superior incluso a los niveles óptimos o aceptables de un sustrato, de 85%. Por caso, el CRH de *A. bisporus* posee 80 a 90 % de porosidad efectiva, mientras que el SRH de *G. lucidum* 91 a 95% (Tabla 2).

El tamaño de los poros incide en el reparto de porosidad ocupada por aire *vs.* la ocupada por agua. A mayor presencia de partículas grandes, existirán también poros mayores lo cual implica

mayor proporción de porosidad ocupada por aire. El tamaño de partícula está afectado por el desmenuzado y/o picado del SDH, una variable a considerar en el momento de realizar la preparación del sustrato. La forma de las partículas afecta la porosidad, por ejemplo, en general se observa que las formas fibrosas incrementan la porosidad ocupada por aire (Ansorena Miner, 1994). En el caso de SDH las formas son muy variables, yendo desde las fibrosas (pajas), a las astillosas (cáscaras, virutas).

Un hecho a considerar cuando se usa SDH para cultivar plantas en contenedores es que, debido a la baja estabilidad de su materia orgánica, la DA y la porosidad pueden verse afectadas a lo largo del cultivo vegetal. Esto es perceptible porque el sustrato “se contrae” dentro del contenedor. Experimentos con CRH de *A. bisporus* demostraron que para disminuir este efecto se pueden emplear mezclas del SDH con arena y con turba (o corteza) en una relación 1:1:3 (Chong & Rinker, 1994).

La mojabilidad es la capacidad de hidratación de los materiales. Los principales sustratos de origen orgánico (turba, cortezas de pino) usados para el cultivo de plantas, así como los SDH, no poseen buenas propiedades de mojabilidad, esto significa que tardan más de 10 minutos en humectarse. La propiedad de retención de agua está relacionada con la mayor proporción de poros pequeños, las propiedades de adsorción de agua en las paredes de dichos poros y la forma de las partículas. Al respecto, la materia orgánica vegetal en los SRH está en menor grado de descomposición que en los CRH, por lo cual presenta mayor proporción de sustancias hidrófobas como ceras y ligninas y, por ende, menor capacidad de adsorción del agua. Las paredes celulares del micelio pueden a su vez exhibir diferente afinidad por el agua. Por ejemplo, en general y bajo similares condiciones de cultivo y sustrato, el SRH de *P. ostreatus* se hidrata más rápido y se desmenuza fácilmente, mientras que el SRH de *G. lucidum* exhibe una capa de micelio hidrófoba y el sustrato es resistente al desmenuzamiento (Postemsky *et al.*, 2016, observaciones personales de los autores).

Por otra parte, si bien el CRH de *A. bisporus* está más biodegradado, tampoco es un sustrato que se caracterice por una adecuada mojabilidad (Chong & Rinker, 1994).

Tabla 2. Propiedades físicas de algunos sustratos degradados por hongos. CRH: compost residual del cultivo de hongos descomponedores secundarios. SRH: sustrato residual del cultivo de hongos descomponedores primarios.

Propiedades físicas	Sustrato en niveles óptimos para cultivo de plantas en contenedor ^z	CRH		SRH <i>Pleurotus ostreatus</i> ^w	SRH <i>Ganoderma lucidum</i> ^v
		<i>Agaricus bisporus</i>			
		Sustrato A ^y	Sustrato B ^x		
Densidad aparente (g·cm ⁻³)	<0,4	0,15	0,22-0,26	0,11 (0,11)	0,14-0,18
Porosidad efectiva (%)	>85	82	84-90	87 (87) ^u	92-95
Porosidad ocupada por agua (%)	55-70	-	41-55	26 (27)	25-20
Porosidad ocupada por aire (%)	10-30	61	31-45	60 (59)	67-76
Humedad relativa (%)	-	20	-	47 (44)	8

Materia seca (%)	-	-	53-55	-	-
Índice de grosor (% partículas > 1 mm)	<50	-	-	-	60-93

Densidad aparente: relación entre el peso seco y el volumen de las partículas de sustrato, incluyendo los poros. *Porosidad efectiva*: porcentaje del volumen de un sustrato ocupado por poros interconectados. *Porosidad ocupada por agua*: también llamado capacidad de contenedor, consiste en el porcentaje del volumen de un sustrato que queda ocupado por agua luego de saturarlo con la misma y dejarlo drenar libremente en ausencia de evaporación. *Porosidad ocupada por aire*: porcentaje del volumen de un sustrato en condición de capacidad de contenedor ocupado por aire.

^z Valores correspondientes al sustrato en niveles óptimos son tomados de Ansorena Miner (1994), y Burés (1997).

^y Valores tomados de Chong *et al.* (1994).

^x Valores tomados de Chong & Rinker (1994) y de Szmidt & Chong (1995).

^w Valores tomados de López-Castro *et al.* (2008). Los valores entre paréntesis corresponden al SRH lavado con agua.

^v Valores tomados por los autores, no publicados.

^u No determinado.

2.2 Químicas

La Tabla 3 resume las propiedades químicas de los sustratos en estudio. La conductividad eléctrica (CE) obtenida de soluciones de sustrato es el parámetro químico más importante a considerar al momento de optar por el empleo del SDH en el cultivo de vegetales. Sustratos con altos valores de CE están relacionados con los efectos de sequía osmótica y toxicidad por acumulación de sales. Al considerar esta propiedad hay que prestar atención al método de preparación de la muestra, ya que con ello varían los valores considerados óptimos en sustratos.

Los métodos de preparación de muestra no están generalizados, sin embargo, algunos autores han elaborado relaciones entre diferentes formas de análisis (McLachlan *et al.*, 2004). Lo más seguro es basarse en escalas específicas para cada método. Por ejemplo, Warncke & Krauskopf (1983), indican para diferentes métodos los rangos donde el sustrato posee una salinidad aceptable. La gran mayoría de los SDH poseen valores altos e indeseados de CE. Esto se debe, principalmente, a que durante la preparación del sustrato para el cultivo de casi cualquier especie de hongo se incorporan cantidades importantes de sulfato y/o carbonato de calcio (CaSO₄, CaCO₃) con fines nutricionales, amortiguación del pH, floculación de coloides e inducción de la fructificación. El CRH de *A. bisporus* posee entre 4,9 y 8,3 dS·m⁻¹ (extracción en 1:2 volúmenes de sustrato: agua; valor de referencia: 1 dS·m⁻¹) originados principalmente por un exceso de sales de K, Ca, SO₄, Cl y Na (Chong & Rinker, 1994), mientras que un SRH a base de “cáscara” de girasol de *P. ostreatus* exhibió valores de 15,4 dS·m⁻¹ (extracto de pasta saturada, valor de referencia: 3 dS·m⁻¹). En este último caso, las sales más solubles fueron las de S y K (López-Castro *et al.*, 2008). Por otra parte, Medina *et al.* (2009) informan un valor de 1,03 dS·m⁻¹ (extracto acuoso 1:5 v/v; valor de referencia: 0,35 a 0,65 dS·m⁻¹, según Warncke & Krauskopf, 1983), para un SRH de *P. ostreatus* sobre base de paja fermentada de cereales.

