

CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES

Francisco J. Gea Alegría

Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón.
Quintanar del Rey (Cuenca).

Son muchas las especies de hongos que se recolectan anualmente, y una buena parte de ellas son especies comestibles muy apreciadas. Sin embargo, solamente unas pocas se cultivan con interés comercial. Entre ellas, cabe destacar, además del champiñón, cuya técnica de cultivo es la más conocida, las especies: *Pleurotus ostreatus*, conocida como seta o seta ostra, *P. eryngii* (seta de cardo), *Agrocybe aegerita* (seta de chopo) y *Lentinula edodes* (Shiitake).

En la actualidad, el cultivo comercial de setas comestibles hay que entenderlo como una actividad profesional moderna y singular, que se encuentra a caballo entre la agronomía y la biotecnología, y que goza de una notable implantación tanto en nuestro país como en amplias zonas del resto del mundo. Esta actividad tiene una gran importancia en muchos pueblos de la comarca de La Manchuela. Se calcula que hay alrededor de 1.500 cultivadores de hongos comestibles en esta comarca, que producen más del 40% del total nacional.

¿Qué interés tiene el cultivo de hongos comestibles?

1. La primera respuesta es obvia, el cultivo de hongos comestibles nos proporciona un suministro más o menos regular de unos alimentos cuyo consumo se remonta a tiempos lejanos. Se trata de unos alimentos cuyas propiedades gastronómicas y medicinales son ampliamente conocidas y elogiadas.
2. Y por otro lado, el cultivo de hongos constituye una vía alternativa a la fotosíntesis para la producción de alimento, ya que los hongos tienen una gran eficiencia en la conversión de residuos vegetales en alimento. Para su cultivo, o mejor dicho, para la preparación del sustrato de cultivo, se utilizan grandes cantidades de subproductos agrícolas: como pajas de cereales, residuos procedentes de la viticultura en nuestro país, pero también restos del cultivo del café o de la caña de azúcar, en otros países. Por tanto, ayudan a reutilizar estos subproductos y a obtener alimento, proteínas para consumo humano, y para ello se utilizan unos procesos totalmente biotecnológicos.

¿Por qué sólo cultivamos unas pocas especies?

La primera respuesta a esta pregunta es que sólo se cultivan aquellas especies que tienen interés comercial. Pero también encontramos que hay muchas especies con interés comercial que no se cultivan, al menos por el momento, como es el caso de trufas, boletos, níscalos, etc. En este caso, la respuesta hay que buscarla en el tipo de alimentación de cada especie fúngica. La mayor parte de los hongos obtienen sus moléculas orgánicas descomponiendo partes muertas de otros seres vivos, como hojas caídas, cortezas de árboles, etc., y este es un trabajo esencial que permite reciclar la materia orgánica de los ecosistemas. Esta pacífica manera de ganarse el sustento es la que se conoce

como saprofitismo, y los hongos que la practican son saprofitos, y este tipo de hongos son los que actualmente se cultivan comercialmente, ya que nos permiten preparar un sustrato para que se alimenten. Los boletos, níscalos, etc., son hongos micorrizógenos y necesitan estar asociados con árboles, por eso no podemos cultivarlos comercialmente.

***Agaricus bisporus* (Champiñón)**

En líneas generales, podemos distinguir tres procesos básicos dentro del cultivo de champiñón, procesos que se llevan a cabo en áreas de trabajo totalmente independientes pero que están íntimamente interrelacionados. Son los siguientes:

- ✓ Obtención y producción de la "semilla" o inóculo del champiñón.
- ✓ Elaboración de un sustrato nutritivo apropiado para el crecimiento y desarrollo del hongo.
- ✓ Cultivo propiamente dicho, es decir, inoculación del sustrato con la "semilla", desarrollo del micelio, fructificación y cosecha.

