

CARLOS ESDUARDO ARDÓN LÓPEZ

LA PRODUCCIÓN DE LOS HONGOS COMESTIBLES

LICDA. EMILSA SOLARES CASTILLO
Asesora



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN DOCENCIA UNIVERSITARIA CON
ESPECIALIDAD EN EVALUACIÓN EDUCATIVA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007



Esta investigación fue presentada por el autor como requisito previo a optar el Grado Académico de Maestría en Docencia Universitaria con Especialidad en Evaluación Educativa.

Guatemala, octubre de 2007.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

i

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES SOBRE HONGOS COMESTIBLES

1. Características distintivas de los hongos	01
2. Importancia de los hongos	02
3. Partes de un hongo y de una seta	03
4. Los basidiomicetos	04
5. Hongos silvestres	13
6. Hongos comestibles cultivados	19

CAPÍTULO II GENERACIÓN, CONSERVACIÓN Y PREPARACIÓN DEL INÓCULO DE CEPAS

1. Conceptos básicos sobre mejoramiento genético en hongos	27
2. Aislamiento y técnicas de conservación de cepas	34
3. Preparación del inóculo	45

CAPÍTULO III TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN (*Agaricus bisporus*)

1. Caracterización	53
2. Sistemas de producción	55
3. Fuentes de aprovisionamiento de sustrato	57
4. Preparación del sustrato	59
5. Siembra	68
6. Incubación	68
7. Fructificación	70
8. Cosecha	71
9. Vaciado de las salas de producción	78
10. Plagas y enfermedades	79
11. Aspectos económicos	84

CAPÍTULO IV TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus*)

1. Caracterización	87
2. Sistemas de producción	91
3. Criterios para selección y preparación del sustrato	92

4.	Inoculación del sustrato	99
5.	Incubación	100
6.	Inducción y fructificación	103
7.	Cosecha	104
8.	Contaminantes, plagas y enfermedades	108
9.	Aspectos económicos	111

CAPÍTULO V TECNOLOGÍA PARA OTROS HONGOS COMESTIBLES

1.	<i>Lentinus edodes</i> (Berk.) Pegler	117
2.	<i>Auricularia auricula</i> (Hook.) Underw	128
3.	<i>Volvariella volvacea</i> (Bull. ex Fr) Sing.	130
4.	<i>Flammulina velutipes</i> (Curtis.: Fr.) Sing.	132
5.	Tecnología aplicada a los hongos micorrízicos	134

CAPÍTULO VI HONGOS COMESTIBLES EN GUATEMALA

1.	Estudios realizados en Guatemala sobre hongos comestibles	149
2.	Diversidad y distribución del recurso fúngico	151
3.	Caracterización de especies comestibles nativas	153
4.	Producción de semilla	176
5.	Producción de carpóforos	177

CONCLUSIÓN	183
-------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	185
---------------------	-----

GLOSARIO	193
-----------------	-----

ANEXOS	197
---------------	-----

Anexo 1. Equipo y materiales imprescindibles en un laboratorio de producción de inóculo	197
Anexo 2. Costos y análisis económico de un laboratorio de producción de semilla	199
Anexo 3. Nombre técnico y común de especies comestibles reportadas en Guatemala	200
Anexo 4. Inversión y costos de producción para el cultivo de champiñón	205
Anexo 5. Costos para un ciclo productivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	206
Anexo 6. Recetas clásicas con hongos comestibles	207

INTRODUCCIÓN

Los hongos son organismos diferentes a los del reino vegetal y animal. Pertenecen al reino Fungi, poseen células eucarióticas y pared celular con quitina, son heterótrofos y carecen de clorofila. Estos organismos incluyen desde formas microscópicas, como los mohos y las levaduras, hasta formas macroscópicas, el cuerpo fructífero, que la gente identifica normalmente como hongo. Dependiendo de la forma como obtienen sus nutrientes, los hongos se clasifican en parásitos, saprófitos y micorrízicos. Los primeros consumen plantas o animales vivos, los segundos digieren células y tejidos muertos, conocidos también con el nombre de hongos lignocelulósicos o de pudrición blanca. El tercer grupo de hongos, menos numerosos que los anteriores, son los que establecen relaciones simbióticas con las raíces de las plantas llamadas micorrizas, en la cual, tanto el hongo como la planta se benefician.

