

EL CULTIVO DEL SHIITAKE

TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN
DE UN ALIMENTO Y MEDICINA ANCESTRAL



Gerardo Mata
Rigoberto Gaitán-Hernández
Dulce Salmones



EL CULTIVO DEL SHIITAKE:

TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE UN ALIMENTO Y MEDICINA ANCESTRAL

EL CULTIVO DEL SHIITAKE:

Tecnología e innovación en la producción
de un alimento y medicina ancestral



Gerardo Mata
Rigoberto Gaitán-Hernández
Dulce Salmenes



Instituto de Ecología, A.C.
Xalapa, Veracruz, México

Título de la obra:

El cultivo del shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral

Autores:

Gerardo Mata
Rigoberto Gaitán-Hernández
Dulce Salmones

Primera edición, 15 de febrero de 2020

© Instituto de Ecología, A.C.

Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, CP 91073.

www.inecol.mx

ISBN: 978-607-7579-92-2

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito del titular de los derechos patrimoniales.



Esta obra fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del proyecto FORDECYT 273647: Estrategia para fortalecer la competitividad de la cadena agroalimentaria microbiana emergente de los hongos comestibles, funcionales y medicinales, en los Estados de Puebla, Veracruz y Oaxaca, mediante el desarrollo e implementación de procesos biotecnológicos para la producción de semilla mejorada.

Diseño y maquetación:

Aída Pozos Villanueva

Foto de portada:

Gerardo Mata

Cita bibliográfica:

Mata, G., R. Gaitán-Hernández, D. Salmones, 2020. *El cultivo del shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral*. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. 78 pp.

Créditos de las fotografías:

Gerardo Mata (Portada, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, Recetario)

Rigoberto Gaitán-Hernández (10a, 14, 15, 16, 23)

Fungi Perfecti (30)

Rodrigo Iván Gaitán Lara (10b, 11, 12, 13)

Acerca de los autores

Gerardo Mata

Originario de Xalapa, Veracruz, México. Biólogo por la Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Maestro en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la UNAM y Doctor en Ciencias por el Institut National Polytechnique de Toulouse, Francia. Desde 1989 es Investigador en el INECOL, en donde se ha desempeñado como Jefe del Departamento Hongos (1999- 2004), Secretario Técnico (2004-2010), Coordinador de la Red Manejo Biotecnológico de Recursos (2016-2018) y actualmente Investigador Titular “C”. Ha dirigido más de 10 proyectos nacionales e internacionales. Fue Vicepresidente de la Asociación Latinoamericana de Micología (1999-202). Desde el 2003 es Editor en Jefe de la Revista Mexicana de Micología, actualmente Scientia Fungorum (índizada en CONACYT). Su producción científica incluye 95 artículos arbitrados en revistas de circulación internacional, 6 libros como autor o editor, entre los que destacan El Cultivo de los Hongos Comestibles (IPN) y Manual Práctico del Cultivo de Setas (INECOL), 49 capítulos de libro y artículos in extenso y más de 120 trabajos en Congresos y Simposia nacionales e internacionales. Ha impartido más de 30 talleres de cultivo de hongos comestibles y medicinales. Ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado en México y el extranjero. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (Nivel 2).
e-mail: gerardo.mata@inecol.mx

Rigoberto Gaitán-Hernández

Originario de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. Biólogo por el Tecnológico Nacional de México, Maestro y Doctor en Ciencias por la UNAM. En 1995 Ingresó al INECOL, donde se desempeña como Investigador Titular de Tiempo Completo. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad Autónoma de Chiriquí, Panamá, en el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, Bordeaux, Francia y en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora. Fue Co-Secretario de la Asociación Latinoamericana de Micología (1999-2002) y Editor Asociado de la Revista Mexicana de Micología (2003-2016). Ha participado en proyectos de investigación nacionales e internacionales. Su producción científica incluye artículos arbitrados en revistas de circulación internacional, capítulos de libro, y trabajos en Congresos y Simposia nacionales e internacionales, autor del libro *Manual práctico del cultivo de setas*. Ha dirigido tesis de licenciatura, de maestría y de doctorado. Ha impartido más de 60 conferencias por invitación y dado más de 50 cursos y talleres sobre el tema. Proporciona capacitación y asesoría en cultivo de hongos al sector productivo. Actualmente, es Coordinador de la Red de Manejo Biotecnológico de Recursos, Profesor del programa de Posgrado del INECOL y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.
e-mail: rigoberto.gaitan@inecol.mx

Dulce Salmones

Originaria de Coatepec, Veracruz, México. Bióloga egresada de la Universidad Veracruzana, con estudios de Maestría y Doctorado en Ciencias de los Alimentos por el Instituto Tecnológico de Veracruz. Desde 1989 trabaja como Investigadora Titular en el INECOL, siendo además Profesora del Programa de Posgrado institucional. Ha dirigido y/o participado en más de 20 proyectos nacionales e internacionales de investigación y vinculación. Ha ocupado los cargos de Jefa del Departamento Hongos (1995- 1999) y Coordinadora de la Red de Manejo Biotecnológico de Recursos (2014-2016) en el INECOL. Desde el año 2003 es Editora asociada de la Revista Mexicana de Micología, actualmente Scientia Fungorum. Ha dirigido tesis de licenciatura y de maestría e impartido más de 30 talleres de capacitación sobre el cultivo de diversas especies de hongos comestibles y medicinales. Su producción científica incluye 43 artículos arbitrados en revistas de circulación internacional, 21 capítulos de libro y memorias en extenso y más de 80 trabajos en Congresos y Simposia nacionales e internacionales. Es autora de los libros: El Cultivo de los Hongos Comestibles (IPN) y Manual Práctico del Cultivo de Setas (INECOL), textos con amplio reconocimiento en la bibliografía latinoamericana del área.
e-mail: dulce.salmones@inecol.mx

Contenido

Presentación	11
1. Introducción	13
2. Preparación del inóculo	19
3. Cultivo tradicional en troncos de encino	29
4. Cultivo moderno en residuos de madera	35
5. Utilización de sustratos alternativos	39
6. Plagas y enfermedades	49
7. Comercialización	53
8. Aspectos nutricionales y alimento funcional	61
9. Recetario	65
10. Glosario	73
Bibliografía recomendada	77

Presentación

La era de la disrupción, la hipercomunicación, y la amplia movilidad global caracterizan al mundo actual, generando oportunidades en todos los niveles y sentidos. Los seres humanos migran o viajan con gran facilidad, generando un acelerado concierto de intercambios culturales sin precedentes en la historia de la humanidad. Se reconfiguran así, cada día, la dieta y los patrones alimentarios de las sociedades en sus diferentes manifestaciones. En este contexto, ha sido una decisión acertada del sólido grupo de investigación del Instituto de Ecología, en Xalapa, Veracruz, editar este interesante libro sobre el cultivo de **shiitake**, nombre de origen japonés utilizado para denominar comercialmente a la especie *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler.

Aunque Japón dio a conocer ampliamente el *shiitake* a la cultura occidental, el Profesor Shih-I Lu de la Academia Sinica de Beijing, con quien tuve el honor de reflexionar el tema en numerosas ocasiones durante nuestra estancia en la Universidad China de Hong Kong, me describió con notable erudición que el origen del consumo y posterior cultivo del *shiitake* tuvo lugar en China, donde se le conoce como **shiang-gu**. Las formas primitivas de cultivo del *shiitake*

se reportaron por primera vez en China, durante los siglos X-XIII. Sin embargo, las primeras técnicas rústicas de cultivo a mayor escala se desarrollaron ampliamente en Japón, después de la segunda guerra mundial, en la década de los 1950s. Actualmente, el *shiitake* no sólo se produce comercialmente en diversas regiones del mundo, sino que también constituye un verdadero modelo de estudio por sus propiedades funcionales y medicinales. Estas propiedades se han estudiado científicamente desde la década de los 1960s, sobre todo por investigadores japoneses en un principio. Ahora, incluso, se comercializan medicinas a partir de compuestos purificados del *shiitake*, cuyos volúmenes de venta, tan sólo en Japón, son superiores a los 100 millones de dólares anuales.

El interés por la producción comercial de *shiitake* en México data desde 1984, cuando se registraron los primeros cultivos. Actualmente, se producen más de 25 toneladas anuales de *shiitake*, representando el 0.04% de la producción nacional de hongos comestibles frescos. Aunque proporcionalmente tiene bajo consumo en el país, el precio promedio al consumidor del *shiitake* fresco está entre los más altos del mercado (MN \$213.45 pesos/kg; USD \$16.47 dólares/kg), debido

a su todavía escasa producción y oferta. Sin embargo, existe un gran potencial para desarrollar mercado, ya que el 0.2% de los consumidores urbanos de hongos comestibles en la región central de México, la mayoría del nivel social alto, manifiesta consumir *shiitake*. Asimismo, la producción de *shiitake* en territorio mexicano tiene grandes áreas de oportunidad en la exportación a E.U.A., Canadá, y Sudamérica.

Los autores han logrado generar e integrar información valiosa sobre los fundamentos biológicos del *shiitake*, la diversidad de genotipos comerciales disponibles, las tecnologías de producción, las tecnologías postcosecha, y las estrategias de prevención y control de plagas y enfermedades. También incluyeron aspectos relevantes sobre las propiedades nutricionales y funcionales del *shiitake*, así como sus efectos en la salud humana. Dos secciones importantes para los lectores corresponden al recetario con

diversas maneras de cocinar y degustar el *shiitake*, así como un glosario que explica con claridad los términos técnicos utilizados para lograr una completa comprensión del contenido.

En el ambiente de profundos cambios sociales, políticos, económicos y ecológicos que acontecen en el país, el presente libro contribuirá de manera importante a impulsar las investigaciones científicas, básicas y aplicadas, del campo de conocimiento, así como a fortalecer la innovación, la producción y el consumo de *shiitake* fresco y procesado en México, con buenas prácticas y altos estándares de calidad. Bienvenido.

DR. DANIEL MARTÍNEZ-CARRERA

Profesor-Investigador

Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México

Enero, 2020

1. Introducción

Generalidades del shiitake

El hongo conocido como shiitake, cuyo nombre científico es *Lentinula edodes*, es una especie originaria del continente asiático y se le puede encontrar de manera silvestre en China, Japón, Corea, Taiwán, Tailandia, Nepal, Birmania, Borneo, Filipinas y Nueva Guinea. El nombre del shiitake es un vocablo japonés que se deriva de dos palabras: “shii”, árbol en que crece esta especie (*Catanopsis cuspidata*), y “take” que significa hongo. En China es conocido como “xian-gu”, el hongo aromático, y se distinguen dos variedades principales, la variedad de invierno “dong gu” y la variedad llamada hongo de flor “hua gu” (por su aspecto agrietado).

En Corea se le conoce como “pyogo”, en Tailandia como “hed el”, en Estados Unidos de América se le denomina “black forest mushroom” y en Francia se le llama “champignon parfumé”. En todos los casos el shiitake es reconocido como una especie de sabor agradable y aroma atractivo, cualidades que han sido fundamentales para su amplia distribución comercial en el mundo.

El shiitake es una **especie saprobia**¹ (que crece en materia orgánica muerta), capaz de degradar la madera de diferentes árboles considerados de madera dura como los encinos (*Quercus* spp.) y algunos otros de la familia de las Fagaceae. Es bien conocida la capacidad del shiitake para atacar los componentes de la madera que son más difíciles de degradar, como la **lignina**. En su hábitat natural el shiitake se encuentra creciendo en tocones y árboles muertos en bosques templados y húmedos.

Como todos los hongos superiores, el shiitake está formado por un conjunto de filamentos conocidos como hifas, las cuales forman el verdadero cuerpo del hongo, denominado micelio y la parte comestible del mismo (llamada popularmente hongo) es en realidad el cuerpo reproductor en donde se producen las esporas a través de las cuales el hongo se dispersa y reproduce. El shiitake tiene una forma típica de hongo con un pie (estípite) y un sombrero (píleo) (Figura 1).

¹ El significado de los términos técnicos resaltados en negritas se describen en el glosario.

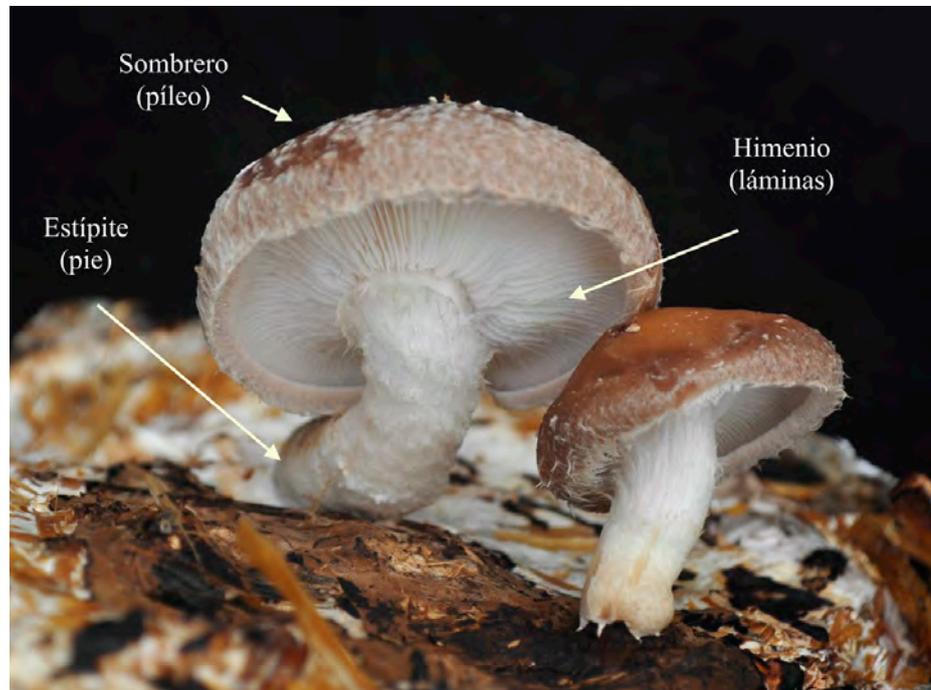


FIGURA 1. Estructura de un basidioma del shiitake.