La fabricación comercial de semilla se realiza en laboratorios especializados y bajo condiciones asépticas. En una primera etapa, el micelio se cultiva generalmente en medio sólido, si bien a veces también en medio líquido, para obtener un cultivo vigoroso. Cuando está en plena fase de crecimiento se utiliza para inocular el cariópside, y a continuación se incuba. En el momento en que éste se encuentre completamente colonizado por el micelio, constituirá lo que se conoce como "cultivo madre". Los cultivos madres son fragmentados después y utilizados para inocular el sustrato sobre el cual se desarrollará la semilla que posteriormente se vende.

El champiñón, como organismo heterótrofo saprofito, no es capaz de sintetizar su propio alimento, por lo que hemos de suministrarle un medio en el que estén presentes los elementos nutritivos necesarios. A este sustrato, que se produce para que sirva de alimento, única y exclusivamente para el champiñón, se le denomina compost.

Los nutrientes que necesita el champiñón se pueden dividir en varios grupos:

- **Agua:** Alrededor del 92% del champiñón está formado por agua, y esta sustancia la va a tomar principalmente del compost, y en menor medida, de la capa de cobertura.
- **Fuentes de carbono:** Los carbohidratos sencillos, tales como azúcares y almidón, tienen poca importancia para el champiñón. Las sustancias más importantes son compuestos complejos que forman parte de la pared celular de las plantas, tales como la celulosa, hemicelulosa y lignina, sustancias que están presentes en el compost.
- **Fuentes de nitrógeno:** Estas incluyen sustancias como proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos, pero también ácido úrico, urea y amoníaco, que se encuentran en varios tipos de estiércoles. Los champiñones no son capaces de absorber nitratos. El amoníaco gaseoso (NH_3) es perjudicial, pero el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) sí puede ser absorbido. Una gran parte del nitrógeno que necesitan los champiñones puede ser

suministrado por el que se encuentra en la lignina después del compostaje, en lo que se conoce como "complejo lignina-humus rico en nitrógeno" (GERRITS *et al.*, 1967).

- **Vitaminas:** Como la tiamina y biotina, además de varios factores de crecimiento.
- **Minerales:** Tales como fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. También son importantes un cierto número de minerales, necesarios sólo en pequeñas cantidades, y conocidos como elementos traza. Estos incluyen cobre, zinc, manganeso y molibdeno. Por regla general, estos últimos están presentes en cantidades suficientes en el compost.

Por tanto, se puede definir el compost para cultivo de champiñón, como un complejo ligno-celulósico de tipo húmico rico en nitrógeno, en el que se encuentran todos los nutrientes citados, necesarios para la nutrición y metabolismo de *Agaricus bisporus*. Al mismo tiempo, debe ser un medio selectivo; es decir, no debe favorecer el desarrollo de otros organismos distintos al champiñón.

El compost, en el momento de ser sembrado, está compuesto, principalmente, por sustancias complejas como la lignina, celulosa y hemicelulosas. Estas sustancias, requieren mecanismos especiales de descomposición, en los que están implicados algunos enzimas.

Materiales empleados en la fabricación de compost para cultivo de champiñón

Los materiales comúnmente empleados son los que se indican a continuación, y se pueden agrupar como sigue:

- * Materiales de base o volumen:
 - Pajas de cereales (trigo, centeno, cebada, maíz)
 - Estiércol de caballo
- * Aditivos (sustancias de enriquecimiento):
 - a) Fertilizantes:
 - Urea
 - Sulfato amónico
 - Nitrato amónico
 - b) Materiales residuales orgánicos:
 - Gallinaza
 - Orujo de uva agotado de alcoholería
 - Harina de soja, etc.
- * Otros (neutralizadores y correctores):
 - Yeso
 - Carbonato cálcico

Si todo el proceso de compostaje se ha realizado correctamente, al final se obtendrá un compost que responderá a las siguientes características:

- pH: 7,3 ($\pm 0,2$)
- Humedad: 66% ($\pm 3\%$)
- Nitrógeno total: 2,05% ($\pm 0,15\%$) (porcentaje sobre materia seca)
- Materia orgánica: 73% ($\pm 3\%$) (sobre materia seca)
- Cenizas: 27% ($\pm 3\%$) (sobre materia seca)

- Relación carbono/nitrógeno (C/N): 19 ($\pm$ 1)
- Libre de amoníaco residual
- Libre de parásitos y competidores

La siembra se realiza en la misma planta de compostaje en la que se ha elaborado el sustrato. Para ello, la semilla se debe mezclar cuidadosamente con el compost, de manera que todos los puntos de inóculo estén distribuidos lo mejor posible por toda la masa de compost.