Entre la variedad hongos que existen en la naturaleza, la mayoría tienen aplicaciones en la agroindustria, la medicina y poseen propiedades alimentarias, alucinógenas, toxicológicas, entre otras. Los basidiomicetes incluyen especies venenosas como *Amanita phalloides* y especies fitoparásitas que causan pérdidas económicas en los cultivos agrícolas como las royas y los carbones. También incluye especies importantes por su comestibilidad y relación simbiótica con plantas como el caso de *Amanita caesarea*; otras, por su valor nutritivo y características organolépticas como *Agaricus bisporus* (Eaton y Salmón, 2000).

El cultivo de los hongos comestibles es un sistema de biocorversión ecológica, pues lo que al hombre le es poco útil y que desecha, como las pajas, bagazos, cascarillas y pulpas, los hongos lo transforman en alimento proteínico y en mercancía para venta. Además, una vez que se obtuvo el producto comestible, del sustrato residual se puede obtener abono orgánico mediante procesos de composteo y vermicomposteo para la producción de plantas y hortalizas; dado el efecto directo en la conservación y mejora de la calidad de los suelos. Esta alternativa de producción ha sido explotada con éxito desde hace mucho tiempo en otros países, principalmente en Asia, donde se ha desarrollado toda una tecnología para la producción y conservación de los hongos comestibles como el champiñón, el Hongo ostra y el Shiitake.

En Guatemala existe consumo heredado por tradición de hongos como el Anacate y el Hongo de San Juan, lo cual es notorio en la población campesina de aquellas áreas rurales de Guatemala donde se acostumbra la recolección de hongos comestibles que crecen en forma natural en épocas estacionales del año de mayor humedad ambiental. Dada esta tradición micófaga de hongos silvestres nativos, la necesidad de incrementar procesos alternativos de producción de alimentos con alto valor nutricional y el compromiso de recuperar, desarrollar, divulgar y puesta en marcha de los conocimientos científicos y tecnológicos de los pueblos indígenas, enmarcado dentro de los Acuerdo de Paz sobre la Identidad y Derechos; es pertinente enfocar esfuerzos a fin de promover la investigación y difusión de tópicos relacionados con este recurso natural.

Cultivar hongos es un arte y como tal requiere conocer técnicas de manejo integral, que abarquen el proceso de cultivo y aspectos relacionados con la comercialización. Existe información técnica y experiencias realizadas por productores, emprendedores e investigadores que amerita aprovecharse, evaluarse y adaptarse para uso individual o

colectivo. La detección de las de especies y cepas que mejor se adapten y que presenten calidad nutritiva, cualidades gastronómicas y eficacia en la micorrización de planta forestal, permitirán, junto a la aplicación de las tecnologías adecuadas, aprovechar las oportunidades que depara el crecimiento de la demanda de productos alimenticios y la necesidad imperativa de hacer uso sostenido y sustentable de los recursos naturales.

La experiencia internacional en el cultivo de hongos comestibles permite proporcionar a la comunidad esta alternativa alimenticia de producción, teniendo en cuenta que el usar tecnologías de bajo costo, adaptadas al clima, a los recursos agrícolas y a las condiciones económicas fortalecerían el potencial de los hongos en el ámbito nacional. En tal sentido, el presente estudio recopila información de índole biológico, técnico y económico, vinculada con la producción de los hongos comestibles, pretendiendo ofrecer una visión global del mundo de las setas, que se espera sea útil a emprendedores dispuestos a conocer e implementar la actividad en el marco de una estrategia de desarrollo económico-social, conservación y diversificación productiva.

Para ello el contenido se ha estructurado en seis capítulos. En el capítulo uno se indican las características típicas de los hongos, en particular los basidiomicetos que incluyen la mayor parte de hongos comestibles. La recolección de hongos comestibles y algunos criterios para distinguirlos de especies venenosas, las fases del cultivo de setas y tendencias de su producción a escala mundial. En el capítulo dos, se presenta una síntesis de las técnicas de aislamiento, mantenimiento y obtención del inóculo de cepas fúngicas adaptables a las principales especies comerciales, con el objetivo de brindar la base conceptual primaria para estructurar estudios de investigación técnica o científica que coadyuven al desarrollo disciplinar; para arribar a los lineamientos específicos entorno a las técnicas de cultivo empleadas para la producción comercial y artesanal del hongo ostra, champiñón, shiitake y otros hongos saprófitos y micorrícicos en los capítulos tres, cuatro y cinco; que conjuntamente con los factores económicos afines, permitan vislumbrar su potencialidad como sistema alternativo de bioconversión ecológica, generación de alimento nutritivo y como medio de desarrollo económico-social. Finalmente en el capítulo seis, se describen e ilustran caracteres macroscópicos de especies de hongos comestibles y micorrícicos reportados para Guatemala, su distribución geográfica, nombres vernáculos, científicos y los avances en materia de investigación local; referentes que constituyen los indicadores del punto de partida de lo que falta por hacer.