El pie es generalmente central y se adhiere lateralmente al sustrato en el que crece, de aspecto fibroso y escamoso, de color blanquecino y ligeramente más ancho en la base, presenta una zona con aspecto de velo en la parte superior del pie que desaparece con la madurez. El sombrero en la mayoría de los ejemplares tiene un diámetro que oscila entre los 5 y los 10 cm, pero en algunas ocasiones puede alcanzar los 15 cm, de forma convexa y tiende a aplanarse al alcanzar la madurez. La superficie del sombrero es de color café oscuro, uniforme o decolorada

hacia el margen con tonos rojizos, liso al principio, pero pronto recubierto de escamas más claras que el fondo con poco relieve y planas, lo que forma un moteado de aspecto aterciopelado. El margen del sombrero es involuto en los ejemplares jóvenes y generalmente incurvado en los adultos, poco o nada estriado y con restos del velo que pueden desaparecer con el tiempo. En la parte inferior del sombrero, el shiitake presenta una estructura en forma de láminas (himenio) que es en realidad el órgano productor de esporas. Las laminas son de color blanquecino y

con el desarrollo tienden a adquirir un tono amarillento. El tejido interno de estos hongos, comúnmente llamado “carne” (contexto), es de color blanco y de aspecto compacto, con olor fúngico muy agradable y un sabor característico de la especie.

Ciclo de vida

En su hábitat natural, el micelio del shiitake se desarrolla en troncos en descomposición de donde obtiene los nutrientes necesarios para su crecimiento y reproducción. El micelio produce una importante cantidad de enzimas que descomponen la madera y le facilitan al hongo absorber los nutrientes para asegurar su supervivencia. Cuando las condiciones climáticas son adecuadas, principalmente humedad y temperatura, el micelio moviliza los nutrientes almacenados y forma lo que comúnmente llamamos hongos (**basidiomas** o **cuerpos fructíferos**). En los basidiomas, se formarán las esporas que serán dispersadas por el viento con la finalidad de encontrar nuevos sitios para colonizar y reproducir la especie. Un solo basidioma puede producir millones de esporas, sin embargo, la mayoría de ellas perecerán por efecto de la temperatura y la luz. Las esporas que logran germinar y establecerse en un sustrato con condiciones favorables producen un tipo de micelio llamado **micelio monocariótico**, este debe encontrar otro micelio monocariótico que

sea genéticamente compatible para fusionarse con él y formar un nuevo micelio llamado **micelio dicariótico**. En los hongos superiores como el shiitake, únicamente el micelio dicariótico es capaz de reproducir el ciclo completo y formar basidiomas (Figura 2). Este tipo de ciclo de vida es conocido como heterotalismo tetrapolar. Es muy importante para los productores comerciales conocer y comprender el ciclo de vida del shiitake para facilitar su manejo y optimizar su producción. Existe una gran cantidad de información científica acerca del ciclo de vida de los hongos y sus implicaciones en la adaptación y evolución de las especies, al final de esta obra se recomiendan algunos textos básicos por si se requiere profundizar en esta temática.

Producción comercial del shiitake

La producción de shiitake se ha modificado a lo largo del tiempo en función de la tecnología utilizada, de manera general el sistema de cultivo de shiitake se puede dividir en 7 etapas diferentes que involucran cambios importantes en las tecnologías utilizadas: 1) método de corte directo en el bosque el cuál se desarrolló hace aproximadamente 1,000 años; 2) método de cultivo en troncos de madera, basado en la inoculación del hongo directamente en el tronco, sistema inventado por cultivadores japoneses en

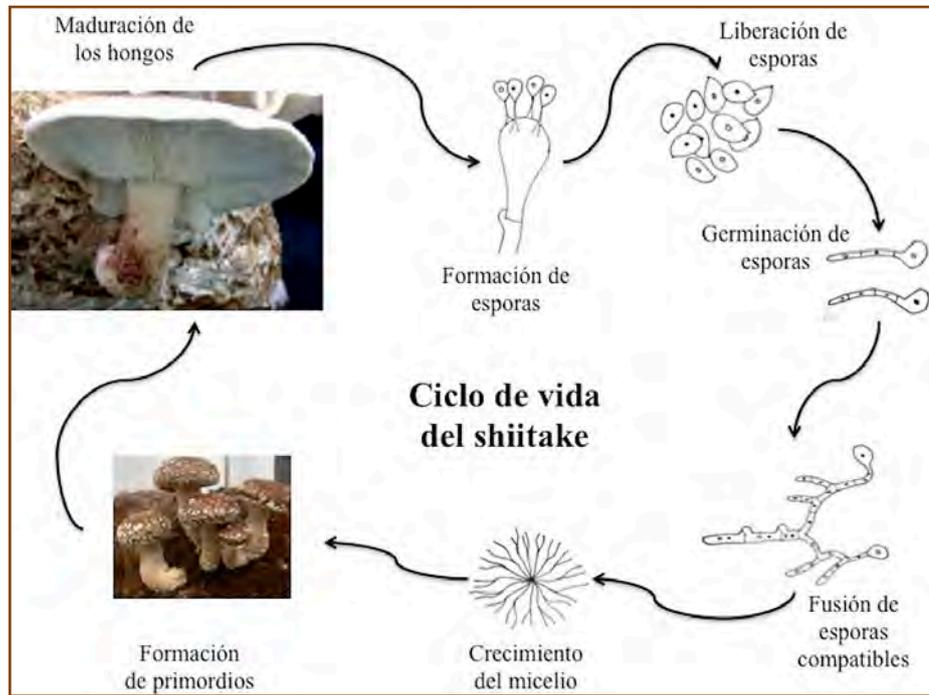


FIGURA 2. Ciclo de vida del shiitake.

1928; 3) método de cultivo en bolsas de plástico, este sistema utiliza pequeñas bolsas de plástico con sustrato a base de aserrín y fue desarrollado en Taiwán a principios de la década de los setenta; 4) método de bloques de sustrato introducido en Shanghai en 1979; 5) método conocido como “troncos sintéticos” debido a la forma alargada que toman las muestras preparadas a base de aserrín, desarrollado en 1986 en la provincia de Fujian. Este innovador método ha permitido a China posicionarse como el principal productor mundial de shiitake; 6) método de cober-

turas de plástico pequeñas (a manera de pequeños invernaderos), derivado del método de troncos sintéticos, desarrollado y adaptado en el condado de Biyang en la provincia de Henan, China. Las bolsas son mucho más grandes y se colocan en estantes con múltiples repisas dentro del cobertizo; 7) método de utilización de paja de cereales suplementada y pasteurizada con vapor, desarrollado en la década de los noventa en Francia.

Hasta la década de los ochenta, el principal productor mundial de shiitake era Japón, utilizando la

técnica tradicional de cultivo en troncos, en buena parte porque en el mercado japonés el shiitake cultivado en troncos de encino es considerado de calidad superior. Sin embargo, China es actualmente el principal productor mundial de shiitake con más del 95% del total producido. Recientemente, el shiitake se ha convertido en la especie más cultivada en todo el mundo con aproximadamente el 22% del total, lo que equivale a 7.48×10^6 toneladas y ha desplazado ya al conocido champiñón (*Agaricus bisporus*), que durante varias décadas ocupó el primer lugar de producción a nivel mundial y que ha sido relegado a la cuarta posición con el 15% del total. El cultivo del shiitake se ha extendido a otros países como Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, Argentina, Australia, Francia, España y otros de la Unión Europea en donde se ha posicionado como una especie con futuro prometedor en el mercado. Los materiales utilizados para el cultivo del shiitake varían mucho de acuerdo a la región, sin embargo, casi siempre se trata de residuos

de madera de diferentes árboles, aunque también se han utilizado diversos residuos agrícolas.

A partir de la década de 1990 el sistema tradicional de cultivo en troncos fue desplazado paulatinamente por un sistema más moderno, que como ya se mencionó, utiliza bolsas de plástico con diversos residuos agrícolas y/o forestales. Dichos sustratos se componen frecuentemente de residuos de maderas duras adicionadas de distintos componentes para enriquecerlos y ofrecer al shiitake los elementos necesarios para su desarrollo y producción de basidiomas. En esa misma década, en Francia se impulsó el cultivo del shiitake utilizando bolsas de plástico con paja de cereales pasteurizada con vapor. Con el sistema de producción en bolsas se logró aumentar significativamente la producción y además los ciclos de cultivo disminuyeron considerablemente, estos dos factores impulsaron enormemente el cultivo del shiitake a nivel mundial.

2. Preparación del inóculo

Preparación de medio de cultivo

Una **cepa** podría ser definida como un cultivo puro de la especie que nos interesa, se podría decir también que es el cultivo madre desde dónde iniciará todo el proceso. Para aislar una cepa en el laboratorio es necesario brindarle las condiciones adecuadas para el crecimiento del micelio. Para tal efecto se requiere preparar un medio de cultivo artificial que contenga los nutrientes que permitan el buen desarrollo del micelio. Los medios de cultivo más utilizados se preparan a partir de productos vendidos comercialmente que utilizan distintos tipos de gelatina como el agar, dicho agar tiene la función principal de pro-

porcionar una superficie sólida sobre la que crecerá el hongo. Entre los medios de cultivo más comunes se encuentran el agar con papa y dextrosa (PDA) y el agar con extracto de malta (EMA). Para preparar el medio de cultivo se coloca el material requerido en un matraz limpio y seco (siguiendo las instrucciones del proveedor) y se agrega agua destilada para disolver el producto y luego se calienta agitando constantemente (Figura 3). Cuando el medio de cultivo cambia ligeramente de color y se torna transparente se debe colocar en un frasco con tapa para esterilizarlo en una **autoclave** o en una olla de presión durante 15 minutos a 121 °C. Después de la **esterilización** el medio de cultivo se deja enfriar en un ambiente



FIGURA 3. Materiales necesarios para la preparación de medio de cultivo a base de agar. A: medio de cultivo comercial. B: disolución, agitación y calentamiento del medio.

aséptico (en una **cámara de flujo laminar** o con la ayuda de mecheros de alcohol o gas) y cuando la temperatura del mismo está cerca de 40 °C el medio se vierte en cajas de Petri estériles (de vidrio o de plástico). Cuando el medio de cultivo ha solidificado las cajas de Petri están listas para utilizarse, también se pueden almacenar dentro de una bolsa de plástico en un refrigerador común a 4 °C.

En ciertas ocasiones, sobre todo cuando se coleccionan ejemplares en el campo, es recomendable adicionar antibióticos al medio de cultivo para evitar el crecimiento de bacterias. En este caso se pueden utilizar diferentes tipos de antibiótico de amplio espectro (penicilina, ampicilina, amoxicilina, etc.), adicionando una ampolla de 1 ml /L de medio de cultivo después de que el medio de cultivo se ha esterilizado y la temperatura del mismo es menor a 40 °C. Después de homogeneizar, el medio de cultivo con antibióticos se vierte en las cajas de Petri.

Con la finalidad de “reactivar” o estimular el crecimiento de algunas cepas de shiitake se puede utilizar un medio de cultivo adicionado de una infusión de viruta o aserrín de encino. Para preparar este medio de cultivo se colocan 100 g de viruta en 1 L de agua destilada y se dejan hervir durante 15 min. Después esta infusión se filtra para retirar los sólidos y se utiliza para la preparación de un medio de cultivo convencional agregando los componentes de los medios PDA o EMA.

Aislamiento de cepas

Considerando que los hongos no tienen tejidos altamente especializados, es posible obtener “clones” con una metodología relativamente sencilla. Para aislar una **cepa** por medio de tejido es indispensable contar con un ambiente aséptico y, en el mejor de los casos, realizar toda esta labor en una cámara de flujo laminar. Se debe seleccionar un **basidioma** fresco, limpio, turgente y sin rastros de ataque por insectos u otros hongos.

El basidioma se cortará longitudinalmente con una navaja, esterilizada con la ayuda de un mechero de gas, y se tomarán pequeños fragmentos del **contexto** del mismo que se colocarán en cajas de Petri con medio de cultivo (Figura 4).

La **caja de Petri** con los fragmentos de tejido se debe cerrar cuidadosamente e incubar a temperatura de 25 °C en condiciones de oscuridad. Si el aislamiento se ha realizado de manera adecuada, unos cuantos días después se observará el crecimiento de micelio a partir de los fragmentos de tejido. El micelio del shiitake debe tener aspecto algodonoso y color blanco, no debe haber presencia de bacterias ni mohos.

El micelio del shiitake crece rápidamente y puede cubrir la superficie de una caja de Petri de 9 cm de diámetro en cerca de 15 días.



FIGURA 4. Aislamiento de una cepa de shiitake a partir de tejido vegetativo de un basidioma fresco. Obsérvese cómo se toma un fragmento de tejido y se coloca en una caja de Petri con medio de cultivo para su posterior incubación.