El pH incide en el cultivo vegetal principalmente en la capacidad del reservorio de cationes en el complejo de intercambio, que es mayor a altos pH, pero a su vez éstos están en formas salinas que dificultan su solubilización, una condición generalmente desfavorable para el crecimiento

vegetal. Por ello, el pH recomendado para sustratos orgánicos está entre 5,0 y 5,5 (Ansorena Miner, 1994). En SDH, el pH es muy variable; en CRH de *A. bisporus* es usualmente neutro-alcalino (Chong & Rinker, 1994). El SRH está influenciado por la formulación del sustrato y también por el metabolismo particular del hongo cultivado. Por ejemplo, empleando formulaciones similares, el SRH de *G. lucidum* presenta pHs levemente ácidos mientras que en el de *P. ostreatus* el pH registrado es aproximadamente neutro (Tabla 3).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad que indica la capacidad de adsorción de nutrientes catiónicos a las partículas del sustrato que presentan carga negativa. En sustratos orgánicos estabilizados los sitios de cambio se encuentran mayormente en las sustancias húmicas. Estas sustancias son un producto derivado de la degradación de lignocelulosa por microorganismos específicos, entre los que se incluyen a los hongos cultivables, por esto los SDH son una vía de producción acelerada de estas sustancias que favorecerán el desarrollo vegetal (Gros *et al.*, 2005). Es importante conocer el valor de CIC en los sustratos para establecer las dosis y frecuencias de aplicación de fertilizantes (Ansorena Miner, 1994). Valores de CIC de CRH de *A. bisporus* y SRH de *P. ostreatus* fueron de 61 y 41 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Dar *et al.*, 2012) respectivamente. Es decir, valores menores a los de sustratos con las mejores propiedades de CIC como la turba (110 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) pero, considerablemente mayores a 20 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, mínimo recomendado para sustratos (Ansorena Miner, 1994).

La relación de C/N es el indicador químico más apropiado para conocer la estabilidad de un sustrato para cultivo vegetal. El valor de esta relación no debería ser mayor a 30, ya que en esas condiciones los microorganismos pueden inmovilizar el nitrógeno, compitiendo por el mismo con la planta. No obstante, hay que considerar que, dependiendo del sustrato, parte del carbono puede estar contenido en moléculas recalcitrantes y, de este modo, no disponible para la degradación microbiana. En tal caso, relaciones C/N mayores a 30 podrían ser adecuadas también, sin que en ellas se constate una inmovilización de nitrógeno. Los sustratos CRH poseen menores valores de C/N que los SRH ya que resultan de la exposición a una mayor diversidad de microorganismos por más tiempo y en diferentes condiciones. Por su parte, los sustratos para hongos, que resultarán luego en SRH, poseen relaciones iniciales de C/N de entre 60 y 200, incluso cuando se administran fuentes de nitrógeno para beneficiar el cultivo del hongo. En este tipo de sustratos habrá que considerar la degradación que pueda realizar el hongo, evaluando el valor de la relación C/N, así como de materia orgánica en el SRH resultante. En caso de existir niveles de nitrógeno bajos, sería prudente realizar una suplementación con este elemento para evitar el mencionado secuestro microbiano.

La proporción de cenizas o de materia orgánica son parámetros que permiten conocer la estabilidad de un sustrato. En los sustratos orgánicos, las cenizas están representadas por las fracciones de sílice estructural y los minerales contenidos en las estructuras celulares. Durante la estabilización de un sustrato la materia orgánica se transforma paulatinamente en sustancias húmicas y minerales. Este proceso puede darse de manera natural como sucede en las turberas o puede ser conseguido mediante el compostaje (Ansorena Miner, 1994). En el caso del compost empleado para el cultivo de *A. bisporus*, su mayor tiempo de tratamiento con microorganismos hará que el CRH resultante posea mayor estabilidad que en los del tipo SRH (donde solo ocurre un proceso relativamente corto de FES). Una vía para lograr una mayor estabilidad del SRH, sería la del compostaje, ya sea mediante microorganismos o por vermicultura (ver 4.3).

En cuanto al contenido de minerales, los SDH son ricos en los principales macronutrientes, fósforo, potasio, calcio y magnesio y en algunos micronutrientes como hierro y manganeso (Tabla 2). Como se mencionó anteriormente, el agregado de sales de calcio hace a los SDH también ricos en este nutriente. Por ejemplo, en sustratos para hongos, obtenidos a partir de

“cáscara” de girasol y paja de arroz, se agregan, 2% y 0,5% de sulfato de calcio (CaSO_4) y carbonato de calcio (CaCO_3) (m/m, sustrato en base húmeda, con un 60% de contenido de agua) respectivamente. Esto resulta finalmente en pHs de 5,8 a 7,6 unidades en el SRH (López-Castro *et al.*, 2008; Postemsky, 2016). El Ca es un macronutriente que no causa problemas de toxicidad, reemplaza y hace precipitar al catión aluminio, reduciendo la toxicidad de este catión, y neutraliza el exceso de hidrogeniones formados durante la degradación de los compuestos orgánicos (Ansorena Miner, 1994; Yang *et al.*, 2007). En las cantidades utilizadas no se alcanzan normalmente niveles lo suficientemente altos como para producir deficiencias de fósforo. La relevancia de las ventajas mencionadas depende del pH y la cantidad inicial de Ca del suelo o sustrato donde se produce el equilibrio de solubilización de tales iones (Ing. Agr. M Sc. María de las Mercedes Ron, comunicación personal).

Estudios comparativos a gran escala en cuanto a la calidad química de CRH de *Agaricus* spp. de diferentes fuentes encontraron que presentaban cualidades suficientes para su empleo como fertilizante en agricultura. La caracterización de los niveles de N-P-K indicó una relación *ca.* 1,2-1-1,1. No obstante, también resaltaron que las concentraciones de P y K presentaban gran variabilidad, de modo que no hacían confiables las comparaciones entre diferentes fuentes (Jordan *et al.*, 2008).