Así, la recogida de información sobre la producción de los hongos comestibles, producto de la experiencia acumulada por muchos años en el ámbito internacional y los conocimientos generados en materia del recurso fúngico en Guatemala, revela fehacientemente la oportunidad de adaptar e innovar técnicas del cultivo y domesticación de especies silvestres, dadas las condiciones de ambiente controlado que se requieren y los principales sustratos empleados; particularmente para el cultivo de hongo ostra y producción de hongos comestibles micorrícicos con la inoculación de bosques añejos, siempre que haya disponibilidad de inóculo a precio razonable, ajustado a las características socio-económicas del productor a escala artesanal y a la necesidad de abastecer constante al mercado.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES SOBRE HONGOS COMESTIBLES

1. Características distintivas de los hongos

La micología es la ciencia que estudia los hongos. El término hongo se deriva del latín “*fungus*” que significa seta y del griego “*sphongos*” que significa esponja. Se ha demostrado que los hongos son el grupo de organismos más numeroso en la Tierra después de los insectos. En efecto, se calcula que hay más de 1,500,000 especies de hongos, por lo que su impacto en el medio es enorme. La diversidad de estos organismos, favorece que se desarrollen en un sin fin de hábitats, por lo que bien se dice que los hongos están en todas partes (Guzmán, 1997).

El conocimiento de los hongos, o al menos su utilización, es muy antiguo, tan antiguo como el pan y el vino, en los que están implicados fenómenos de fermentación originados por hongos, o los ritos religiosos con hongos alucinógenos de los indígenas mexicanos y guatemaltecos. Los hongos son organismos eucariotes, con pared celular rara vez ausente y constituida principalmente de quitina. Su micelio está formado por estructuras ramificadas y filamentosas cuyos fructificaciones portan esporas. No poseen pigmentos clorofílicos y por lo tanto su nutrición es heterótrofa. Presentan reproducción sexual y asexual (Tormo, 1996).

Los hongos son clasificados en el reino Fungi. La parte del hongo que se ve es solamente el “fruto” del organismo. La parte viviente del hongo es un micelio constituido por un tejido de filamentos delgados llamados hifas. El micelio está oculto debajo del suelo, en madera, o en otras fuentes de alimento. Estos tejidos crecen hasta que aparecen los cuerpos fructíferos. Si el micelio produjera frutos microscópicos, la gente quizás nunca se fijaría en el hongo. Los hongos se alimentan absorbiendo nutrimentos del material orgánico en que viven, por lo que éstos secretan ácidos y enzimas que simplifican el material orgánico en partículas más fáciles de digerir y luego atraviesan la pared celular de la hifa. Algunos descomponen material orgánico como hojas muertas (saprofitos), otros se alimentan de células vivas causando enfermedades (parásitos). Los hongos infectan a plantas, animales y hasta a otros hongos (Fogel, 1997). Los hongos micorrízicos viven como compañero con las plantas formando una asociación simbiótica llamada micorriza, estableciendo con ellas una relación de dependencia o colaboración nutricional. En dicha asociación, el micelio envuelve (ectomicorrízicos), y a veces penetra (endomicorrízicos) las células de los ápices radicales de la planta. Ellos le proveen nutrientes minerales a las plantas a cambio de otros alimentos que el hongo no puede producir, los carbohidratos por ejemplo (Kobold,2000).

Están ampliamente distribuidos en todo el planeta y prosperan en casi todos los climas: tropicales, subtropicales, templados, fríos, es decir en todos aquellos ámbitos de temperaturas comprendidas entre 4 a 60 grados centígrados, donde concurren los elementos indispensables para su existencia: material orgánico y agua. Se calcula que solamente un 5 por ciento de los hongos existentes en el mundo son conocidos científicamente. Se ha estudiado un número pequeño de hongos de los cientos de miles de especies existentes. De ellos solamente unas decenas de especies son usadas con fines gastronómicos o medicinales. El conocimiento de los hongos es milenario y su estudio sistematizado tuvo comienzo en los últimos años y está todavía por desarrollar. No

hay más de un par de decenas de especies que sean comercializadas en el mundo (Pineda, 1998).