Mantenimiento de las cepas

Cuando el micelio del shiitake ha cubierto completamente la caja de Petri, se debe transferir a una nueva caja de Petri con medio de cultivo. Sin embargo, cuanto mayor es el número de resiembra o transferencias, mayor será el riesgo de contaminación o

envejecimiento de la cepa. Por tal motivo, es necesario tratar de retardar lo más posible el envejecimiento de las mismas. Una manera simple de alargar el tiempo de resiembra de una cepa, es que una vez que el micelio cubre completamente el medio de cultivo, la caja se puede mantener en refrigeración a 4 °C durante 4 a 6 meses. Otro método simple que

se puede utilizar para mantener las cepas es el conocido como método de limitación de oxígeno. Dicho método consiste en esterilizar en autoclave (121 °C, 15 minutos) agua destilada en frascos de vidrio, cuando el agua se ha enfriado se colocan pequeños fragmentos de medio de cultivo con micelio del shiitake en los frascos y se almacenan en refrigeración a 5 °C, tomando la precaución de cubrir los frascos para que se mantengan en oscuridad. Con este método las cepas se pueden mantener hasta 1 año.

Elaboración de inóculo o semilla

Si bien los hongos no tienen semillas, popularmente se conoce como “semilla” o **“inóculo”** al tejido (micelio) del hongo que se ha preparado sobre algún vector, generalmente semillas de cereales, que se utilizará para inocular el sustrato final de cultivo. Una semilla adecuada es aquella que posee un micelio que es capaz de tener un crecimiento rápido cuando invade un sustrato particular.

Para el cultivo comercial del shiitake el inóculo se produce de diferente manera según el sistema de cultivo (troncos o bolsas). Para el cultivo del shiitake en troncos, el inóculo se puede preparar en aserrín o en taquetes de madera, mientras que para el cultivo en bolsas el inóculo se prepara generalmente utilizando semillas. Es muy importante resaltar que para

el cultivo del shiitake no se utiliza madera de pino ya que la gran cantidad de compuestos aromáticos que posee limitan el crecimiento del micelio. El uso de estos diferentes tipos de inóculo depende entre otros factores del costo, disponibilidad, sistema de inoculación y escala de producción. El uso de sustratos no convencionales para el cultivo del shiitake es prometedor para el tratamiento de subproductos agrícolas, pero implica la preparación de un inóculo especial que asegure un adecuado desarrollo del micelio en el sustrato. En sustratos esterilizados, durante la inoculación hay un riesgo de contaminación con esporas de mohos o bacterias presentes en el ambiente. Generalmente, la competencia entre el shiitake y los organismos antagonistas ocurre durante los primeros días después de la inoculación. El uso de cepas de shiitake eficientes, seleccionadas específicamente por su habilidad de colonizar un sustrato no convencional y el uso de un inóculo que produzca un micelio vigoroso, podría ser decisivo para la colonización del sustrato y el éxito del cultivo. Los componentes usados para elaborar el inóculo juegan un papel muy importante en el vigor del micelio y pueden reducir la incidencia de organismos antagonistas que afectan el cultivo del shiitake. De manera general el inóculo para el cultivo del shiitake se puede preparar de tres maneras distintas: inóculo en taquetes, inóculo en aserrín e inóculo en semillas.

a) *Inóculo en taquetes de madera.* Este tipo de inóculo es empleado para el cultivo del shiitake en troncos. Lo más recomendable es utilizar los taquetes del mismo tipo de madera en la que se realizará el cultivo. Se preparan piezas cilíndricas de madera de un diámetro aproximado de 1 cm y 2.5 cm de largo. Los taquetes se deben remojar durante 24 h para que se hidraten perfectamente, después se escurren y se colocan en cajas de Petri o en bolsas de plástico de alta densidad (polipropileno) para ser esterilizados en autoclave a 121 °C durante 1 h. La etapa siguiente se debe realizar en condiciones asépticas, utilizando una **cámara de flujo laminar** o en su defecto varios mecheros de gas. Una vez que se han enfriado los taquetes, se coloca un fragmento de micelio de shiitake que ha crecido en medio de cultivo y las muestras se colocan en condiciones de incubación a 25 °C en oscuridad, hasta que el micelio cubra completamente todos los taquetes. El uso de taquetes de madera facilita enormemente la siembra del shiitake en troncos, ya que no se requieren herramientas especializadas y disminuye el tiempo de trabajo.

b) *Inóculo en aserrín.* Este tipo de inóculo es utilizado tanto para el cultivo en troncos como para el cultivo en bolsas de plástico. Existen varias formulaciones para prepararlo, las cuales se basan

en el uso de aserrín adicionado de distintos componentes que agregan nutrientes y dan cuerpo y estructura al material de base, formando una mezcla homogénea. El material se hidrata por remojo durante 24 h, después se escurre y se coloca en frascos de vidrio o en bolsas de plástico de alta densidad para su esterilización a 121 °C durante 1 h. Al igual que el apartado anterior, la preparación del inóculo se debe realizar en condiciones asépticas. Una vez que la mezcla de aserrín se ha enfriado, se coloca dentro de los frascos o bolsas un fragmento de micelio de shiitake que ha crecido en medio de cultivo y las muestras se incuban a 25 °C en oscuridad, hasta que el micelio cubra completamente el aserrín. En la Tabla 1 se muestra la composición de diferentes formulaciones para preparar inóculo de shiitake en aserrín.

TABLA 1. Diferentes formulaciones (%) para preparar inóculo de shiitake en aserrín

Material	Formulaciones			
	1	2	3	4
Aserrín	77	80	78	88
Cascarilla de arroz	20			
Cascarilla de trigo		20	20	12
Carbonato de calcio	0.5		1	
Nitrato de potasio	0.3			
Sacarosa	2.2		1	

c) *Inóculo en semillas*. Actualmente este tipo de inóculo es muy utilizado ya que facilita las labores de siembra de sustratos preparados en bolsas de plástico. Para la elaboración de este inóculo, se pueden utilizar diferentes semillas como, sorgo, mijo, trigo, centeno, cebada, avena, arroz, entre otros (Figura 5). El objetivo es emplear semillas pequeñas de fácil manejo y que estén disponibles a buen costo. Las semillas se hidratan sumergiéndolas en agua durante al menos 12 horas. Después se drena el exceso de humedad y las semillas se adicionan

con entre el 0.5 y el 1.0 % de una mezcla de cal y yeso (1:1) y se colocan en bolsas de plástico de alta densidad o en frascos de vidrio para su posterior esterilización en una olla de presión o en autoclave (121 °C, 60 minutos). Después de la esterilización, es necesario dejar enfriar completamente las bolsas o frascos con semilla en un área limpia (de preferencia estéril) en donde se llevará a cabo el resto del proceso. Una vez que las muestras están completamente frías, se inoculan con un fragmento de micelio (1 cm² aproximadamente) cultivado



FIGURA 5. Semillas utilizadas con frecuencia en la producción de inóculo de Shiitake.

durante 15 días en un medio de cultivo de PDA o EMA y se colocan en condiciones de incubación (oscuridad, 25 °C) hasta que el micelio cubra completamente las semillas. De esta forma se obtiene lo que se conoce como **Inóculo primario** o **Master** (Figura 6). Después de dos semanas de incubación se debe realizar cuidadosamente una agitación de las semillas para distribuir el micelio y estimular

un rápido crecimiento. Se obtiene un buen estado de maduración del inóculo de shiitake después de 3 a 5 semanas de incubación. La mayoría de los productores comerciales de inóculo utilizan lo que se conoce como **Inóculo secundario**, el cual se obtiene adicionando inóculo primario (aproximadamente 10 %) a nuevas bolsas o frascos con semilla estéril, poniendo especial atención en homoge-



FIGURA 6. Preparación del inóculo primario o master del shiitake en semillas de sorgo. A: hidratación de la semilla. B: Colocación de semillas en bolsas de plástico. C: bolsas con semillas listas para esterilizarse en autoclave. D: inoculación de las semillas con un fragmento de agar con micelio. E: inicio del crecimiento micelial en las semillas. F: inóculo master al final del período de incubación.



FIGURA 7. Preparación del inóculo secundario del shiitake. A: transferencia de semillas de inóculo primario para producir inóculo secundario. B: inóculo secundario al final de la incubación, listo para su uso.



FIGURA 8. Inóculo comercial preparado en semillas de mijo y bolsas con filtro microbiológico. A: presentación tipo cilindro. B: presentación tipo saco.

neizar la distribución de la semilla en las muestras (Figura 7). La incubación del inóculo secundario se lleva a cabo en las mismas condiciones mencionadas anteriormente.

d) *Inóculo mejorado*. Para la preparación del inóculo mejorado se utilizan semillas pequeñas (con frecuencia mijo) y se adicionan algunos elementos ricos en lignina y fenoles, ya que se ha observado que este tipo de inóculo ha permitido una reducción considerable de la contaminación durante los primeros estadios de crecimiento en comparación con el inóculo preparado en grano no suplementado. El uso de distintas fórmulas en la preparación de inóculo, ha demostrado que las cepas de shiitake tienen capacidades de adaptación diferentes para crecer en los componentes del inóculo suplementado (Figura 8). Estas diferencias podrían ser restrictivas para seleccionar cepas con capacidad de adaptación a diversos sustratos de cultivo. Cuando se emplean sustratos alternativos para el cultivo de shiitake (bagazos, pulpas, pajas, etc.), las cepas deben seleccionarse cuidadosamente y tienen que mejorarse sus habilidades. La capacidad de un bongo para crecer en un **sustrato lignocelulósico** se relaciona con el vigor de su micelio, así como con su capacidad de activar mecanismos fisiológicos necesarios para aprovechar adecuadamente los componentes del medio.

En el inóculo suplementado generalmente se utilizan ingredientes con alta capacidad de retención de agua y ricos en compuestos fenólicos como la turba y la pulpa de café (Figura 9). Para la elaboración del inóculo mejorado se siguen los mismos pasos descritos anteriormente, hidratación de los componentes, esterilización del material e inoculación con un fragmento de micelio (1 cm² aproximadamente) cultivado en un medio de cultivo de PDA o EMA y se colocan



FIGURA 9. Inóculo mejorado del shiitake.

en condiciones de incubación (oscuridad, 25 °C) hasta que el micelio cubra completamente todas las semillas.

En la Tabla 2 se muestran algunas opciones para la preparación de inóculo suplementado. Si bien no

existe una clara evidencia de que el uso de inóculo suplementado permita aumentar la productividad de las cepas, sí es bien conocido que aumenta la capacidad para competir con los mohos antagonistas del género *Trichoderma*.

TABLA 2. Diferentes formulaciones (%) para la preparación de inóculo suplementado

Ingredientes	Formulaciones					
	1	2	3	4	5	6
Sorgo	88.5	88.5	88.5			
Mijo				88.5	88.5	88.5
Turba + yeso (1:1)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Polvo de pulpa de café	9.0			9.0		
Salvado de trigo		9.0			9.0	
Polvo de paja de trigo			9.0			9.0

3. Cultivo tradicional en troncos de encino

El cultivo en troncos tiene la ventaja de ser de bajo costo de implementación pero con producción sobre todo estacional, generalmente en otoño y en primavera, estaciones en las que se dan las condiciones naturales de temperatura y humedad para que el hongo fructifique.

Tradicionalmente, los troncos empleados para el cultivo de shiitake eran de encino *Quercus* spp., árboles pertenecientes a la familia Fagaceae, pero en la actualidad su cultivo se ha extendido a otras especies de árboles (Tabla 3).

TABLA 3. Especies de árboles probadas a nivel mundial para el cultivo de shiitake

Familia	Género	Especie	Nombre común
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>alba, bicolor, candicans*, dentata*, fabri, glauca, laurifolia*, macrocarpa*, nigra, rubra, salicifolia*, semiserrata, serrata, spinosa, velutina, virginiana</i>	Encino
	<i>Fagus</i>	<i>grandifolia</i> subsp. <i>mexicana*</i> , <i>sylvestris</i>	Haya
	<i>Castanopsis</i>	<i>argentea, chrysophylla, cuspidata, indica</i>	Chincapín
	<i>Lithocarpus</i>	<i>auriculatus, densiflorus, glaber</i>	
	<i>Castanea</i>	<i>crenata, dentata</i>	Castaño
Betulaceae	<i>Carpinus</i>	<i>caroliniana*, japonica, laxiflora</i>	Pipínque
	<i>Alnus</i>	<i>glutinosa, firma japonica, rubra, serrulata, tinctoria</i>	Aliso, Ilite
	<i>Betula</i>	<i>lutea, nigra, papyrifera, populifolia</i>	Abedul
Salicaceae	<i>Populus</i> <i>Salix</i>	<i>balsamifera, grandidentata, tremuloides, trichocarpa, nigra</i>	Álamo o Chopo Sauce
Sapindaceae	<i>Acer</i>	<i>nigrum*, pictum, platanoides, rubrum*, saccharum*</i>	Arce, Maple
Hamamelidaceae	<i>Liquidambar</i>	<i>styraciflua*</i>	Liquidámbar, Vito pijte o Copalme

*Especies silvestres o introducidas en México

El proceso de cultivo en troncos se divide en las siguientes etapas:

- Preparación de los troncos
- Inoculación
- Incubación
- Inducción a la fructificación
- Producción
- Cosecha

Preparación de los troncos

Para iniciar el cultivo de shiitake en troncos, éstos son generalmente cortados durante el otoño y se pueden inocular en 15 a 30 días después del corte. Si los tron-

cos son cortados durante el verano, la corteza se desprende con facilidad e incrementa la posibilidad de contaminación por organismos competidores, además el contenido de azúcares presentes en la madera es menor. El tamaño adecuado para los troncos es de un diámetro de 7 a 15 cm y una longitud de 1 a 1.5 m.