A lo largo de un ciclo de cultivo, es necesario controlar varios factores ambientales, como son: la temperatura, el contenido en dióxido de carbono (CO₂), la humedad relativa y la velocidad del aire.

Durante la fase de incubación, el micelio establecido en los granos de inóculo se extiende tridimensionalmente por toda la masa de compost. Para que esta colonización del compost por el hongo sea lo más rápida posible, es necesario mantener las condiciones de cultivo dentro de valores óptimos. Así, la temperatura del local debe ser de 20-22 °C, y la del interior del compost de 25 °C (temperatura óptima de crecimiento del micelio de *A. bisporus*). La humedad relativa del aire debe mantenerse próxima al 95%, y así debe de permanecer hasta la etapa de fructificación. Durante esta fase vegetativa (a la que también se conoce con el nombre de germinación), una concentración alta de CO₂ (superior al 0,1%), ejerce una influencia positiva en el crecimiento del micelio.

Al cabo de dos semanas, el micelio del hongo ha colonizado totalmente el sustrato, tomando las bolsas un color blanquecino, tanto en el interior como en la superficie, lo que indica que se puede proceder a iniciar la siguiente fase, conocida como cobertura.

La tierra de cobertura cumple varias funciones:

- ✓ Constituye el soporte físico en donde se desarrollarán los carpóforos.
- ✓ Protege la superficie del compost de la desecación.
- ✓ Absorbe gran cantidad de agua, actuando como reservorio. Después la suministrará progresivamente, manteniendo así un grado de humedad adecuado, ya que el agua que evapora ayuda a conseguir un mínimo de humedad relativa sobre su superficie (microclima), evitando la deshidratación de los champiñones.
- ✓ Proporciona agua para el crecimiento y desarrollo del micelio y los champiñones, sirviendo como suplemento al agua proporcionada por el compost.
- ✓ Contiene y favorece los factores que inducen la fructificación (gradiente del contenido de CO₂, cambio del microclima, bacterias estimuladoras, baja conductividad eléctrica, etc.).
- ✓ Proporciona un ambiente aireado al micelio, permitiendo el intercambio gaseoso.

Al cabo de 7-9 días después de la cobertura, tiene lugar la aparición del micelio en la superficie de la tierra, momento que se aprovecha para dar paso a la inducción de la fructificación, deteniendo el crecimiento vegetativo del micelio. Este cambio, se logra variando las condiciones climáticas del local, de forma que la temperatura ambiente se baja a 16-18 °C (según la variedad) y se incrementa la ventilación, evitando que los niveles máximos de CO₂ superen el 0,08% en volumen, al tiempo que se mantiene la humedad relativa próxima al 85-90%.

A los 35-40 días de la entrada del sustrato en el local de cultivo, tiene lugar la recolección de los primeros champiñones, los cuales se suceden en floradas,

cuya velocidad de aparición depende de la variedad y temperatura de cultivo. El período interfloradas puede oscilar entre 5-10 días.

Las condiciones medioambientales necesarias son diferentes a las de etapas anteriores, ya que interesa mantener la humedad relativa próxima al 85-90% en la primera florada, disminuyendo al 80-85% hacia el final del cultivo. La temperatura ambiente debe situarse entre 15-20 °C (según la variedad) y hay que proceder a ventilar activamente la superficie de cultivo para evitar la acumulación de CO₂, que no debe exceder de 0,08% en volumen.

***Pleurotus ostreatus* (seta)**

Es un hongo saprofita, ampliamente distribuido por la zona templada del planeta, y que posee un amplio espectro de enzimas capaces de actuar sobre estructuras de naturaleza ligno-celulósica. Es, por tanto, un hongo destructor de la madera.