Con respecto a los micronutrientes, una propiedad importante del SDH dada por los polisacáridos de las paredes fúngicas es la de poder conservar, de forma quelada, varios micronutrientes, lo cual permite luego una liberación paulatina de los mismos (Miransari, 2013). Esta propiedad por otra parte puede constituirse en un riesgo ya que también es posible que el micelio concentre metales pesados a niveles fitotóxicos, dependiendo este fenómeno del contenido inicial de los mismos en el sustrato y del agua empleada para el cultivo del hongo.

Tabla 3. Propiedades químicas de algunos sustratos degradados por hongos. CRH: compost residual del cultivo de hongos descomponedores secundarios. SRH: sustrato residual del cultivo de hongos descomponedores primarios.

Propiedades químicas	Sustrato en niveles óptimos ^z <i>pasta saturada</i>	CRH <i>Agaricus bisporus</i>		SRH <i>Pleurotus ostreatus</i> ^{w, v}	SRH <i>Ganoderma lucidum</i> ^u
		<i>pasta saturada</i> ^y	<i>1:2 m/v</i> ^x	<i>pasta saturada</i>	<i>pasta saturada</i>
pH	5,2-6,3	7,1 (7,2)	7,3-8,2	6,9 (7,5)	4,1-5,0
Ce (dS·m ⁻¹ , 1:2 v/v)	1	- ^t	1,4-8,3	-	-
Ce (dS·m ⁻¹)	0,75-3,9	4,2 (1,1)	-	15,4 (2,9)	10,3
C % (materia seca)	-	-	19-24	-	34,5
N % (pasta saturada)	-	-	1,7-2,6	0,17 (0,15)	-
N % (materia seca)	-	-	-	-	1,34
C/N (materia seca)	20-40	-	9-15	-	26
Materia orgánica % (materia seca)	>80	-	-	87,5 (92)	70-71
Minerales expresados en mg·L⁻¹ de la solución					
Na	-	-	329	-	-
Mg	>70	85 (32)	229	-	-
P	150	4 (5)	7	-	-
S	250	-	-	-	-
K	>200	469 (34)	>999	-	-
Ca	-	293 (161)	623	-	-
Mn	-	0,29 (0,13)	0,5	-	-
Fe	-	1,5 (1)	2,6	-	-
Cu	50	-	0,5	-	-
Zn	100	0,21 (0,13)	0,5	-	-
Minerales expresados en mg kg⁻¹ de materia seca					
Na	170	-	-	29 (30)	700
Mg	1800	-	-	314 (173)	2800
P	-	-	-	206 (171)	800
S	2000	-	-	2047 (170)	8800
K	2800	-	-	1589 (354)	900
Ca	-	-	-	1561 (1305)	30300
Mn	-	-	-	2,8 (1,1)	-
Fe	-	-	-	38 (31)	2300
Cu	-	-	-	0,7 (0,8)	6,1
Zn	-	-	-	3,9 (5,4)	19

^z Valores correspondientes al sustrato en niveles óptimos son tomados de Ansorena Miner (1994), y Burés (1997). Método de dilución de la muestra: pasta saturada.

^y Valores tomados de Chong *et al.* (1991). Método de dilución de la muestra: pasta saturada. Los valores entre paréntesis corresponden al CRH lavado con agua.

^x Valores tomados de Chong & Rinker (1994) y de Szmidi & Chong (1995). Proporción de sustrato en agua: 1:2 (m:v)

^w Valores tomados de López-Castro *et al.* (2006). Método de dilución de la muestra: pasta saturada. Los valores entre paréntesis corresponden al SRH lavado con agua.

^v Valores tomados de López-Castro (2006). Método de dilución de la muestra: pasta saturada. Los valores entre paréntesis corresponden al SR lavado con agua.

^u Valores tomados de Postemsky *et al.* (2016) y datos tomados por los autores, no publicados.

^t (-): no determinado.

2.3 Biológicas

En los últimos años se han estudiado con mayor profundidad las propiedades biológicas de los SDH. Entre ellos, el CRH de *Agaricus* spp. es el más estudiado y se ha observado que, es un estimulador de la densidad de la microflora (Pérez-Piqueres *et al.*, 2004). Presenta cepas de *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Exiguobacterium*, *Staphylococcus*, *Desemzia*, *Carnobacterium*, *Brevibacterium*, *Arthrobacter* y *Microbacterium* (Ntougias *et al.*, 2004), e incluso algunas como *Pseudomonas aeruginosa* que poseen importantes actividades de biocontrol (Viji *et al.*, 2003).

En cuanto al SRH, el conocimiento de sus propiedades es menor, ya que dependen en gran medida del agrorresiduo empleado en la formulación inicial. Por ejemplo, se encontró que la pérdida de actividad microbiana al esterilizar un SRH es capaz de causar una reducción de los rendimientos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y caupí (*Vigna unguiculata*) (Kadiri & Mustapha, 2010). En este tipo de sustratos provenientes de residuos agroindustriales hay que evaluar la posible persistencia de patógenos vegetales, como el hongo *Sclerotinia sclerotiorum*, presente en la “cáscara” de girasol, considerando eventualmente la posibilidad de sanear el producto (Escande *et al.*, 2002; López-Castro *et al.*, 2008).

Aún cuando los SDH hayan sido fermentados en condiciones aeróbicas, poseerán diferentes propiedades biológicas según sean CRH o SRH. En cualquier caso, un SDH no debería usarse si presenta olores a azufre o amonio, indicadores de descomposición microbiana no benéfica para el cultivo de plantas (Landschoot & McNitt, 2014).

Los sustratos CRH expuestos al crecimiento de diferentes sucesiones microbianas y finalmente al hongo en cultivo pueden, aún luego de su uso, manifestar una baja a moderada actividad del micelio. Por este motivo, cuando la producción de *Agaricus* spp. se vuelve inviable, se inyecta vapor de agua a 70°C en los cuartos de cultivo durante 12 horas para descontaminar el sustrato CRH antes de su disposición al medio ambiente. No obstante, en ciertas condiciones de almacenamiento dicho micelio puede aún retomar el crecimiento activo, incrementando la temperatura del sustrato y cambiando rápidamente el balance entre nitrato, amonio y nitrógeno microbiano.