Inoculación

A cada tronco se le hacen perforaciones con un taladro eléctrico, éstas son de 1-1.5 cm de diámetro y de 2-2.5 cm de profundidad, espaciados de 20 a 30 cm del eje longitudinal del tronco y con 5-6 cm entre cada hilera del eje (Figura 10). El número de



FIGURA 10. Preparación de troncos para el cultivo del shiitake. A: perforación de los troncos para la inoculación de shiitake. B: esquema de un corte longitudinal de un tronco con las características de perforación.

perforaciones es de aproximadamente 2 por cada 30 cm² de madera (Figura 11). El inóculo para los troncos puede ser el preparado en taquetes de madera o con aserrín. Posteriormente las perforaciones son

selladas preferentemente con cera de abeja o con parafina para evitar la pérdida de humedad del inóculo y para prevenir la entrada a otros microorganismos (Figura 12).

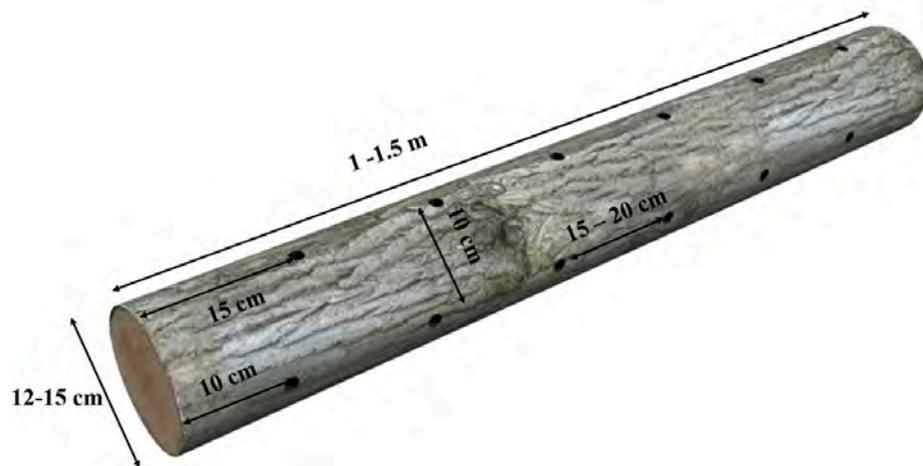


FIGURA 11. Esquema longitudinal de un tronco y la disposición de las perforaciones.

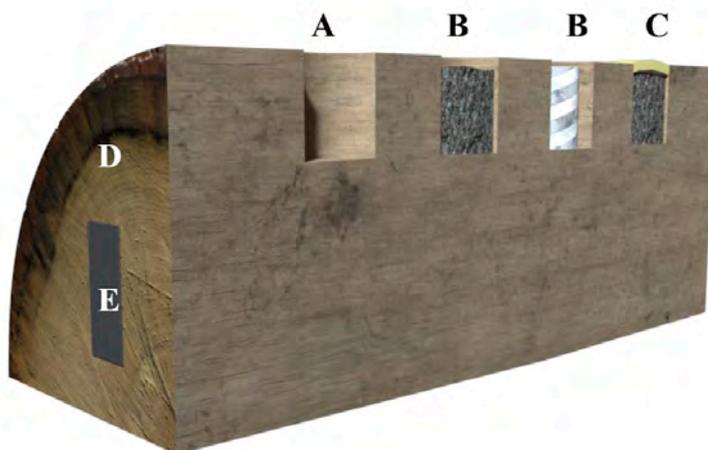


FIGURA 12. Procedimiento para la inoculación de shiitake en tronco. A: realizar la perforación. B: sembrar con inóculo preparado en aserrín o taquetes. C: colocar la cera para el sellado. D: colocar cera en los extremos del tronco (opcional). E: etiquetar.

Incubación

Después de la inoculación los troncos se acomodan de manera adecuada para permitir el crecimiento micelial y la colonización de la madera (Figura 13). El tiempo de incubación es de 6 a 12 meses dependiendo de la especie de árbol utilizada, tamaño del tronco, tipo de inóculo, humedad y temperatura, entre otros factores. La temperatura de incubación que favorece el crecimiento es de 20 a 25 °C. La humedad recomendable en los troncos es de 35 a 55% y se prefiere una sombra de 60 a 85%.



FIGURA 13. Acomodo de los troncos durante el periodo de incubación. A: armazón en forma de A. B: armazón en empalizada. C: armazón inclinada (los acomodos A y C pueden funcionar para incubación y producción).

Inducción a la fructificación

Después del período de incubación, los troncos son sumergidos en agua a 10 °C por 12 h para inducir la fructificación. Posteriormente son colocados en con-

diciones naturales o de invernadero, arreglados de tal forma se favorezca la producción de los hongos, a una temperatura de 15 a 20 °C y una humedad relativa de 85 a 90 % (Figura 14).



FIGURA 14. Desarrollo de basidiomas de shiitake en troncos de encino, cultivado bajo condiciones naturales.

Producción

Después de la inducción, los troncos se colocan en posición vertical o semi-inclinada, en un lugar ventilado y sombreado. Se acomodan de tal manera que quede espacio entre ellos para que los carpóforos (hongos) se desarrollen de manera adecuada. En el arreglo de los troncos, se debe dejar pasillos que permitan realizar la cosecha por parte del personal. Las condiciones que se deben mantener son, una sombra de 60 a 85%, la cual se puede proporcionar a través de una malla, una humedad relativa del 85 al 90% y una temperatura de 15 a 20 °C.

El área de producción además ser ventilada debe recibir un fotoperíodo de 9-12 h. El periodo de formación de primordios dura 3-10 días y el de cosecha de 14-21. Después de esta primera cosecha es necesario dejar recuperar a los troncos por 30-120 días, para posteriormente iniciar la segunda cosecha, después de un nuevo periodo de inducción. Bajo estas condiciones, la cosecha en los troncos se puede prolongar entre 2-5 años. Si el cultivo se realiza al aire libre, en promedio se producen 2 cosechas por año; una durante el otoño y otra durante la primavera.

Cosecha

Los carpóforos se deben cortar desde su base en el momento en que el velo parcial del píleo (sombrero) se ha desprendido completamente del estípite (pie) y el hongo se encuentra turgente y su píleo semi-extendido. El shiitake se puede conservar en seco o fresco, aunque mayormente se comercializa seco.

Este método tradicional del cultivo de shiitake en troncos tiene algunas ventajas y desventajas que deben ser consideradas:

- Se puede realizar con infraestructura relativamente sencilla y con una inversión económicamente baja.
- Sin embargo, la producción se obtiene a largo plazo.
- Puede ser afectada por variaciones climáticas, dependiendo de la zona o región de cultivo.

Se recomienda que este cultivo se realice en regiones templadas húmedas, con variación de temperaturas de 15 °C a 23 °C.

4. Cultivo moderno en residuos de madera

El cultivo tradicional de shiitake se realiza sobre troncos de encino (*Quercus* spp.), generalmente a la intemperie, no obstante, la mayor parte de la producción en México y otras partes del mundo se obtiene con mezclas a base de viruta de encino con suplementos. El uso de residuos de madera diferentes al encino para el cultivo de shiitake, representa una alternativa viable para su aprovechamiento. Estos sustratos alternativos generan un producto de alta calidad con excelentes rendimientos; entre éstos se encuentran algunas virutas de madera de *Carpinus*, *Bursera*, *Alnus*, *Nothofagus*, *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* y *Eliocarpus*, entre otros, inclusive madera de vid. Se han utilizado otros sustratos en combinación con viruta de encino como paja de trigo, cascarilla de cacao y semillas de algodón, produciendo rendimientos aceptables.

Cultivo en bolsas, bloques o troncos sintéticos

El aserrín o viruta de diferentes maderas, es el ingrediente principal comúnmente utilizado para el cultivo de shiitake en bolsas o troncos sintéticos, como

sustrato único o combinado con pajas, olote de maíz y bagazo de caña, entre otros. Si los fragmentos de sustrato son muy grandes, es necesario reducir su tamaño (segmentos de 3 a 5 cm). Como suplementos se utilizan, principalmente, salvado del trigo, salvado del arroz, mijo, centeno y maíz, entre otros. Los suplementos sirven como fuente de nutrientes para un óptimo crecimiento del hongo. Los ingredientes se mezclan y se les agrega agua hasta alcanzar una humedad entre el 60 y 70%. La mezcla se coloca en bolsas de plástico resistentes al calor, en cantidades de 2.5 a 5.0 kg de sustrato fresco por bolsa. Las bolsas utilizadas son, principalmente, de polipropileno y deben de contar con un filtro para permitir el intercambio de gas. La esterilización de las bolsas con sustrato es a 121 °C por 1.5 h, se dejan enfriar y se les agrega el inóculo, a una tasa del 3 al 5% con base al peso húmedo del sustrato utilizado. La incubación se realiza en oscuridad a 25 °C. El micelio cubre el sustrato en 35 a 40 días, se empiezan a formar protuberancias que no son otra cosa que agregaciones hifales. También se forma un pigmento café oscuro y posteriormente viene el endurecimiento de la cubierta (Figura 15).



FIGURA 15. Etapas de crecimiento de shiitake en aserrín de encino, durante el periodo de incubación. A: inicio del crecimiento micelial. B: fin de la incubación con el micelio mostrando el inicio de la formación del estroma (oscurecimiento del sustrato).



FIGURA 16. Fructificación del shiitake. A: primordios. B: etapa adulta de basidiomas cultivados en aserrín de encino.

Al quitar la bolsa al bloque, éstos se someten a una inducción de fructificación a baja temperatura o remojo. También se pueden colocar simplemente en el área de producción a 16-18 °C y 85-90% de humedad relativa. A las 3 a 4 semanas aparecen los primordios y 7 a 10 días más tarde los hongos son adultos (Figura 16).

Las ventajas principales de utilizar las bolsas o bloques en lugar de la producción en troncos, es que los tiempos de producción se acortan y el rendimiento

aumenta. El ciclo de cultivo es de 4 a 6 meses a partir de la inoculación hasta la última cosecha. Las **eficiencias biológicas** varían de 75 a 125 %. En contraste, el ciclo de cultivo en troncos naturales es de aproximadamente 6 años con una eficiencia biológica promedio de 33%. Como desventajas del sistema de cultivo en bolsas, podemos mencionar que se requiere mayor infraestructura, un amplio conocimiento sobre la biología del hongo y es necesaria alta experiencia en el manejo de la tecnología del mismo.

TABLA 4. Formulaciones de sustrato a base de aserrín de madera, utilizados para la producción de shiitake, con una concentración final de humedad de la mezcla de 65-70%

Fórmula 1		Fórmula 2	
Aserrín	77 *	Aserrín	75
Mijo	10	Desechos de maíz	23
Olote de maíz	10	Carbonato de calcio	2
Turba	1.5		
Yeso	1.5		
Fórmula 3		Fórmula 4	
Aserrín	95	Aserrín	50
Salvado de arroz	3	Salvado de trigo	1.5
Salvado de trigo	1	Harina de maíz	1.0
Carbonato de calcio	1	Bagazo de caña	0.6
		Yeso	1.5
		Sulfato de amonio	0.02
		Superfosfato de calcio	0.03
Fórmula 5			
Aserrín	100		
Salvado de trigo	25		
Yeso	2.5		
Superfosfato de calcio	0.5		
Sacarosa	1.5		

* Cantidades en kg.

5. Utilización de sustratos alternativos

Cuando el shiitake se cultiva utilizando subproductos agrícolas, es necesario colocar dichos subproductos en bolsas de plástico de alta densidad para someterlos a un proceso de esterilización en autoclave. Este sistema, aunque muy efectivo, es bastante costoso para su implementación comercial, no solamente por el sistema de esterilización en si mismo, sino por que la condición de esterilidad del sustrato obliga a continuar todo el proceso en un ambiente estéril. Con el objetivo de disminuir la inversión inicial y los costos de producción, desde la década de 1990 se desarrolló en Francia un método para utilizar paja de cereales pasteurizada con vapor como sustrato principal para el cultivo del shiitake. Este proceso es menos costoso, pero requiere una selección rigurosa de cepas, así como la producción de un inóculo de rápido crecimiento que ayude a limitar el crecimiento de **mohos antagonistas**.

La utilización de las bolsas de plástico abre la posibilidad de emplear diferentes tipos de sustrato para el cultivo del shiitake. Sin embargo, tales sustratos deben ser ricos en su contenido de **celulosa** y **lignina**. Para seleccionar un sustrato, es importante considerar que sea abundante, de fácil acceso y de bajo costo.

Muchos sustratos se pueden adaptar de forma relativamente fácil para el cultivo de shiitake a través de procesos simples tales como remojo y fermentación. De forma experimental se ha probado muchos sustratos con potencial para el cultivo de shiitake como la cáscara de café, la pulpa de café, los granos de café usados, el bagazo de caña de azúcar, las mazorcas de maíz, la paja de mijo, la paja de trigo, las hojas de té, las cascacas de cacahuete, semillas de algodón y de girasol, así como el polvo de pasto seco y el lirio acuático, entre otros.