Como hongo saprofita que es, a *P. ostreatus* le tenemos que proporcionar alimento, si queremos cultivarlo; por tanto, tenemos que elaborar el sustrato, el cual ha de reunir varias características. Hay que conseguir que proliferen los organismos favorables y no los adversos. El hongo *Pleurotus* no exige un sustrato con selectividad química, ya que puede crecer con relaciones de C/N entre 30-300. En cambio, necesita una selectividad biológica. Por tanto, la flora acompañante no debe de ser competidora, sino protectora del *Pleurotus*. Como consecuencia, la selectividad del sustrato para setas, al ser solo biológica, es más frágil que la del champiñón. Esto quiere decir que es un sustrato que puede estar expuesto a más contaminaciones externas.

Las materias primas deben ser baratas y abundantes. Se comprende que con la capacidad que tiene para crecer sobre sustratos con una relación C/N tan versátil, casi cualquier subproducto vegetal es utilizable, pero los más utilizados son las pajas de cereales y las mazorcas de maíz. La utilización de uno u otro material dependerá de su disponibilidad en una zona o en una época determinados y de su economía.

También es interesante disponer de un método de preparación del sustrato sencillo y fiable. En este sentido, se han utilizado o se utilizan distintos procedimientos. Todos ellos buscan la obtención de una selectividad del sustrato para el *Pleurotus*, bien sea por eliminación de competidores, como la esterilización, la adición de fungicidas o la antibiosis de bacterias.

El método de fermentación aerobia es el más utilizado y más fiable. Este procedimiento supone la realización de dos etapas consecutivas: una pasteurización convencional y una fermentación termófila de acondicionamiento. Inicialmente hay que realizar un tratamiento físico de cortado y rasgado de la paja de cereal para favorecer la absorción de agua. La humedad se eleva a 70-75% y después se lleva a las cámaras donde se calienta por medio de vapor hasta 60-72°C, para eliminar patógenos. A continuación se baja a bandas de Tª apropiadas para el desarrollo de bacterias termófilas, como son *Bacillus macerans* o *B. pumillus*, que son responsables de la selectividad biológica. Al cabo de 4-6 días de proceso, el sustrato con el micelio adecuado se pone en paquete y se traslada a las explotaciones donde empieza el cultivo propiamente dicho.

Los factores medioambientales a controlar por el cultivador una vez establecida la incubación del sustrato son:

TEMPERATURA:

A la hora de considerar este factor, distinguiremos dos importantes aspectos:

- a) La temperatura de germinación (incubación) considerada como temperatura interior del sustrato. La temperatura ambiente, aunque importante, tiene una consideración algo más secundaria en esta etapa.
- b) La temperatura ambiente tras la germinación

A) Temperatura de germinación

La germinación es uno de los aspectos más importantes del cultivo de las setas. El control de la temperatura es el factor que tiene más influencia para conseguir una buena germinación.

Cuando hablamos de control de temperatura nos referimos, sobre todo, a la temperatura interior de los paquetes, que es diferente a la temperatura del ambiente.

El sustrato de setas sembrado se vende en paquetes cuadrados. Según la cantidad de compost, las dimensiones del paquete, el tamaño de la paja, el grado de prensado, etc., se genera más o menos calor durante la incubación, produciéndose una diferencia de temperaturas entre el interior y las capas exteriores del paquete.

- Inmediatamente a la colocación de los paquetes en la sala de incubación comprobar la temperatura que tienen en el interior, si fuese superior a 27-28 °C, hay que enfriar la sala hasta bajar los paquetes a 24-25 °C, después conservar el ambiente a 21-22 °C
- Si la temperatura de los paquetes es inferior a 23-24 °C, calentar la sala hasta subirlos a 24-25 °C; entonces dejar de aportar calor y mantener el ambiente a 21-22 °C.
- Al cabo de 5 a 7 días, hay una gran producción de calor y la temperatura tiene tendencia a subir rápidamente, por lo que hay que refrigerar para seguir manteniendo la temperatura del ambiente a 22-23 °C.