La emergencia de malezas de los SDH no suele ocurrir, ya que durante la FES cualquier semilla presente en el sustrato original es destruida por las estrategias de desinfección. No obstante, no se puede evitar que en aquellos casos donde el SDH es colocado a la intemperie aparezcan luego algunas malezas.

Una propiedad biológica de interés consiste en el uso del SDH como estimulador de la defensa de las plantas a fitopatógenos. Esto es posible dado que las plantas poseen un sistema de defensa conocido como resistencia sistémica adquirida (Conrath, 2006). Este fenómeno comprende una serie de cambios físicos y químicos que aumentan la capacidad de la planta para defenderse contra enfermedades o plagas. Una forma de iniciar tal respuesta es el contacto de las raíces con moléculas derivadas de hongos. Dado que la planta no diferencia entre hongos fitopatógenos de los que no lo son, ciertos cultivos responden como si estuvieran enfrentando una amenaza real luego de una exposición al SDH. Este ventajoso mecanismo brinda a los SDH la posibilidad de ser utilizado con fines de biocontrol (Ntougias *et al.*, 2008). Rinker (2002) reporta el uso del CRH de *A. bisporus* como biocontrolador de ciertas enfermedades y plagas.

3. Pre tratamientos para adecuar su uso en agricultura.

Los pretratamientos que se realizan a los SDH tienen el fin de asegurar un estándar de calidad y consisten en: la adecuación del tamaño de las partículas, corrección del nivel salino y pH, humectación, desinfección y, eventualmente, la destoxificación, suplementación y/o transformación de compuestos recalcitrantes.

3.1. Acondicionamiento del tamaño de partícula

De acuerdo con la especie de hongo y el sustrato empleado, hay sustratos que después del cultivo permanecen compactos y otros que se disgregan. En general, el CRH se disgrega más fácilmente que el SRH, y dentro de este último tipo, las diferencias entre especies son considerables. Por ejemplo, en el cultivo de *G. lucidum* o *L. edodes* en “cáscara” de girasol, el SRH permanece bastante más compacto que con *Pleurotus* spp.; mientras que, en paja de trigo, con todas las especies, el SRH permanecerá compacto. En todos los casos, la porosidad efectiva suele ser alta, sin embargo, la mayor abundancia de macroporos limita su capacidad de retener agua y resulta en una porosidad ocupada por aire mayor a la necesaria.

Recomendaciones del uso de CRH para enmiendas de suelo mencionan que el mismo puede ser aplicado directamente siempre que el tamaño de partícula no supere los 12 mm. Si se emplea para el cultivo en contenedores el tamaño de malla deberá ser menor, de 5 a 10 mm (Landschoot & McNitt, 2014). El uso de CRH molido (<2 mm) mejoró las propiedades de retención de agua, la disgregación del sustrato o evitó la formación de costra. Estas nuevas propiedades mejoraron la germinación y el crecimiento de tomate, equiparándose incluso con los resultados obtenidos empleando turba fertilizada (Eudoxie & Alexander, 2011).

La fracción de macroporos puede reducirse agregando el mismo sustrato tamizado con malla de 1 mm, abonos orgánicos (tierra negra, vermicompost, compost) o partículas inorgánicas (arcillas, limos y arena fina). En efecto, la proporción de partículas mayores a 1 mm (índice de grosor, ver Tabla 2) puede emplearse como un valor orientativo. Con índices de grosor menores al 50% la proporción agua / aire comienza a aproximarse a la de los sustratos en niveles óptimos (de acuerdo a lo definido por Ansorena Miner, 1994).

Por ejemplo, el análisis de SRH del cultivo de *G. lucidum* sobre “cáscara” de girasol o paja y cascarilla de arroz (Tabla 2), reveló que luego del picado con malla de 10 mm, este sustrato posee una porosidad efectiva 10% superior al mínimo aconsejado para sustratos en niveles óptimos (de 85% en volumen), una distribución de poros con agua 35% menor a la estimada para sustratos en niveles óptimos (55 a 70% en volumen) y, en consecuencia, una alta capacidad de aireación, de 2,5 veces superior a los valores para sustratos en niveles óptimos de (10 a 30% en volumen).

Sobre la base de este diagnóstico inicial, se definió como recomendación el picado del producto con una malla más fina, o un tamizado selectivo del mismo; donde las partículas de menor tamaño son de usos directos (como sustrato para contenedores) y la fracción de mayor tamaño, para enmienda de suelos

3.2. Humectación, desinfección y corrección del nivel de sales

La humedad deseada para un SDH almacenado a granel es de entre 30 a 50% ya que en estos niveles se facilita su manipulación, a la vez que se evita la formación de agregados (Landschoot & McNitt, 2014). Cuando el sustrato está dentro de los parámetros en niveles óptimos de pH y salinidad (e.g. pH 5,2 a 6,3 y conductividad eléctrica de 2,0 a 3,5 dS·m⁻¹, medidos en pasta saturada) y carece de microorganismos patógenos o malezas, puede procederse a la humectación por riego. En este proceso es importante evitar que los efluentes tomen contacto con las napas o cursos de agua ya que pueden afectar su calidad y causar olores desagradables (Rinker, 2002).

Para el riego habrá que considerar que los SDH suelen poseer baja mojabilidad. En estos casos, el agregado de arena fina lavada es una alternativa que permite aumentar en un 30% la mojabilidad de sustratos orgánicos (Ansorena Miner, 1994). El nivel recomendado de arena fina deberá ajustarse con la porosidad del sustrato ya que, como se mencionó anteriormente, la arena fina reduce el volumen de los macroporos.

Si bien puede haber excepciones, es ampliamente difundido que las principales desventajas de los SDH para el cultivo vegetal son el pH alcalino y una alta concentración de sales que pueden derivar en efectos fitotóxicos o merma del crecimiento por estrés salino (Eudoxie & Alexander, 2011). Estos fenómenos son producidos por el agregado de sales estabilizadoras durante el cultivo de hongos y por la propia actividad microbiana que mineraliza el sustrato y solubiliza las macromoléculas de lignocelulosa. El contenido de sales suele ser mayor en CRH que en SRH, dada la mayor mineralización de la materia orgánica producida primero por la actividad microbiana del compostado y luego por el crecimiento del micelio en cultivo. Como una primera aproximación para corregir estos factores pueden realizarse 1 o 2 lavados, con un cuidadoso manejo del efluente (Ansorena Miner, 1994). En condiciones a granel, se puede llevar a cabo en piletones preparados para recolectar el excedente de sales y llevar adelante un tratamiento de este efluente. Por otro lado, algunas metodologías experimentales pueden remover el exceso de sales del SDH usando cargas eléctricas de entre 20 y 200 V. Su utilidad parece apuntar principalmente a la industria de la elaboración de fertilizantes granulados que incluyan SDH (Rao, 2004).