Preparación de la paja

En virtud de que la paja no es un sustrato en el que el shiitake se desarrolle de manera natural, es necesario procesarlo con la finalidad de transformarlo en un sustrato lo más selectivo posible. Tanto la composición de los materiales del sustrato como el tratamiento térmico tienen efectos sustanciales en la selectividad del sustrato. Un **sustrato selectivo** debe favorecer el crecimiento del micelio de shiitake a la vez que inhibe el crecimiento de los competidores. En el cultivo del shiitake se pueden utilizar pajas de diferentes cerea-

les como trigo, cebada o avena. Para la preparación del sustrato es necesario reducir el tamaño de partícula de la paja por lo que se debe triturar en trozos de 4 a 6 cm de longitud para facilitar su manipulación durante la pasteurización y el embolsado. La paja se hidrata después por remojo en agua durante 6 a 12 horas a temperatura ambiente, se drena y luego se mezcla con 2 a 10% (peso seco) de yeso. Con el fin de enriquecer el contenido nutricional del sustrato se pueden agregar varios suplementos que contienen materiales que faltan en la paja de trigo, básicamente nitrógeno y oligoelementos (Figura 17). Usualmente

se agregan hasta 4 kg de harina de soya por tonelada de paja, lo que permite aumentar el rendimiento hasta en un 30 %. Sin embargo, se debe considerar que al enriquecer el sustrato este va perdiendo especificidad y aumenta el riesgo de contaminación del mismo. Por lo tanto, se recomienda agregar solo pequeñas cantidades de suplementos ya que de otra manera se tendría que esterilizar el sustrato. Existen otros suplementos que mejoran la competitividad del shiitake frente a los mohos, conocidos como mohos verdes (*Trichoderma* spp.), y que le permiten un desarrollo vigoroso del micelio. Por ejemplo, la **turba o**



FIGURA 17. Preparación del sustrato a base de paja. A: hidratación de la paja fragmentada. B: mezcla de la paja con suplementos nutritivos.

peat moss, el aserrín, la viruta y otros derivados de la madera no solo tienen propiedades absorbentes, sino que también contienen compuestos fenólicos que la mayoría de los competidores no pueden degradar fácilmente. El shiitake puede degradar estos componentes de la madera a través de la secreción de enzimas oxidativas, por lo que el micelio de shiitake tendría acceso casi exclusivo a estos suplementos. Se ha mostrado que con la adición de turba a un sustrato preparado a base de paja de trigo, se logra una disminución significativa en la tasa de contaminación por *Trichoderma* (hasta 50%) y un ligero aumento en el rendimiento de la producción de hongos (hasta 30%). Es muy importante señalar que el shiitake, como la mayoría de los hongos comestibles no tiene capacidad para degradar la madera de pino, por tal motivo las maderas que se empleen como suplementos deben ser aquellas que se muestran en la Tabla 3.

Tratamiento térmico con vapor

Con la finalidad de disminuir las poblaciones microbianas presentes en la paja de trigo, este sustrato debe recibir un tratamiento térmico conocido como pasteurización. El sustrato se coloca en recipientes (canastillas u otro tipo de contenedores) o directamente en salas especiales para la pasteurización, la cual se lleva a cabo suministrando vapor a 65 °C durante 6

horas aproximadamente. Después la paja se debe enfriar alcanzando la temperatura ambiente (Figura 18). El contenido de humedad del sustrato después de la pasteurización debe ser de aproximadamente el 70%. Para lograr una pasteurización homogénea se debe procurar que exista una recirculación del vapor para que la temperatura a través del sustrato sea uniforme. Usualmente las cámaras de vapor están equipadas con motores que mueven el vapor de manera ascendente desde la parte inferior de la cámara hasta la parte superior a través del sustrato. Si es posible, el sistema de recirculación de vapor debe tener un filtro de aire para favorecer el enfriamiento del sustrato al final del proceso. En esta etapa del proceso lo más importante es mantener la temperatura estable a 65 °C, ya que si la temperatura aumenta demasiado se producirá un sustrato muy semejante al que se obtendría a través de la esterilización lo que dificultaría el proceso. Controlando la temperatura a 65 °C se obtendrá un sustrato selectivo que favorecerá el desarrollo micelial de shiitake.

Siembra e incubación del sustrato

Cuando el sustrato se ha preparado adecuadamente las condiciones asépticas no son necesarias porque el sustrato no está esterilizado. La siembra del sustrato se realiza de manera simple mezclando la semilla con



FIGURA 18. Diferentes equipos para la pasteurización de la paja. A: túnel de pasteurización de doble puerta. B: cuarto de pasteurización con el sustrato colocado directamente en el piso. C: pasteurizador metálico móvil y desarmable. D: pasteurizador metálico fijo.



FIGURA 19. Siembra manual del shiitake en bolsas de plástico. A: distribución del inóculo. B: bolsa sembrada y cerrada.

la paja en un ambiente limpio. La siembra de la paja se puede realizar de forma manual, mezclando el sustrato con la semilla en bolsas de plástico transparentes (Figura 19) o utilizando sembradoras mecánicas que permiten eficientizar el proceso. Dependiendo de la cepa y las condiciones de cultivo la tasa de inóculo varía entre 5 y 7 %. Para aumentar la competitividad del shiitake durante los primeros días después de la siembra, se recomienda utilizar el inóculo mejorado ya que permite obtener un micelio más vigoroso y de crecimiento rápido, adaptado a los componentes del sustrato y capaz de colonizar todas las partículas. Se recomienda limitar el uso de suplementos en sustratos de paja de trigo para prevenir el crecimiento de bacterias y mohos que son competidores del shiitake

y que pueden mermar significativamente la producción. Un día después de la siembra se deben realizar pequeñas perforaciones en las bolsas de plástico para permitir la respiración del micelio. Las bolsas con sustrato sembrado de shiitake varían de tamaño dependiendo del método utilizado por los productores y pueden contener entre 5 y 16 kg, el número de perforaciones a realizar en la bolsa es de aproximadamente 3 perforaciones / kg de sustrato (generalmente de 0.5 cm de diámetro).

La incubación es una de las fases más importantes en el cultivo de los hongos comestibles, más aún cuando se utilizan sustratos que son muy diferentes en su composición química al sustrato natural en que crecen los hongos. En los sustratos alternativos,

como la paja de cereales, la competencia entre el shiitake y algunos mohos verdes (principalmente del género *Trichoderma*) es decisiva durante las primeras semanas. Si el micelio del shiitake ha colonizado el sustrato rápidamente y con un crecimiento vigoroso, la presencia de los mohos antagonistas no tendrá consecuencias mayores. Pero, si por el contrario, los mohos han colonizado el sustrato, la producción del shiitake será inviable. La incubación debe realizarse a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ en oscuridad (Figura 20). El período de incubación, cuando se utiliza paja de cereales como sustrato, se recomienda que sea de entre 45 a 60 días, dependiendo de la cepa. Durante el período de incubación, el micelio del shiitake invadirá poco a poco el sustrato y el color blanco del micelio ocupará toda la superficie del sustrato. Al final del período de incubación es necesario proporcionar un ciclo de 12 horas luz / 12 horas oscuridad con la finalidad de favorecer un cambio de color en el micelio del shiitake, que se tornará paulatinamente de color café oscuro formando una especie de corteza que es conocida como **estroma** o **pseudoesclerocio**, lo que indica que el micelio está listo para la fructificación. Durante la incubación las bolsas se colocan en estantes dentro de salas en donde se brindan las condiciones adecuadas para la colonización del sustrato (Figura 21). A veces los cultivadores de shiitake prefieren usar bolsas pre-perforadas porque si el sustrato se ha pre-

parado adecuadamente no debería haber problemas de contaminación. Muchos productores colocan sus bolsas en salas que están adaptadas para realizar la incubación y la producción de basidiomas, pero algunos productores prefieren tener salas específicas para llevar a cabo solo la incubación de las bolsas inoculadas. Cuando se utilizan sustratos alternativos, específicamente paja de cereales, la selección de las cepas es sumamente importante. Debido a que existen relativamente pocas cepas de shiitake que están bien adaptadas para el crecimiento y fructificación en paja de cereales pasteurizada, se recomienda que los cultivadores elijan una variedad de shiitake con alta competitividad. El uso de inóculo mejorado ayuda también a reducir considerablemente la contaminación del sustrato. Por otra parte, la adición de viruta o aserrín de madera puede también aumentar sustancialmente la producción de basidiomas.

Producción de shiitake en paja

Al terminar el período de incubación, se retiran las bolsas de plástico y el sustrato presentará un aspecto de bloque compacto. Los bloques de sustrato se rocían con agua fría y la temperatura ambiente debe ajustarse entre 17 y 19 °C. Para favorecer el desarrollo de los basidiomas del shiitake se debe mantener una humedad relativa del 90% y un ciclo de 12 horas de



FIGURA 20. Incubación del shiitake en bolsas de plástico con paja. A: inicio del crecimiento micelial. B: colocación de bolsas en estantes. C-E: incubación a gran escala en plantas productoras comerciales. F: control de la temperatura al interior del sustrato.



FIGURA 21. Salas para el cultivo comercial del shiitake.
A-B: cultivo utilizando estantes de madera. C-D: cultivo en estantes metálicos con bolsas colgantes.

luz / 12 horas de oscuridad. La primera cosecha se obtendrá entre 60 y 75 días después de la siembra. En general, la primera cosecha es la más abundante, con un 50-70% de la cosecha total, dependiendo de

la cepa y las condiciones de crecimiento. Los hongos se deben cosechar cuando estén turgentes y antes de que el píleo se extienda completamente (Figura 22). La cosecha se realiza generalmente a mano, tomando



FIGURA 22. Producción de basidiomas de shiitake en paja. A: formación de primordios. B-D: ejemplares maduros de shiitake.

los hongos por la base y girándolos ligeramente para que puedan eliminarse sin daño físico. Para inducir la segunda cosecha y las cosechas posteriores, los bloques pueden rehidratarse remojándolos en agua durante 12 horas. El remojo de los bloques es un método utilizado frecuentemente debido a que el crecimiento micelial compacta el sustrato y dificulta la hidratación de las muestras. La formación del estroma protege las muestras de la deshidratación, pero al mismo tiempo dificulta la absorción de la humedad ambiental. Cuando se brindan las condiciones ideales para el crecimiento del shiitake la cosecha se puede extender entre 12 a 16 semanas y la eficiencia biológica puede alcanzar entre el 50 y el 100 % (Tabla 5).

Durante la fase de fructificación el control de la ventilación y la humedad relativa son esenciales ya que ambos factores pueden influenciar la morfología de los basidiomas obtenidos. Algunas variedades de shiitake producen basidiomas con muchas escamas, mientras que otras producen hongos de píleo prácticamente liso. Los cultivadores comerciales han logrado implementar variaciones en los factores ambientales que les permiten obtener una calidad muy homogénea para ofrecer al mercado.

TABLA 5. Eficiencia biológica del shiitake obtenida en paja de cereales con diferentes tratamientos térmicos y tipos de inóculo, comparada con algunos sustratos

Sustrato	Tratamiento térmico	Tipo de inóculo	Eficiencia biológica (%)
Paja de trigo	PV	S	16 - 60
		M	59 - 116
	PAC	M	56 - 188
		E	75 - 67
Paja de arroz	E	S	50
Olote de maíz	E	S	80
Bagazo de caña	E	M	133

PV = pasteurización con vapor, PAC = pasteurización en agua caliente, E = esterilización en autoclave, S = inóculo convencional preparado en semillas, M = mejorado.

6. Plagas y enfermedades

Existen una serie de factores que afectan la producción de los hongos durante las diferentes etapas de cultivo, es común que se presenten problemas de contaminación por hongos, bacterias y virus, así como plagas de insectos, nemátodos y roedores, entre otros (Figura 23).

Insectos

Son varios los insectos que atacan los cultivos de shiitake, pero destacan las llamadas moscas de los hongos, las moscas de las frutas, las moscas del vina-



FIGURA 23. Plagas y enfermedades más comunes en el shiitake. A: *Stemonitis* en desarrollo sobre muestras de shiitake cultivado en paja. B: *Trichoderma* sp. en muestras de shiitake cultivado en paja, durante la fase de incubación. C: *Trichoderma* sp. sobre muestras de shiitake cultivado en aserrín de madera. D: Catarina (*Mycotretus* sp.) sobre hongos en pleno desarrollo.

gre y las catarinas, que causan daños a los cultivos desde la incubación del micelio hasta el desarrollo de los basidiomas.

La mosca de los hongos es la plaga más común. Estos insectos se adscriben al grupo de los **dípteros**, género *Lycoriella* y tienen una amplia distribución geográfica y en su hábitat natural se le puede encontrar atacando a los hongos silvestres, entre otros **hospederos**. Se les observa frecuentemente en cultivos de champiñón, setas y shiitake. Estos insectos, aunque prosperan en cualquier etapa del cultivo de los hongos, tienen una preferencia por la fase incubación, ya que ahí depositan sus huevecillos sobre el sustrato y posteriormente sus larvas se desarrollan y alimentan del micelio. El mayor daño es cuando las larvas hacen perforaciones en los hongos, ya que éstos dejan de tener una aceptación comercial. Aunado a esto, los insectos adultos son transmisores de otras enfermedades fúngicas y bacterianas, principalmente, esto ocurre al transportar en sus patas esporas o sustancias contaminantes.