GAMA DE TEMPERATURAS	RECOMENDADA	TOLERABLE	PELIGROSA
Tª ambiente	22 °C	25 °C	27 °C
Tª de la capa exterior	26 °C	30 °C	32 °C
Tª de la zona intermedia	29 °C	32 °C	35 °C
Tª del centro del paquete	33 °C	36 °C	37 °C

- Después de 10-12 días, el crecimiento del micelio no es tan vigoroso, produce menos calor y aún manteniendo la temperatura ambiente a 22-23 °C, la temperatura interna del paquete comienza a descender: La germinación no ha terminado todavía, hay que esperar de 6 a 8 días más hasta completar totalmente la germinación, manteniendo la temperatura del ambiente por encima de 20 °C.

B) La temperatura ambiente en fructificación y cosecha:

La temperatura óptima de diferenciación y crecimiento de los carpóforos está sobre 12 - 16 °C. Los niveles de 20 °C o poco más, o inferiores a 10 °C, pueden ser tolerables en el curso de una jornada pero ello sólo debe ser circunstancial y su duración muy limitada.

HUMEDAD:

Otro factor climático que concurre en la producción es la humedad, tanto en el compost como en el aire.

El sustrato ya debe tener una humedad del 73 - 75 %. Ese nivel debe ser mantenido durante el tratamiento con calor aplicando aire humedecido a la masa. El peligro de desecación no existe durante la incubación ya que el compost está alojado dentro de los sacos.

El nivel de humedad:

(95 - 98 %) en emergencia (prefructificación)

(90 %) en recolección

El nivel se puede mantener en la sala:

- con vapor,
- con agua pulverizada,
- agua en el conducto del aire (tubo perforado)
- en las puertas, abriendo y nebulizando de vez en cuando al paso

del aire.

AIREACIÓN:

El tercer factor de producción es la aireación. Tiene como misión separar y eliminar el CO₂ producido, de ser vector o de sustraer, según necesidades, humedad y calor, es decir, mantener uniformes las condiciones de clima en toda la sala de producción.

La aireación viene practicada a través del recambio del aire, su recirculación y su movimiento por el local. La exigencia de un recambio, por medio de dar entrada al aire exterior, deriva del hecho de que es necesario eliminar del ambiente el CO₂ producido por el micelio y las piezas en crecimiento.

Además del movimiento del aire hay que poner especial cuidado en su distribución, a fin de evitar que haya sacos en los que la atmósfera quede estancada. Para ello habrá que dotar a las instalaciones de medios adecuados para resolver eficazmente esta cuestión ya que de otra manera se darían fenómenos de turbulencia y elevación de flujo que dejaría el ambiente en condiciones de insuficiente o excesiva aireación.

ILUMINACIÓN:

Otro factor que influye de manera decisiva sobre la producción es la iluminación. El *P. ostreatus* no crece en ausencia de luz. En condiciones de total oscuridad los carpóforos se manifiestan deformes, ramificados, en forma de coral, de color blanco y sabor marcadamente amargo, en los cuales no se distingue ni el sombrerillo ni el pie. En condiciones de escasez de luz se observa que las setas brotan con el sombrerillo muy reducido y el pie alargado y delgado, replegado hacia la fuente luminosa.

***Pleurotus eryngii* (seta de cardo)**

Se puede cultivar sobre sustratos autoclavados o fermentados. Los sustratos autoclavados aunque más caros y presentan menos riesgos de invasión por competidores como por ejemplo *Trichoderma*. Los sustratos se elaboran a base de pajas de cereales, remolacha y carbonato cálcico, y se autoclavan en autoclaves de doble fondo. Después del autoclavado, el sustrato se inocula con micelio del hongo en unas dependencias más o menos estériles. Los sustratos fermentados son más baratos de elaborar, pero todavía se están estudiando, ya que plantean algunos problemas de productividad.