En condiciones de cultivo en contenedores, el riego diario aplicado por goteo en un 30 % v/v de agua respecto del sustrato es suficiente para lixiviar el exceso de sales del CRH de *A. bisporus* (Chong & Rinker, 1994). En otro trabajo, fueron necesarios volúmenes de agua equivalentes a tres y seis veces la porosidad ocupada por agua de sustratos con distintos porcentajes de CRH, para lograr valores de CE adecuados (Young *et al.*, 2002). De todas formas, lo más conveniente es realizar mediciones de conductividad para cada sustrato en particular, de manera que los lavados no resulten escasos o, excesivos al punto de perder nutrientes importantes que se lavan fácilmente, como nitratos, sulfatos o el potasio (Heuser *et al.*, 2007).

Otra opción es realizar una dilución del SDH con otro sustrato que no aporte sales (turba, perlita, vermiculita), empleando fracciones que sean tolerables para la especie vegetal. Por ejemplo, en cultivos intensivos en invernaderos se estudió que el suelo puede acondicionarse con hasta 33% en volumen de CRH de *A. bisporus* (Chong *et al.*, 1994), mientras que viveristas sugieren no emplear más de un 15%, especialmente en el caso de plantas herbáceas, ya que las plantas leñosas pueden tolerar una mayor proporción. Por otra parte, también se recomienda la dilución a

un 50 a 66% del CRH de *A. bisporus* con materiales resistentes a la compresión (perlita, arena, corteza, turba) para resolver el problema de contracción del sustrato (Chong & Rinker, 1994).

El uso en especies hortícolas moderadamente tolerantes a altas concentraciones de sales puede facilitar el empleo de estos sustratos. Entre estas especies se encuentran algunas que se adecuan más a pH ligeramente ácidos como el apio (*Apium graveolens*), brócoli (*Brassica oleracea italica*), pepino (*Cucumis sativus*) y la remolacha (*Beta vulgaris*) mientras que hay otras que pueden cultivarse en sustratos con pH neutro como es el caso de alcauciles (*Cynara cardunculus*) y coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*).

Luego de la normalización del tamaño de partícula y del contenido salino, puede obtenerse un pH dentro del rango deseable (de 5,2 a 6,3) o, más frecuentemente, un pH alcalino. Si este fuera el caso, se puede recurrir al azufre elemental (S₂) para disminuir los valores al rango deseable (Ansorena Miner, 1994).

De existir microorganismos indeseados o semillas de malezas se puede realizar un riego con desinfectantes o, mejor aún, si es que se dispone el equipamiento, la inyección de vapor de agua. Una consecuencia no deseada de cualquiera de estos procesos es la pérdida de propiedades benéficas del sustrato aportadas por la microbiota del mismo (Burés, 1997; Scheuerell *et al.*, 2005). El método de inyección con vapor de agua requiere equipos y personal especializado para su manejo y además habrá de usarse con debidas evaluaciones en los sustratos CRH, ya que puede reactivarse el crecimiento indeseado de microorganismos termófilos (Szmidt & Chong, 1995). En la desinfección química de sustratos orgánicos se emplean sustancias como dazomet, 1,3-dicloropropeno o cloropicrina que, si bien tienen un amplio espectro de control, son cada vez más cuestionadas por sus efectos colaterales y residuales (Theaux *et al.*, 2013).

4. Aplicaciones del sustrato residual del cultivo de hongos en horticultura

La agricultura sustentable puede concebirse como una red de procesos interconectados donde el cuidado del medio ambiente y los recursos naturales poseen similar importancia a la búsqueda de altos rendimientos y buena calidad de los productos (Sánchez & Royse, 2001). En este sentido, la fungicultura brinda la posibilidad de unir en un círculo virtuoso a la agricultura y las producciones agroindustriales y forestales con la horticultura. Esto es, una vez que los residuos lignocelulósicos producidos en las primeras son biotransformados por el micelio se vuelven más competentes para su uso en el cultivo intensivo de plantas. La investigación de las aplicaciones del SDH en agricultura han sido mayormente desarrolladas con el CRH de *Agaricus* spp, y más recientemente con SRH del cultivo de *Pleurotus* spp. A continuación, se discuten los resultados de tales aplicaciones, haciendo énfasis en su uso para la horticultura.

4.1 Sustrato para cultivo de plantas en contenedores

El SDH se ha usado con éxito en la producción de distintas hortalizas en contenedores. Algunas experiencias en que se usó CRH para cultivar plantines de pepino (*C. sativus*), tomate (*S. lycopersicum*) y berenjenas (*Solanum melongena*) fueron comentadas por Rinker (2002). Más recientemente, ciertos estudios resaltan el efecto de SDH sobre las características físicas de los sustratos que lo incluyen entre sus componentes. En estos casos, más allá de características particulares de un determinado SDH, es generalmente la distribución del tamaño de poros de la mezcla resultante lo que determina la mayoría de las propiedades físicas del sustrato. Como ejemplo, el agregado de SRH de *P. ostreatus* (cultivado sobre “cáscara” de girasol), picado (criba de 1 cm) y agregado en un 33% en volumen a un suelo, disminuyó su DA y aumentó la cantidad

de poros ocupados con aire (de 2,8% a 7,4%), manteniendo la capacidad de contenedor dentro del rango considerado óptimo para sustratos (López-Castro *et al.*, 2008). En los pequeños volúmenes que imponen las condiciones de contenedor, el sustrato debe poseer una máxima retención de agua sin por esto perder la capacidad de aireación (Ansorena Miner, 1994). La porosidad ocupada por aire es considerada una de las propiedades físicas más importantes de sustratos para cultivo en contenedores ya que bajo esa condición las plantas tienen un espacio limitado para el crecimiento de sus raíces hacia zonas que provean un adecuado suministro de oxígeno, sobre todo en condiciones de saturación hídrica del sustrato.