Estas moscas son de 3 a 4 mm de largo, con dos antenas largas multisegmentadas, alas delgadas, membranosas y de escasa venación. El abdomen de la hembra es más grande que el del macho, por lo que a simple vista parecen especies diferentes. Una hembra es capaz de poner alrededor de 140 huevecillos. Las larvas son de 6 a 12 mm de largo, con 12

secciones abdominales, cuerpo blanco o semitransparente y una cabeza negra brillante. Su ciclo de vida lo realizan en aproximadamente en 2 a 3 semanas.

Las catarinas son pequeños escarabajos (coleópteros), adscritos a los géneros *Mycotretus* y *Pseudyschirus*. Son comunes en regiones tropicales y subtropicales y en los módulos de producción de hongos consumen las fructificaciones en desarrollo.

Roedores

En este grupo de animales se incluyen pequeños mamíferos, como las ratas y los ratones. Los problemas con estos animales son generalmente en los cultivos en troncos y en módulos de cultivo de construcción tipo rústica, donde existen huecos o espacios por donde pueden ingresar. Para su control, el local debe revisarse periódicamente para localizar posibles conductos de entrada, como desagües, coladeras, entre otros. Se deben de colocar trampas y evitar el uso de venenos que pueden contaminar los hongos.

Hongos y bacterias

Los hongos contaminantes constituyen, quizás, el principal problema en las plantas cultivadoras de hongos, debido a su alta frecuencia y a lo difícil de su

erradicación. Se trata de la presencia de mohos que proliferan con gran rapidez y facilidad por lo que se debe tener un estricto control de la limpieza en cada una de las etapas de cultivo, especialmente durante la preparación y siembra del sustrato, así como durante la incubación del micelio. así como en los controles de acceso a la planta. Entre los principales hongos que provocan contaminación a los cultivos son los que a continuación se mencionan:

Trichoderma spp. Son mohos verdes, cosmopolitas, crecen en diversos materiales orgánicos y en el suelo. Están adaptados a diferentes condiciones ambientales y a eso se debe su amplia distribución. Algunas especies se desarrollan en localidades secas y templadas y otras en regiones templadas y frías. Durante su ciclo de vida pueden presentar dos formas: a) estado perfecto, denominado *Hypocrea*, poco común en cultivos de *Pleurotus*, pero abundante en *Lentinula*, donde se presenta como pequeñas protuberancias gruesas de micelio de color crema, amarillo o café rojizo, blandos cuando jóvenes y duros de adultos; y b) estado imperfecto o anamorfo, denominado género *Trichoderma*, que incluye varias especies presentes en los cultivos de hongos, *T. viride*, *T. harzianum*, *T. aureoviride*, *T. koenigii* y *T. pseudokoenigii*. Las esporas de estos hongos son rápidamente dispersadas por aire, agua, por insectos o por el mismo personal y el equipo utilizado en la planta.

Penicillium spp. Las especies de *Penicillium* presentan una coloración verde y de estructura polvorienta por lo que pueden ser confundidas frecuentemente con *Trichoderma*. Varias especies de *Penicillium* están asociadas al cultivo de shiitake, dese la cepa, el inóculo y el sustrato. Sus esporas se propagan rápidamente por el aire y su desarrollo se ve favorecido a una temperatura de 28°C.

Aspergillus spp. Son mohos comunes que también se presentan en las diferentes fases del cultivo de shiitake. Estos hongos se desarrollan mejor a un pH alcalino y es común también verlos crecer sobre utensilios de trabajo, muebles y paredes, entre otros. Las especies del género presentan aspecto polvoriento en diferentes colores, desde amarillo, negro y verde, éste último es el más común, por lo que se confunde con *Trichoderma* y *Penicillium*. Las especies más frecuentemente encontradas en los cultivos de shiitake son *A. niger*, el cuál presenta una coloración negra y *A. versicolor*, con una tonalidad de verde a amarillo.

Cuando el cultivo de shiitake se realiza en troncos, además de los géneros de hongos descritos, es común observar otras especies que tradicionalmente atacan la madera muerta y que en este caso, afectan el adecuado desarrollo de los basidiomas. Entre ellos se pueden citar los siguientes: *Stemonitis splendens*, *S. fusca*, *Poria versipora*, *P. vaporaria*, *Hypoxyylon truncatum*, *H. coccineum*, *Diatrype stigma*, *Trichoderma polys-*

porum, *T. viride*, *Coriolus versicolor*, *Inonotus xeranticus*, *Merulius tremellosus*, *Cryptoderma citrinum*, *Lenzites vetulina*, *Schizophyllum commune*, *Trametes sanguinea*, *Panellus stypticus* *Hypocrea schweinitzii*, *Bulgaria inquinans* y *B. polymorpha*, entre otros.

Las enfermedades por hongos pueden clasificarse en tres categorías, basado en el grado de daño que causan: 1) hongos que son capaces de atacar y matar al micelio d shiitake, 2) hongos competidores que no atacan al shiitake pero provocan una disminución de la cosecha de hongos por ocupar espacio y nutrientes de los troncos, 3) hongos maleza, llamados comúnmente así porque se desarrollan a lo largo del tronco y limitan el crecimiento de shiitake.

El shiitake después de ser recolectado, también está expuesto a enfermedades, las cuales pueden provocar grandes pérdidas. La infección posterior a la cosecha se ve favorecida por las lesiones mecánicas sufridas sobre el tejido del hongo y por insectos, principalmente. El proceso de infección y el desarrollo posterior de la enfermedad se ve fuertemente afectada por la condición fisiológica, la temperatura y la humedad de conservación de los hongos. Si las condiciones de almacenamiento son inadecuadas, los hongos pueden ser invadidos por insectos o roedores,

los cuales pueden transmitir alguna enfermedad bacteriana o vírica. Otra causa común es el ataque por otra variedad de hongos, como *Mycogone pernicioso*, que es un moho blanquecino que aparece en las fructificaciones. Por otra parte, entre las bacterias que aparecen como contaminantes del shiitake se encuentran las del género *Pseudomonas*.

Para el control y erradicación de los contaminantes se deben seguir varias medidas, entre ellas: mantener los parámetros ambientales favorables para el desarrollo de los hongos, como la temperatura, además de una correcta esterilización del sustrato, un adecuado manejo de la higiene en el momento de la siembra, así también desechar inmediatamente las muestras en las que aparezcan contaminantes como mohos verdes, entre otros. Para prevenir la proliferación de insectos en las áreas de cultivo, es necesario colocar en las entradas de aire, telas tipo malla y poner trampas con atrayentes para insectos. Por último, cabe mencionar que el control de contaminantes, plagas y enfermedades depende en gran medida de la higiene en el personal y las instalaciones, esto es, se debe hacer limpieza periódica de pisos, paredes, mesas de trabajo y utensilios y contar con controles de acceso del personal a las diferentes áreas de trabajo.

7. Comercialización

Durante la cosecha, las fructificaciones de los hongos son separadas del sustrato que le estaba aportando nutrientes, pero aún no perecen, sino que siguen realizando algunas funciones metabólicas que finalmente provocan el envejecimiento y muerte del basidioma. Esta etapa es conocida como postcosecha o vida de anaquel.

Los hongos son un **alimento** altamente **percedero**, con una vida de anaquel corta que puede causar inconveniencias para su distribución y comercialización. Esta corta vida de anaquel se debe principalmente a su alta tasa de respiración, pérdida del contenido de humedad, oscurecimiento por la acción de **enzimas** secretadas por el mismo hongo y un rápido deterioro microbiológico provocado por bacterias (principalmente del grupo de *Pseudomonas*) y mohos. En promedio, los hongos pueden durar de 1 a 3 días a temperatura ambiente y hasta 2 semanas en refrigeración (2-4°C), aunque estos tiempos pueden variar dependiendo de las condiciones de manejo y almacenaje.

Para comercializar un producto de calidad, es importante considerar que la vida de anaquel comienza desde el momento del corte de las fructifi-

caciones, por lo que una vez que empiezan a formarse los primordios, es importante estar atentos a su desarrollo hasta alcanzar la etapa de madurez, tratando de cosechar selectiva y diariamente los basidiomas, con la finalidad de permitir su crecimiento máximo (Figura 24). El estado de desarrollo recomendado para realizar la cosecha es antes de que el sombrero esté completamente extendido, aunque también hay mercado para el producto en etapas tardías, cuando el píleo está abriéndose y se pueden observar las láminas internas.

Existen diferentes métodos para prolongar la vida de anaquel del shiitake, cuya finalidad es retrasar (enfriamiento) o detener (secado, liofilizado, enlatado) el deterioro del producto, sin afectar sus propiedades nutrimentales y medicinales. La elección del método a aplicar dependerá de las preferencias de los consumidores a quien va dirigido el producto.

Refrigeración

La forma más económica y accesible de comercializar los hongos es colocarlos en contenedores de unicel (poliestireno), cubiertos con una o varias capas de



FIGURA 24. Venta de shiitake fresco a granel.

plástico (polipropileno o polietileno) y mantenerlos en refrigeración (2-4°C) hasta su venta (Figura 25). Si bien este método retarda el deterioro de los hongos, la falta de control del intercambio gaseoso dentro del paquete influye en la calidad del hongo.

Para optimizar la vida de anaquel de los hongos en refrigeración, se utilizan cámaras frigoríficas con capacidad de controlar o modificar la composición gaseosa de la atmósfera. En el primer caso, se sustituyen las condiciones del aire interno de la cámara, disminuyendo el contenido de oxígeno (O_2) e incrementado la presencia de dióxido de carbono (CO_2). El CO_2 elevado inhibe el crecimiento de microorganismos, la tasa de respiración de los hongos y la acción del etileno, retrasando la descomposición del producto.

Mientras que, en el almacenamiento en atmósferas modificadas, los hongos son previamente empacados utilizando charolas y cubiertas plásticas microperforadas y entonces se modifica la atmósfera interna de envasado. Debido a que el shiitake presenta una mayor tasa de respiración y sensibilidad al CO_2 que otros hongos cultivados, es recomendable mantener una composición de gases dentro del empaque de 2% de O_2 y 10-13% de CO_2 , para evitar un deterioro temprano de los hongos.

Deshidratación

A diferencia de otras especies de hongos cultivados, como el champiñón (*Agaricus bisporus*) o las setas



FIGURA 25. Hongos refrigerados para su venta comercial.



FIGURA 26. Diferentes presentaciones de shiitake en seco.

(*Pleurotus* spp.), que mayoritariamente se comercializan frescos, el shiitake deshidratado tiene gran aceptación y alcanza mejores precios en el mercado (Figura 26). Adicionalmente, los hongos deshidratados pueden contener una mayor cantidad de algunos compuestos, como la vitamina D₂, e incluso, los consumidores asiáticos consideran que el shiitake des-

hidratado alcanza un excelente sabor tipo “umami”, muy similar al encontrado en la carne o queso. Este sabor es potencializado debido al desdoblamiento de las proteínas a aminoácidos durante el proceso de secado, especialmente al ácido glutámico y su forma ionizada, el glutamato.



FIGURA 27. Secador de hongos a base de lámparas eléctricas y extractor de aire.

El método de secado más sencillo y económico es exponer los hongos al sol, pero este proceso depende de factores ambientales no controlables, por lo que el producto obtenido tiene una calidad variable. Inicialmente los hongos son colocados con las láminas (contexto) hacia arriba y posteriormente el píleo es expuesto al calor. El tiempo de secado varía dependiendo de las condiciones climatológicas, aunque un promedio de 2 a 3 días es suficiente para lograr la deshidratación del producto.

El uso de secadores térmicos aplicando una corriente de aire caliente a una temperatura y velocidad constante, permite una deshidratación uniforme, por lo que es un método ampliamente utilizado para la deshidratación

del shiitake (Figura 27). Generalmente se recomienda que la cámara de secado se mantenga entre 40 a 50°C durante 24 horas, condiciones suficientes para que el hongo alcance una humedad de $\approx 13\%$. Algunos productores prefieren una deshidratación con incremento gradual de la temperatura, en este caso el proceso se inicia colocando los hongos a 30°C una hora, posteriormente se incrementa la temperatura 1-2°C cada hora hasta alcanzar 50°C, entonces se eleva la temperatura a 60°C una hora más, esto con la finalidad de desarrollar el sabor característico de umami, además de aportar un aspecto brillante a los píleos.

Al terminar el proceso de secado, se debe permitir el enfriamiento del producto antes de ser empa-

cado en bolsas de material plástico y sellarlas. Los hongos deshidratados deben mantenerse en un área seca, fresca y oscura, para evitar la rehidratación del producto, preferentemente a bajas temperaturas si el almacenaje será prolongado, ya que los hongos absorben rápidamente la humedad del ambiente y si no son almacenados apropiadamente, pueden ser atacados por insectos o mohos.

Por otra parte, la **liofilización** o criodeshidratación es un método ampliamente empleado para obtener frutas y verduras deshidratadas de alta calidad. En el caso de los hongos, este proceso de secado se basa en retirar el agua (hielo) del producto congelado a través de la **sublimación**, por lo que el encogimiento del hongo es mínimo, protegiendo su estructura y forma e intensificado el sabor y el aroma, por lo que el producto final presenta mejores características para su posterior rehidratación. Sin embargo, el proceso es lento en comparación los secadores térmicos, ya que primero se deben congelar las muestras y además el equipo requerido es costoso, por lo que los hongos liofilizados son un producto con mayor valor comercial.