Las bolsas se incuban alrededor de 45 días a 25 °C de temperatura ambiente, y cuando ya se ha incubado se corta el plástico y se puede poner tierra de cobertura, igual que ocurría en champiñón. Hay experiencias en las que no usan la tierra de cobertura, pero en los cultivos que hay en nuestra comarca si se usa, de esta manera protegen el sustrato de la desecación, y además proporcionan un soporte para la fructificación de las setas.

Después de poner la cobertura, a los 10-15 días aparecen las setas. La nave de cultivo se mantiene entre 14-18 °C, con HR de 85-90% y CO₂ bajo. La cosecha dura entre mes y medio y dos meses, y se pueden coger hasta dos flores. Necesita la presencia de luz a partir de la formación de primordios.

***Agrocybe aegerita* (seta de chopo)**

Esta especie crece sobre sustrato elaborado con paja de trigo y algo de gallinaza. Se realiza un proceso de fermentación controlada en túnel y una pasteurización.

La siembra se realiza con una tasa del 7% de micelio. Esto es una tasa muy elevada, pero hay que tener en cuenta que lo que nos interesa es que haya una incubación rápida del sustrato por parte del micelio de *Agrocybe*, y que no se puedan instalar otros hongos competidores. La incubación tiene una duración aproximada de 30 días, los primeros 15 días a temperaturas entre 28-30 °C y el resto la T^a va disminuyendo paulatinamente hasta 20-22°C.

Pueden pasar otras 3-4 semanas hasta que se ven los primordios. Puede haber 4-5 flores, pero es necesario incubarlo después de cada flor. Las condiciones de cultivo son de mantener una ventilación suave (1000-2000 ppm CO₂), T^a entre 20-22 y HR elevada, del 95%, y también necesitan luz.

***Lentinula edodes* (shiitake)**

El shiitake es un hongo ampliamente conocido y cultivado en Asia, sobre todo en China y Japón, y que posiblemente acabará introduciéndose en los países occidentales. Hay datos de su cultivo en China desde hace más de mil años antes de Cristo. Se le denominaba el elixir de la vida por los reyes de la dinastía Ming. Es una seta con unas propiedades gastronómicas estupendas, pero además, también se utiliza como hongo medicinal. Hay bastantes estudios que afirman que posee prácticamente todos los aminoácidos que necesita el ser humano, una importante proporción de polisacáridos con propiedades inmunoestimulantes y antiviricas, y tiene una gran riqueza de minerales y oligoelementos y vitaminas del grupo B. Se trata de un hongo bastante interesante.

En nuestro país se está realizando su cultivo en unas pocas explotaciones. En concreto, en nuestra zona de cultivo, se utilizan sustratos autoclavados, en los que se realizan mezclas a base de serrín de madera de

robles, zuros de maíz, harina, trigo, etc. Tiene un periodo de incubación muy largo, de 60-80 días. Los primeros 40 días a 25°C y el resto de días a 22°C. Durante este tiempo el micelio invade el sustrato, y posteriormente se desarrolla una capa miceliana externa, que es más gruesa cuanto más alta es la concentración de CO₂, y que protege de la desecación y de las contaminaciones externas. La superficie del paquete adquiere color marrón y se va endureciendo progresivamente. El plástico que inicialmente rodea el paquete se quita una vez que está de color marrón aproximadamente la mitad del paquete. Una vez que termina la incubación y se pasan al cultivo se sumergen en agua fría, con el fin de inducir la fructificación de primordios.

Se mantienen 3-4 meses en cultivo, con unas condiciones ambientales similares a las del champiñón: 16-18°C, ventilación constante (1000-1500 ppm de CO₂) y humedad relativa elevada (85-90%). Pero a diferencia del champiñón, necesita luz para fructificar. Durante el cultivo son necesarios riegos para mantener húmeda la superficie de los bloques y favorecer un buen desarrollo de primordios. Durante este tiempo suelen dar tres floradas, pero hay que volver a sumergir los paquetes para inducir la fructificación de una nueva florada.