En cuanto al desempeño de sustratos formulados con suelo y SDH para el cultivo de especies hortícolas en contenedores, se halló que la fructificación de tomate y pimiento en un suelo exhausto se hacía posible si se le incorporaba 6 a 9% m/m de SRH de *P. pulmonarius* (Jonathan *et al.* 2011), mientras que con el agregado de un 5% m/m de SRH (a base de paja de trigo, molido a 2 mm) de *P. eous*, se logró un incremento en la precocidad de germinación y el rendimiento en espinaca (Siddhant & Singh, 2009). Por otro lado, el agregado de 10% m/m de CRH de *A. subrufescens* a un suelo arenoso duplicó la biomasa aérea de lechuga en comparación con suelo fertilizado. Sin embargo, este beneficio no fue logrado por el SRH de *L. edodes*, posiblemente por inmovilización de nutrientes por parte de la microflora ante la alta proporción de C/N presente en este último sustrato (Ribas *et al.*, 2009).

También se ha usado SDH para formular sustratos sin suelo. Un estudio comparativo del cultivo de tomate mostró que un sustrato compuesto por 50% v/v de CRH de *A. bisporus* presentaba menor cantidad de tomates con necrosis apical del fruto en comparación con otros sustratos. Este efecto fue atribuido al mayor aporte del catión calcio por el CRH. Por otro lado, se encontró que, si bien el sustrato con CRH poseía mayor número de nematodos herbívoros, este factor no afectaba los rendimientos de producción (Zhai *et al.*, 2009).

4.2 Uso como contenedor orgánico

En algunas especies como *G. lucidum*, el bloque de SRH (obtenido a partir de “cáscara” de girasol) seco puede ser cortado y ahuecado para obtener contenedores orgánicos. Estos contenedores fueron estudiados para el cultivo de plantines de especies hortícolas. Se observó que el crecimiento y vigor mejoraban en pimiento (*Capsicum annuum*), tomate (*L. lycopersicum*) y berenjena (*S. melongena*), no era afectado en zapallo anco (*Cucurbita moschata*), zucchini (*Cucurbita pepo*), hinojo (*Foeniculum vulgare*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) y se veía reducido en pepino (*C. sativus*), espinaca (*Spinacea oleracea*) y puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). La porosidad ocupada por aire adicional que este tipo de material es capaz de proveer, permitiría usar, al menos para algunas especies, sustratos más económicos, con menor porosidad efectiva y/o con mayor proporción de poros con agua (Postemsky *et al.*, 2016).

4.3 Enmienda de suelos

Un estudio del rendimiento de pepino aumentó ante la enmienda de suelo de invernadero con una dosis de 40 t·ha⁻¹ de CRH de *Agaricus* sp. (Polat *et al.*, 2009), aunque anteriormente Ehalotis *et al.* (2005) no habían logrado el mismo efecto en esta especie al agregar 10 t·ha⁻¹ de SRH de *P. ostreatus* derivado de paja de trigo a un suelo de baja fertilidad. En este último estudio se destaca como aspecto positivo, que hubo un aumento en los niveles de carbono orgánico, N, P y K en dicho suelo, pero por otro lado hubo un aumento de la CE (de 1,93 a 10,5 mS·cm⁻¹, 1:2 m/v). A pesar de esto último, no observaron síntomas de toxicidad, ni disminución del rendimiento con respecto al control, hecho llamativo para una especie moderadamente sensible a la salinidad.

Tanji & Kielsen (2002) informan para pepino una CE umbral para la disminución de rendimiento de $2,5 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (método de pasta saturada).

En lechuga, se determinó que ante el agregado de CRH de *Agaricus* spp. a un suelo franco arcilloso alcalino no hubo cambios importantes en la salinidad del suelo ni en el pH, no obstante, sí se observó una inmovilización temporal (poco menos de un mes) de N (Medina *et al.*, 2012). Más aún, la aplicación de CRH de *Agaricus* spp. en suelos desgastados puede promover la formación de agregados y colaborar con la estabilización del suelo. Además, con un tratamiento previo de compostado se incrementa su naturaleza húmica resultando aún más beneficioso (Curtin & Mullen, 2007).

Existen, también, estudios de uso CRH de *Agaricus* spp. como enmienda durante un largo periodo. Una incorporación durante 28 años, con 8 a $16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de CRH, a un suelo calcáreo arenoso produjo mejoras en aspectos físicos y de fertilidad (contenido de nitrógeno, fósforo y potasio) del mismo (Morlat & Chaussod, 2008). Asimismo, diez años de aplicación de $7,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de CRH a un suelo franco arenoso mostró un aumento de su contenido de nitrógeno total y mejoras de aproximadamente 18% en el rendimiento de tomate (Arthur *et al.*, 2012). Como potenciales problemas, se registraron aumentos en el pH y la CE, si bien dentro de rangos seguros para la mayoría de las plantas.

4.4 Compostaje, vermicultura y biofertilizantes

El SDH transformado en vermicompost es considerado un aditivo de alta calidad para el cultivo de plantas ornamentales (Sánchez & Royse, 2001). Como dato curioso, el cultivo de distintos hongos comestibles y el uso de sus residuos resultantes para obtención, mediante vermicultura, de un sustrato para cultivar distintas hortalizas, está siendo investigado como parte de los denominados “sistemas de soporte vital biorregenerativos”, para ser usados en viajes espaciales tripulados de largo plazo (Gros *et al.*, 2005; Yu *et al.*, 2008).

Algunos autores sostienen que es necesario un estacionamiento durante al menos 12 meses del CRH de *Agaricus* spp. para permitir una mayor descomposición aeróbica y/o anaeróbica antes de su uso como enmienda en horticultura (Sagar *et al.*, 2009), incluso se ha propuesto un estacionamiento de al menos 18 meses (Uzun, 2004). Tal compostaje del CRH puede mejorarse si se lo combina con otros desechos ricos en nitrógeno (por ejemplo, estiércol de pollos), sin por ello comprometer la porosidad ocupada por aire, que debería mantenerse en el rango de 10 a 30% (Ansorena Miner, 1994).

Por su parte, el SRH puede ser sometido a un proceso de compostaje previo a su uso como componente de sustratos. Kadiri & Mustapha (2010) fermentaron el SRH de *Lentinus subnudus* por cinco semanas y lo mezclaron, 10% v/v con suelo para el cultivo de tomate y caupí (*Vigna unguiculata*) en contenedores. Dicho pretratamiento permitió mayores rendimientos con respecto a una mezcla similar, pero con SRH no fermentado (aumentos de ca. 24% y 48% en caupí y tomate, respectivamente) y, al suelo solo (aumentos de ca. 70% y 275%, respectivamente). La esterilización en autoclave (tanto de los SRH como del suelo) previo al secado y mezcla resultó, en todos los casos, con menores rendimientos.