Conservas

El enlatado de shiitake es uno de los métodos más utilizados para la comercialización del shiitake de

menor calidad y/o para la exportación del producto, teniendo la ventaja de retener la calidad original de sabor, color y tamaño del hongo. Adicionalmente, existen otros métodos de conservación que solos o combinados entre sí, permiten la extensión de la vida de anaquel del shiitake (Figura 28).



FIGURA 28. Shiitake enlatado.

Como ejemplo, la irradiación con luz ultravioleta combinada con bajas temperaturas logra mantener la firmeza y turgencia de los carpóforos, incluso incrementando el contenido de flavonoides y ácido ascórbico del shiitake y mejorando su capacidad antioxidante.

Variedades comerciales de shiitake

Xiang gu, nombre genérico del shiitake en mandarín, se distingue por presentar píleos delgados y planos, con las orillas extendidas hacia afuera. Estas características también son observadas en la especie *Lentinula boryana*, un hongo que crece silvestre en el continente americano y cuyas técnicas de cultivo son similares al del hongo asiático. En la variedad xiang gu se pueden incluir hongos con píleos mal formados o con bordes rotos, por lo que su valor comercial es más bajo.

Hua gu u hongo flor se distingue fácilmente por presentar grietas o hendiduras de color claro en el píleo, dándole una apariencia en forma de flor (Figura 29). Sus píleos deben estar enteros, bien formados, ya que esta variedad es la de mayor calidad y alcanza los precios más altos en el mercado.

Dong gu, también llamado hongo de invierno, presenta píleos de color café, gruesos y carnosos, con bordes enrollados hacia adentro. Aunque los hongos de esta variedad se distinguen por comercializarse enteros y bien formados, se cotizan más bajos que la variedad hua gu.



FIGURA 29. Venta de shiitake fresco tipo Hua gu, también llamado hongo flor.

8. Aspectos nutricionales y alimento funcional

Las cualidades organolépticas del shiitake le han permitido incorporarse rápidamente desde la cocina asiática a la gastronomía mundial. Actualmente es frecuente encontrar diferentes platillos a base de shiitake y cada vez tiene mayor presencia en los mercados de América y Europa en muy diferentes presentaciones. La popularidad del shiitake se ha incrementado en buena parte por su sabor exótico, pero también por sus conocidas propiedades nutricionales y medicinales. El shiitake es una buena fuente de vitaminas entre las que destaca el complejo B, principalmente las vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina) y B12 (cobalamina), ácido fólico, así como la vitamina C y D.

También aporta cantidades significativas de minerales como el calcio, fósforo, hierro, sodio, magnesio, zinc y potasio. Además, el shiitake contiene casi todos los aminoácidos esenciales para la buena nutrición del cuerpo humano con cantidades especialmente abundantes de alanina, arginina, lisina y leucina, mientras que la metionina, la histidina y fenilalanina son menos abundantes. Estos hongos son también una buena fuente de fibra dietética (6.7 % en peso seco), lo cual les confiere importantes propiedades en la prevención de la constipación, diabetes, obesidad, hipertensión, cáncer de colón y arterioesclerosis, así como en la disminución de los niveles de colesterol.



FIGURA 30. Presentaciones comerciales del extracto de shiitake.

El shiitake tiene una aceptación mundial, no solo debido a su excelente aroma, sabor y características nutritivas, sino también por sus propiedades medicinales. Estas son atribuidas sobre todo a la presencia de polisacáridos estructurales y heteropolisacáridos, así como a terpenoides, entre otros. A partir del shiitake se han aislado y purificado un amplio número de compuestos biológicamente activos. Algunas de estas sustancias tienen más de un efecto, presentando en ocasiones sinergismo entre ellas y con otros compuestos inactivos del hongo (Tabla 6). Los más estudiados en *L. edodes* son Lentinano, LEM (*Lentinula edodes* micelio) y eritadenina, entre otros. El Lentinano es un extracto de azúcar y ha sido usado experimentalmente en el hombre y en animales, presenta actividad anticancerígena, por ejemplo contra cáncer de estómago, cáncer de ovarios, etc. Del Lentinano se destaca la estimulación en la producción de linfocitos y el control de células muertas en las infecciones cancerosas. El LEM es un complejo activo compuesto principalmente de glicoproteínas, el cual es extraído del micelio interrumpido antes del proceso de fructificación en medio sólido y la eritadenina, una sustancia inhibidora del colesterol endógeno. Además, el hongo contiene vitamina C y altas cantidades de ergosterol, provitamina que en presencia de la luz solar se convierte en vitamina D, así como niacina, tiamina y riboflavina. La vitamina D es necesaria

para la absorción de calcio y fósforo y con efectos positivos en el tratamiento del cáncer de colon. El shiitake también presenta proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas, minerales y lípidos. La cantidad de proteína fluctúa de 13 a 35% del peso seco. Posee entre el 67 y 79% de carbohidratos. El contenido de grasa en el hongo es baja, de 0.5-5%, lo que representa una ventaja desde el punto de vista de la salud. Los lípidos presentes son el ácido oleico y linoleico, que constituyen el 73 a 77% de las grasas totales. Al shiitake también se le han encontrado, entre otras, las siguientes propiedades: antitumorales, anticancerígenas, antimutagénicas, antivirales, antibacterianas, antifúngicas y antioxidante. Algunas investigaciones han demostrado que una de las enzimas que contiene shiitake, Súper Óxido Dismutasa, decrementa la peroxidación de lípidos. Este es un factor importante en la prevención de la enfermedades y cáncer de arteria coronaria y es una de las teorías de la causa de la longevidad.

En el shiitake se ha demostrado la presencia de una amplia variedad de moléculas bioactivas, tales como polisacáridos de alto peso molecular, glicoproteínas, proteínas fúngicas inmunomoduladoras, nucleótidos y sus derivados. Además, tiene efecto en la reducción de los niveles sanguíneos de colesterol y lípidos. El consumo diario de tan sólo 90 g de shiitake fresco durante 7 días induce la reducción de hasta

TABLA 6. Algunos compuestos biológicamente activos encontrados en el shiitake

Compuestos	Efecto(s)	Tipo de Compuesto	Actividad
Eritadenina	Hipocolesterolémico	Derivado de adenina	Acelera eliminación de colesterol
Ac2P	Antiviral	Polisacárido	Inhibe la replicación viral
Partículas virales	Antiviral/Antitumoral	RNA doble	Induce la producción de interferón
Lentinano	Antitumoral	Polisacárido	Estimula las células T en el sistema inmunológico
LAPI	Antitumoral	Polisacárido	Modulador del sistema inmunológico
Polifenol oxidasa	Antitumoral	Proteína	Desconocido
LEM	Anticancerígeno	Polisacárido	Inhibe carcinogénesis en hígado
KS-2	Anticancerígeno	Polisacárido	Induce la producción de interferón
Tioprolina	Anticancerígeno	Compuesto fenólico	Bloquea la formación de compuestos N-nitrosos

12% del colesterol en sangre. Actualmente, se cuenta con evidencia científica sólida basada en análisis químicos y la utilización de modelos *in vitro*, animales y humanos. Este hongo ejerce un efecto benéfico contra la presión arterial alta, afecciones del hígado, entre otros; lo anterior lo hace ser un producto de gran interés en la salud pública.

El shiitake, no solo representa fuente de nutrientes para los consumidores, ya que también se ha utilizado como tónico medicinal por más de dos milenios. En las últimas décadas se han demostrado

científicamente muchas de sus propiedades atribuidas por la medicina tradicional asiática. Su actividad antimicrobiana se ha evaluado *in vitro* con distintos extractos y compuestos puros contra bacterias patógenas importantes como *Escherichia coli* y *Pseudomonas spp.*, entre otras.

Las bioactividades de shiitake como la antiviral, antimutagénica, antinociceptiva, antiinflamatoria, citostática, anticancerígena e inmunomoduladora, se han estudiado ampliamente.

9. Recetario

Los hongos tipo shiitake tienen la peculiaridad de presentar un sabor muy exquisito, aunque algo fuerte para los paladares que no están acostumbrados a su consumo. Especialmente en el producto deshidratado se incrementan sus características organolépticas, por lo que se recomienda consumirlos en porciones pequeñas e incrementar su degustación gradualmente, hasta lograr disfrutar su sabor al máximo.

Si los hongos son frescos, deben limpiarse con un paño seco para retirar cualquier partícula extraña, como residuos del sustrato de cultivo. Si es necesario lavarlas, colocarlas preferentemente al chorro de la llave, evitando dejarlas sumergidas para que no absorban agua en exceso. Si los hongos están deshidratados, debemos dejarlos remojando 30 minutos en agua tibia para que recuperen su apariencia natural.



« Shiitake marinado »

Ingredientes

400 g de shiitake
1 rodaja de jengibre (algo menos de 1 cm de grosor)
2 dientes de ajo
2 cucharadas de salsa de soya
3 cucharadas de aceite de ajonjolí
1 cucharadita de vinagre de arroz
25 g de piñones
1 pizca de sal
aceite de oliva virgen extra
cilantro fresco picado

Elaboración

Se limpian los hongos, retirándoles los pies. Preferentemente se procesan enteros, aunque también pueden cortarse en dos o cuatro porciones, eso dependerá del tamaño de los hongos. Se cocinan con un mínimo de agua (1/2 taza) durante 10 minutos a fuego bajo en una cacerola tapada. En un recipiente aparte se prepara la marinada con el jengibre y el ajo finamente rayado, la salsa de soya, el aceite de ajonjolí y el vinagre de arroz, mezclando bien todos los ingredientes. Se incorporan los hongos y con ayuda de una cuchara se van impregnando bien de la marinada, tanto por la parte exterior del sombrero como por el interior. Esto será necesario hacerlo bien con todos los sombreros para enriquecer el sabor del shiitake. Finalmente se agregan los piñones, el cilantro y se rectifica la sazón, agregando sal si es necesario. Se recomienda hacer la preparación de la marinada un par de horas antes de la degustación y mantenerla en un ambiente fresco. Se sirve con tostadas o pan integral.

« Entremés de shiitake »

Ingredientes

300 g de shiitake
½ cebolla mediana
1 diente de ajo
2 cucharadas de salsa de soya
5 cucharadas de aceite de oliva
1 cucharada de perejil
Sal y pimienta negra al gusto, albahaca o tomillo

Elaboración

En una cacerola se pone a calentar a fuego medio el aceite de oliva y se agregan el ajo y la cebolla finamente picados, salteando hasta que queden transparentes. Se añaden los hongos y se dejan cocinar por unos minutos. Se incorpora la salsa de soya, el perejil picado y un poco de sal y pimienta negra recién molida. Se sirven con hojas de albahaca picadas o un poco de tomillo fresco sobre los hongos, acompañados de tostadas o pan integral.

« Arroz con shiitake »

Ingredientes

200 g de arroz
80 g de zanahoria
80 g de chícharos
30 g de mantequilla
15 g de shiitake deshidratado
1 L de agua (para hidratar el shiitake)

1 diente de ajo

Sal al gusto

Elaboración

Colocar en remojo el shiitake durante 30 minutos en un litro de agua, luego retirar y escurrir el shiitake y picarlo en trozos medianos, reservar el agua. Remojar el arroz durante 30 minutos en agua limpia, después enjuagar el arroz para retirar la mayor cantidad de almidón posible. Pelar la zanahoria y cortarla en trocitos medianos. Colocar la mantequilla con el ajo en un cacerola a fuego lento, agregar el arroz y dorar ligeramente. Agregar el shiitake y freír durante 3 minutos más. Agregar el agua de remojo del shiitake. Cuando rompa el hervor colocar las zanahorias y los chícharos y adicionar sal al gusto. Realizar la cocción del arroz a fuego lento para permitir que se evapore el agua.

◀ Bolitas crujientes rellenas de shiitake² ▶

Ingredientes

100 g de shiitake

1 calabacín

55 g de queso parmesano

55 g de queso gouda

3 huevos

100 g de harina

100 g de pan molido

1 rama de perejil

Sal y pimienta al gusto

Aceite suficiente para freír las bolitas

² Receta proporcionada por Dalia Nayeli Galindo. Centro Universitario Internacional de México, campus Xalapa.

Elaboración

Rehidratar o dar una ligera cocción a los hongos y picar finamente. Rallar el calabacín. Batir los huevos con los quesos rallados, el perejil picado y salpimentar. Agregar a la mezcla el calabacín e integrar hasta lograr una pasta. Formar bolitas del tamaño de un bocado y pasarlas por harina, llevar al refrigerador por una hora. Retirar las bolitas del refrigerador y pasarlas nuevamente por harina, después por huevo y por último por el pan molido, repetir el proceso nuevamente y freír en aceite caliente. Colocar las bolitas sobre papel absorbente para retirar el exceso de grasa, hacer un agujero y colocar en el centro los shiitake.

◀◀ Chimichangas de shiitake³ ▶▶

Ingredientes

150 g de shiitake
4 tortillas de harina
120 g de queso Cheddar
100 g de espinacas
1 chile jalapeño
½ pza. de cebolla mediana
1 cucharada de sal
Aceite de oliva
Sal y pimienta

Elaboración

Cortar la cebolla en plumas y saltearla con aceite de oliva hasta acitrionar. A fuego muy lento agregar el azúcar y dejar a caramelizar. Reservar. Quitarle al chile las venas y cortarlo en julianas. Cortar los shiitake en láminas, saltearlos ligera-

³ Receta proporcionada por Dalia Nayeli Galindo. Centro Universitario Internacional de México, campus Xalapa.

mente con los chiles en aceite de oliva, sazonando con sal y pimienta. Agregar en último momento la espinaca cortada en tiras largas muy finas (chiffonade) y sacar del fuego. Rallar el queso. Colocar en el centro de la tortilla de harina el preparado de shiitake, las espinacas y el queso rallado. Doblar los 2 extremos opuestos sobre el relleno y formar un rollito para que quede bien cerrado. Servir acompañado de la cebolla caramelizada.