Por otro lado, existen reportes sobre el uso del CRH de *Agaricus* spp. y del SRH de *Pleurotus* spp., así como de *L. edodes*, como fertilizantes orgánicos (para un resumen ver Rinker, 2002).

5. Conclusiones

El sustrato degradado por hongos es un material apto para ser usado, con ciertos recaudos, en horticultura. Entre sus principales atributos se encuentran la baja DA, elevada porosidad ocupada por aire y, capacidad de estimular la respuesta defensiva sistémica de las plantas.

Previo a su uso se requiere principalmente el acondicionamiento del tamaño de partícula, la medición y evaluación de los valores de CE, pH, contenido de materia orgánica y relación C/N. También, en lo referente a aspectos sanitarios, debería descartarse la presencia de malezas o patógenos. Con estos datos luego se procederá, según la conveniencia, a la humectación por riego, vapor de agua o lavados.

El empleo de SDH en horticultura es una de las fases finales en la cadena de reciclaje de residuos agroindustriales. Por su uso, este tipo de práctica hortícola, estaría considerada dentro de las tecnologías sustentables, amigables con el medio ambiente y tendientes a la emisión cero.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen la revisión crítica y los comentarios aportados por Néstor Curvetto, Ramiro González Matute, Gabriela Mockel, María de las Mercedes Ron y Diego Zappacosta. Dedicamos un especial agradecimiento a dos revisores anónimos por sus atentas correcciones y oportunos aportes. El Dr. Postemsky pertenece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Los subsidios que financiaron este estudio fueron PGI-MAyDS (UNS) y BID PICT 2414-2014 (Banco Interamericano de Desarrollo en conjunto con el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva).

7. Bibliografía

Albertó, E.; Curvetto, N.; Deschamps, J.; González-Matute, R. & Lechner, B. 2010. Hongos silvestres y de cultivo en la Argentina. In: Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI. (Martínez-Carrera, D.; Curvetto, N.; Sobal, M.; Morales, P. & Mora, V.M., eds.). Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales: Producción, Desarrollo y Consumo-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla. Pp. 333-358.

Ansorena Miner, J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Mundi-Prensa, Madrid. Pp. 22, 27, 32, 67, 162.

Arthur, E.; Cornelis, W. & Razzaghi, F. 2012. Compost amendment to sandy soil affects soil properties and greenhouse tomato productivity. *Compost Science & Utilization* 20(4):215-221.

Burés, S. 1997. Sustratos. Madrid, Ediciones Agrotécnicas. Pp.: 23, 40, 53, 69, 104, 295

Chang, S.T. 2008. Training manual on mushroom cultivation technology. United Nations-Nations Unies, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP). Asian and Pacific Centre for Agricultural Engineering and Machinery (APCAEM), Beijing. Pp. 23-26.

Chong, C. & Rinker, D.L. 1994. Use of spent mushroom substrates for growing containerized woody ornamentals: An overview. *Compost Science and Utilization* 2(3):45-53.

- Chong, C.; Cline, R. A.; Rinker, D. L. & Allen, O. B. 1991. Growth and mineral nutrient status of containerized woody species in media amended with spent mushroom compost. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116(2):242-247.
- Chong, C.; Cline, R.A. & Rinker, D.L. 1994. Bark- and peat-amended spent mushroom compost for container culture of shrubs. *HortScience* 29(7):781-784.
- Conrath, U. 2006. Systemic Acquired Resistance. *Plant Signaling & Behavior* 1(4):179-184.
- Curtin, J.S. & Mullen, G.J. 2007. Physical properties of some intensively cultivated soils of Ireland amended with spent mushroom compost. *Land Degradation & Development* 18(4):355-368.
- Dar, S.R.; Thomas, T.; Dagar, J.C.; Mir, H.; Amin, A.; Shankar, V.; Singh, D.; Pundir, A.K.; Malik, R.K. & Grover, G.P. 2012. Yield potential, nutrient uptake, metal fractionation and effect on soil properties under integrative use of varied C: N ratio composts, fly ash and inorganic fertilizer nitrogen in rice grown on inceptisol. *Journal of Agricultural Science* 4(6):206-214.
- Ehaliotis, C.; Zervakis, G.I. & Karavitis, P. 2005. Residues and by-products of olive-oil mills for root-zone heating and plant nutrition in organic vegetable production. *Scientia Horticulturae* 106(3):293-308.
- Escande, A.R.; Pereyra, V.R.; Pedraza, M.V.; Troglia C. & Quiroz F. 2002. *Sclerotinia* en girasol. *Revista Idia XXI (INTA)* 3:140-143
- Eudoxie, G.D. & Alexander, I.A. 2011. Spent mushroom substrate as a transplant media replacement for commercial peat in tomato seedling production. *Journal of Agricultural Science* 3(4):41-49.
- FAO Stats, 2013. Website: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (Acceso: 22 de junio de 2015).
- Gros, J.B.; Lasseur, C.; Tikhomirov, A.A.; Manukovsky, N.S.; Kovalev, V.S.; Ushakova, S.A.; Zolotukhin I.G.; Tirranen L.S.; Karnachuk R.A. & Dorofeev, V.Y. 2005. Testing soil-like substrate for growing plants in bioregenerative life support systems. *Advances in Space Research* 36(7):1312-1318.
- Heuser, C.Jr.; Holcomb, E.J. & Heinemann, P. 2007. Spent mushroom substrate as a component of soilless potting mixes: nutrient changes during composting. In: *International Plant Propagators' Society, combined proceedings* 57:53-61.
- Jonathan, S.G.; Lawal, M.M. & Oyetunji, O.J. 2011. Effect of spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius* on growth performance of four Nigerian vegetables. *Mycobiology* 39(3):164-169.
- Jordan, S.N.; Mullen, G.J. & Murphy, M.C. 2008. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology* 99(2):411-418.
- Kadiri, M. & Mustapha, Y. 2010. The use of spent mushroom substrate of *L. subnudus* Berk as a soil condition for vegetables. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences* 3(2):16-19.
- Landschoot, P. & McNitt, A. 2014. Using spent mushroom substrate (mushroom soil) as a soil amendment to improve turf. In: <http://plantscience.psu.edu/research/centers/turf/extension/factsheets/mushroom-soil> (Acceso: 22 de junio de 2015).
- López-Castro, R.I. 2006. Uso de sustrato gastado del cultivo de hongos ostra sobre cáscara de girasol como co-sustrato de un suelo orgánico para el cultivo de plantas en maceta. Tesina de grado. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur. 36 pp.
- López-Castro, R.I.; Delmastro, S. & Curvetto, N.R. 2008. Spent oyster

- mushroom substrate in a mix with organic soil for plant pot cultivation. *Micologia Aplicada International* 20(1):17-26.
- McLachlan, K.L.; Chong, C.; Voroney, R.P.; Liu, H.W. & Holbein, B.E. 2004. Variability of soluble salts using different extraction methods on composts and other substrates. *Compost Science & Utilization* 12(2):180-184.
- Medina, E.; Paredes, C.; Bustamante, M.A.; Moral, R. & Moreno-Caselles, J. 2012. Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma* 173:152-161.
- Medina, E.; Paredes, C.; Pérez-Murcia, M.D.; Bustamante, M.A. & Moral, R. 2009. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology* 100(18):4227-4232.
- Miransari, M. 2013. Soil microbes and the availability of soil nutrients. *Acta physiologiae plantarum* 35(11):3075-3084.
- Morlat, R. & Chaussod, R. 2008. Long-term additions of organic amendments in a Loire Valley vineyard. I. Effects on properties of a calcareous sandy soil. *American Journal of Enology and Viticulture* 59(4):353-363.
- Ntougias, S.; Papadopoulou, K.K.; Zervakis, G.I.; Kavroulakis, N. & Ehaliotis, C. 2008. Suppression of soil-borne pathogens of tomato by composts derived from agro-industrial wastes abundant in Mediterranean regions. *Biology and Fertility of Soils* 44(8):1081-1090.
- Ntougias, S.; Zervakis, G.I.; Kavroulakis, N.; Ehaliotis, C. & Papadopoulou, K.K. 2004. Bacterial diversity in spent mushroom compost assessed by amplified rDNA restriction analysis and sequencing of cultivated isolates. *Systematic and Applied Microbiology* 27(6):746-754.
- Pérez-Piqueres, A.; Edel-Hermann, V.; Alabouvette, C. & Steinberg, C. 2006. Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 38(3):460-470.
- Polat, E.; Uzun, H.I.; Topçuoğlu, B.; Önal, K.; Onus, A.N. & Karaca, M. 2009. Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in greenhouses. *African Journal of Biotechnology* 8(2):176-180.
- Postemsky P.D.; Marinangeli P.A. & Curvetto N.R. 2016. Recycling of residual substrate from *Ganoderma lucidum* cultivation as biodegradable containers for horticultural seedlings. *Scientia Horticulturae* 201:329-337.
- Rao, J. 2004. Electroremediation Methods for removal of excessive salts from “spent” mushroom compost. *HortScience* 39(4):751-751.
- Ribas, L.C.C.; De Mendonça, M.M.; Camellini, C.M. & Soares, C.H.L. 2009. Use of spent mushroom substrates from *Agaricus subrufescens* (syn. *A. blazei*, *A. brasiliensis*) and *Lentinula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation: Growth promotion and soil bioremediation. *Bioresource Technology* 100(20):4750-4757.
- Rinker D., 2002. Handling and using “spent” mushroom substrate around the world. In: *Mushroom biology and mushroom products*. (Sánchez, J.E.; Huerta, G.; Montiel, E.; eds.). Cuernavaca, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Pp. 43-60.
- Sagar, M.P.; Ahlawat, O.P.; Raj, D.; Vijay, B. & Indurani, C. 2009. Indigenous technical knowledge about the use of spent mushroom substrate. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 8(2):242-248.
- Sánchez J.E. & Royse D.E. 2001. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp.

- México D. F., ECOSUR-Noriega Editores. Pp. 84, 266-269.
- Scheuerell, S. J.; Sullivan, D. M. & Mahaffee, W.F. 2005. Suppression of seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*, *P. irregulare*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources. *Phytopathology* 95(3):306-315.
- Siddhant & Singh, C.S. 2009. Recycling of spent oyster mushroom substrate to recover additional value. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology* 5(2):66-71.
- Szmidt, R.A.K. & Chong C. 1995. Uniformity of spent mushroom substrate (SMS) and factors in applying recommendations for use. *Compost Science and Utilization* 3(1):64-71.
- Tanji, K.K. & Kielsen, N.C. 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. Roma, Italia. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Annex 1: Crop salt tolerance data, pp. 135-160.
- Theaux, P.; Lucaioli V.; Khier M. & Marinangeli, P. 2014. Efectividad de la desinfección química de un sustrato con dicloropropeno + cloropicrina y de dazomet. *Horticultura Argentina* 33(82):143 (resumen).
- Uzun, I. 2004. Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 12:157-165.
- Viji, G.; Uddin, W. & Romaine, C. P. 2003. Suppression of gray leaf spot (blast) of perennial ryegrass turf by *Pseudomonas aeruginosa* from spent mushroom substrate. *Biological control* 26(3):233-243.
- Warncke, D.D. & Krauskopf, D. M. 1983. Greenhouse growth media: Testing and nutrition guidelines. Michigan State University. Extension Bulletin E- 1736. 6 pp.
- Woiciechowski, A.L.; Karp, S.G.; Sobral, K.; Carvalho, J.C.; Letti, L.A.J; Socol, V.T. & Socol, C.R. 2014. Pretreatments strategies to enhance value addition of agroindustrial wastes. In: *Biotransformation of waste biomass into high value biochemicals*. (Brar, S.K.; Dhillon, G.S. & Socol, C.R., eds.). Springer, New York. Pp. 29-49.
- Yang, J.L.; You, J.F.; Li, Y.Y.; Wu, P. & Zheng, S.J. 2007. Magnesium enhances aluminum-induced citrate secretion in rice bean roots (*Vigna umbellata*) by restoring plasma membrane H⁺-ATPase activity. *Plant and cell physiology* 48(1), 66-73.
- Young, J.R.; Holcomb, E.J. & Heuser, C.W. 2002. Greenhouse growth of marigolds in three leached sources of spent mushroom compost over a 3-year period. *HortTechnology* 12(4):701-705.
- Yu, C.; Liu, H.; Xing, Y.; Manukovsky, N.S.; Kovalev, V.S. & Gurevich, Y.L. 2008. Bioconversion of rice straw into a soil-like substrate. *Acta Astronautica* 63(7):1037-1042.
- Zhai, Z.; Ehret, D.L.; Forge, T.; Helmer, T.; Lin, W.; Dorais, M. & Papadopoulos, A.P. 2009. Organic fertilizers for greenhouse tomatoes: productivity and substrate microbiology. *HortScience* 44(3):800-809.