« Pasta con shiitake »

Ingredientes

250 g de pasta (fideos, capellini o fideos de arroz)

250 g de shiitake

1 pimiento morrón

1 puerro chico

1 cucharada de aceite de cártamo

Jengibre rayado finamente, perejil picado

Sal y pimienta al gusto

Elaboración

Limpiar los hongos y cortarlos en rebanadas. Desvenar el chile morrón y cortarlo en tiras. El puerro se corta en rebanadas delgadas. Poner a calentar el aceite en una cacerola a fuego medio, agregar los hongos, el pimiento morrón, el jengibre y el puerro, dejando cocinar durante 5 a 10 minutos. Colocar la pasta en una cacerola con agua hirviendo, siguiendo las instrucciones de cocimiento del empaque. Al cumplir el cocimiento deseado, retirar del fuego y drenar el exceso de agua. Transferir la pasta a la cacerola con el resto de los ingredientes, mezclándolos de manera suave. Al momento de servirse se espolvorea con perejil picado.

◀ Shiitake con papas al horno ▶

Ingredientes

500 g de hongos shiitake

1 kg de papas peladas y cortadas en gajos

1 taza de queso parmesano

1 tazas de crema

3 cucharadas de mantequilla

½ cebolla mediana

2 de dientes de ajo

1 rama de romero

Sal, pimienta al gusto

Elaboración

Limpiar los hongos y cortarlos en rebanadas delgadas. Picar finamente la cebolla y el ajo. Poner a calentar la mantequilla y sazonar la cebolla hasta que se observe traslúcida. Entonces agregar los hongos y dejarlos saltear hasta que el líquido se haya evaporado, aproximadamente 10 minutos. Agregar el ajo picado y el romero y cocinar unos minutos más. Precalentar el horno a 190 °C. Engrasar un molde refractario y acomodar 1/3 de las papas en el refractario. Incorporar la mitad de los hongos cocinados y cubrirlos con 1/3 del queso. Repetir una capa de papas y hongos y finalizar con una capa de papas. En un recipiente aparte mezclar la crema, sal y un poco de pimienta. Poner la mezcla encima de la capa de papas. Cubrir con papel aluminio. Poner el refractario en la parte media del horno. Cocinar hasta que las papas estén suaves, aproximadamente de 1 hora a 1 ¼. Entonces quitar la cubierta de papel aluminio y hornear 15 minutos más. Servir caliente.

« Shiitake en salsa de vino »»

Ingredientes

500 g de carne de res cortada en cubos

500 g de shiitake

750 ml de vino tinto

1 cucharada de mermelada de frambuesa

1 cucharada de aceite de cártamo

1 cucharada de salsa inglesa

Laurel, tomillo, sal y pimienta al gusto

Elaboración

Sazonar la carne con sal y pimienta al gusto y mantenerla a temperatura ambiente, mientras se limpian y cortan en rebanadas los hongos. Calentar en una cacerola a fuego medio el aceite y agregar los hongos, friéndolos durante 5 a 10 minutos, o hasta que se doren. Retirar los hongos de la cacerola y cocinar los cubos de carne en el mismo recipiente, a fuego medio alto, procurando voltearlos para lograr un sellado homogéneo de todos los lados. Retirar la carne de la cacerola. Utilizar el mismo recipiente para calentar el vino tinto hasta ebullición, entonces incorporar la mermelada de frambuesa y la salsa inglesa dejar que reduzca el líquido a la mitad. Agregar los hongos, la carne y las hierbas aromáticas y seguir cocinando a fuego bajo durante 15 minutos más.

10. Glosario

- Alimento perecedero.** Son aquellos que comienzan su descomposición de forma sencilla y rápida.
- Anticancerígena.** Sustancia que impide el desarrollo, crecimiento o proliferación de células tumorales malignas.
- Antimutagénica.** Sustancia que disminuye la frecuencia de mutaciones espontáneas o inducidas.
- Antinociceptiva.** Sustancia que puede disminuir los efectos dañinos de los estímulos nerviosos que provocan dolor.
- Antioxidante.** Sustancia que protege a las células de los daños causados por los radicales libres producidos durante el metabolismo del organismo. Los antioxidantes estabilizan los radicales libres e inhiben su oxidación para proteger a los órganos o sistemas que puedan verse afectados.
- Atmósferas controladas.** Técnica frigorífica de conservación que consiste en modificar la composición gaseosa del ambiente.
- Autoclave.** Aparato metálico de paredes gruesas y cierre hermético que esteriliza materiales por medio de la inyección de vapor a alta presión.
- Basidioma.** También llamado cuerpo fructífero, fructificación, esporóforo o simplemente “hongo”. Es la parte reproductora de origen sexual de un micelio.
- Caja de Petri.** Recipiente de vidrio o plástico que tiene forma redondeada y dispone de una tapa con un diámetro mayor que el recipiente en sí mismo. Esto permite que la caja se cierre, pero no de manera hermética. Sirve para cultivar células o microorganismos.
- Cámara de flujo laminar.** Equipo que permite obtener una zona estéril para trabajar, debido al flujo forzado de aire a través de filtros tipo HEPA que detienen partículas de polvo y contaminantes de hasta 0.1 micras de diámetro.
- Cepa.** Cultivo puro de un hongo.
- Celulosa.** Es un carbohidrato o polisacárido complejo constituido de moléculas de glucosa. Es el principal componente de la pared celular de las plantas.
- Citostática.** Sustancia que demora o detiene el crecimiento de células, incluso cancerosas, sin destruirlas.
- Contexto.** Equivale a la “carne” del basidioma. Son agregaciones de hifas que forman los mal llamados “tejidos de los hongos”.
- Cuerpo fructífero.** Ver basidioma
- Dicariótico.** Micelio con dos núcleos en cada célula, formado por la unión de dos micelios monocarióticos.
- Eficiencia biológica.** Término empleado para cuantificar la capacidad de una cepa para producir basidiomas en un sustrato. Se expresa en porcentaje y se calcula divi-

diendo el peso fresco de los basidiomas entre el peso seco del sustrato y multiplicado por cien.

Enzimas. Son proteínas producidas por las células vivas con la finalidad de facilitar y acelerar reacciones químicas en los seres vivos.

Especie saprobia. Hongos que se desarrollan en materia orgánica muerta.

Esporas. Son estructuras de propagación y reproducción de los hongos y equivalen a las semillas de las plantas. Su tamaño es microscópico.

Esterilización. Proceso en que se eliminan todos los microorganismos o gérmenes de una superficie o material. En general se aplican altas temperaturas, utilizando equipos como autoclaves, ollas de presión y hornos.

Estípite. Equivale al pie del basidioma de un hongo. Su posición y aspecto varía dependiendo del tipo de hongo, en el caso del shiitake es central, de color café blanquecino a rojizo, de consistencia correosa.

Estroma o pseudoesclerocio. Estructura de resistencia presentada por los hongos. Se forma a partir de la compactación de hifas y puede desarrollar en su interior fructificaciones del hongo. En los cultivos de shiitake se denomina pseudoesclerocio y se presenta como una cubierta costrosa, de color café oscuro.

Fibra dietética. Conjunto de diferentes compuestos, principalmente de origen vegetal, que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado de los seres humanos, pero sufren una digestión parcial o total en el

colon. Su ingesta diaria es recomendable para diversos procesos metabólicos.

Hifas. Son filamentos tabicados (lo más común) o no tabicados (únicamente en mohos) cuyo conjunto forma el micelio o los basidiomas de los hongos. La hifa representa la unidad estructural de los hongos.

Himenio. Es la parte fértil del basidioma de un hongo, en donde se producen las esporas. Son las laminillas que tiene el sombrero del hongo en la parte inferior (como en el caso del shiitake).

Inóculo. Micelio desarrollado en un material lignocelulósico (granos, taquetes de madera), el cual se usa para sembrar el hongo en el sustrato para obtener las fructificaciones.

Inmunomoduladora. Sustancia que estimula o deprime el sistema inmunitario, y puede ayudar al cuerpo a combatir el cáncer, las infecciones u otras enfermedades.

Lignina. Polímero orgánico complejo componente de la pared celular de las plantas, que le aporta dureza y resistencia.

Liofilización. Proceso que consiste en deshidratar un producto por la separación inicial del agua por congelación y posterior sublimación del hielo a presión reducida.

Micelio. Masa algodonosa, generalmente blanca, formada por el conjunto de hifas.

Monocariótico. Micelio originado de la germinación de una espora, que se caracteriza por presentar un núcleo en cada célula.

Modelo *in vitro*. Es una técnica para realizar un experimento o ensayo en condiciones controladas, fuera de un organismo vivo.

Mohos antagonistas. Se refiere a aquellos hongos filamentosos que inhiben, deterioran o matan a otros organismos. En el caso del cultivo de hongos comestibles, los mohos verdes (géneros **Trichoderma** y **Penicillium**) son los principales causantes de pérdidas de rendimiento.

Molécula bioactiva. Compuesto químico que tiene un efecto benéfico en la salud y bienestar de un individuo, reduciendo un riesgo de enfermedad.

Píleo. Es el sombrero del cuerpo fructífero de un hongo, el cual lleva abajo el himenio o láminas.

Polisacáridos estructurales. Biomoléculas formadas por gran cantidad de azúcares que dan soporte y protección a las paredes celulares (celulosa) como a exoesqueletos (quitina).

Primordio. Es la fase juvenil del basidioma de un hongo.

Sublimación. Proceso físico que consiste en el paso del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido.

Sustrato lignocelulósico. Material vegetal más abundante en la naturaleza, compuesto de polímeros de celulosa, hemicelulosa y lignina. Debido a su compleja estructura química, sólo los hongos y algunas bacterias son capaces de degradarlo biológicamente.

Terpenoides. Compuestos orgánicos producidos por el metabolismo secundario de plantas y hongos. Tienen una función directa sobre las características organolépticas (olor y sabor) del hongo y algunos de sus derivados posee propiedades antioxidantes y medicinales.

Turba (peat moss). Sustrato que se forma por la descomposición de musgos del género *Sphagnum* creciendo en zonas pantanosas frías. Se caracteriza por presentar un aspecto esponjoso, ligero, con gran capacidad de retención de agua y aireación. En el cultivo del champiñón se utiliza como tierra de cobertura, teniendo una influencia determinante en la formación y desarrollo de los primordios.

Bibliografía recomendada

- CHANG, S.T., 2001. *Production of cultivated edible mushroom in China with emphasis on Lentinula edodes*. <http://www.isms.biz/articles/production-of-cultivated-edible-mushroom-in-china-with-emphasis-on-lentinula-edodes/>.
- CHANG, S.T., P. G. Miles, 2004. *Mushrooms, cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. 2nd ed. CRC Press: Boca Raton.
- GUZMÁN, G., G. Mata, D. Salmones, L. Guzmán-Dávalos, C. Soto, 2013. *El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales*. 3^a. Reimpresión. Instituto Politécnico Nacional, México, D. F.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., M. Sobal, P. Morales, W. Martínez, M. Martínez, Y. Mayett, 2004. *Los hongos comestibles: propiedades nutricionales, medicinales y su contribución a la alimentación mexicana El shiitake*. COLPOS Campus Puebla/BUAP/UPAEP/IMNA: Puebla.
- MUSHWORLD, 2005. *Shiitake cultivation, mushroom growers' handbook 2*. MushWorld: Seul.
- PRZYBYLOWICS P., J. Donoghue, 1988. *Shiitake growers handbook, the art and science of mushroom cultivation*. Kendall/Hunt Publ. Co.: Dubuque.
- Shiitake cultivation: Mushroom grower's handbook 2*, 2005. Mush World: Seul.
- STAMETS, P., 2000. *Growing gourmet and medicinal mushrooms*. 3th ed. Ten Speed Press: Berkeley.

EL CULTIVO DEL SHIITAKE: TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE UN ALIMENTO Y MEDICINA ANCESTRAL, es un libro fundamental para los amantes del quinto reino, el reino fungi, el reino de los hongos. Proveniente de Asia (principalmente Japón y China), el shiitake es actualmente el hongo más cultivado en el mundo y es reconocido como una especie de sabor agradable y aroma atractivo, cualidades que han favorecido su amplia distribución comercial. Este libro, por cierto profusamente ilustrado, ha sido escrito por un importante grupo de investigadores mexicanos del Instituto de Ecología, A.C., que a través de un lenguaje sencillo ofrece valiosa información sobre la biología del shiitake, la diversidad de genotipos comerciales disponibles, las tecnologías de producción y postcosecha, las estrategias de prevención y control de plagas y enfermedades. Además se incluyen aspectos relevantes sobre las propiedades nutricionales y funcionales del shiitake, así como sus efectos en la salud humana. En esta obra, el lector encontrará también dos secciones muy importantes que le serán de gran utilidad y que corresponden al recetario con diversas maneras de cocinar y degustar el shiitake, así como un glosario que explica con claridad los términos técnicos utilizados para lograr una completa comprensión del contenido. Una obra indispensable para quien necesite información básica y consejos prácticos sobre el cultivo del shiitake.



ISBN: 978-607-7579-92-2