2. Importancia de los hongos

Los hongos están involucrados en numerosos fenómenos biológicos y químicos vinculados a la desintegración de la materia orgánica, procesos industriales de fermentación, producción comercial de medicamentos, alimentación humana y los sistemas de producción agroforestal. Se conocen 750 especies de hongos capaces de infectar insectos (entomopatógenos) para regular las poblaciones de plagas en los cultivos agrícolas, entre ellas, el hongo imperfecto (Deuteromicete) *Beauveria bassiana* descubierto en 1835 por Agostino Bassi. El uso más común de *B. bassiana* es contra pulgones, mosca blanca y trips (Trabanino, 2003). La importancia de los hongos entomopatógenos es que no son nocivos para el operario ni para el ambiente, no deterioran la fauna benéfica, permiten establecer programas de manejo integrado, se pueden usar para agricultura orgánica, no tienen efectos tóxicos por acumulación en aplicaciones sucesivas ni límite máximo de residuos.

Los hongos micorrícicos proporcionan ventajas económicas gracias a su efecto benéfico sobre el crecimiento y la tolerancia al estrés de algunos cultivos agrícolas. Las micorrizas son estructuras formadas por la raíz de plantas vasculares y el micelio de los hongos. Su función es la de absorción, por lo que se extienden por el suelo proporcionando agua, nutrientes y protegiendo a las raíces de algunas enfermedades. Entre los hongos que dan lugar a este tipo de micorrizas están los *Zygomycetes* microscópicos del orden *Glomales*, por ejemplo: *Glomus intraradices*. Estos son formadores de micorrizas vesículo arbusculares en la mayor parte de leguminosas herbáceas y algunas leñosas, los cereales, los frutales, la mayoría de los cultivos hortícolas, muchos arbustos y sotobosque de ecosistemas forestales. También algunas setas comestibles como el níscalo (*Lactarius deliciosus*) o la oronja (*Amanita caesarea*) que crecen en bosques de pino, son productos con valor alimenticio que constituyen fructificaciones macroscópicas de hongos ectomicorrícicos.

La importancia de los hongos en la alimentación humana reside en su valor dietético (bajo contenido en carbohidratos y grasas), significativo contenido de proteínas (de 20-40% del peso seco) y vitaminas, que los coloca por arriba de la mayoría de vegetales, frutas y verduras. Adicionalmente resultan ser complementos deliciosos en las comidas por sus propiedades organolépticas (Tormo, 1996).

En cuanto a la industria farmacéutica y productos medicinales, algunos son elaborados a partir de hongos. La penicilina por ejemplo, es un antibiótico bactericida derivado del moho *Penicillium notatum*, la cual actúa matando a las bacterias e inhibiendo su crecimiento. Otro caso particularmente interesante es el hongo lignocelulósico shiitake (*Lentinus edodes*) que en su composición contiene compuestos como el Lentinano y el KS-2 que poseen importante actividad antitumoral y anticancerígeno, además de activar el sistema inmune (inmunoactivador), ser un potente hipoglucémico, reductor del colesterol entre otras propiedades.

Los hongos también están involucrados en diversos procesos industriales de fermentación (pan, vino, cerveza, etanol, ciertos quesos, etc.). Algunos de los más importantes son

Saccharomyces minor (levadura del pan) y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Ascomicetes) utilizada en la elaboración de cerveza, vino y producción industrial de bioetanol obtenido por fermentación de hidratos de carbono a partir de enzimas formadas por este hongo (McClure, 2005). También se utilizan organismos fúngicos en la elaboración del queso Roquefort y maduración del queso Camembert. En el caso de uno de los quesos más caros: el Roquefort, elaborado con leche de cuatro razas de ovejas (Lacune, Lorzac, Segola y Causses), el ingrediente principal después de la leche de ovejas, es el hongo *Penicillium roquefortii*. Así mismo, en la producción industrial de ácido cítrico, este se obtiene mediante fermentación del azúcar por la acción del hongo *Aspergillus niger*. El ácido cítrico se emplea como aditivo en bebidas y alimentos para darles un agradable sabor ácido.

Los hongos que crecen en sustratos lignocelulósicos tales como la madera o la paja, excretan una mezcla de enzimas hidrolíticas y oxidantes que despolimerizan los componentes del sustrato, que según Valencia y Garin (2001) están constituidos esencialmente por celulosa (45 a 60 por ciento), hemicelulosa (15 a 20 por ciento) y lignina (10 a 30 por ciento). Algunos hongos comestibles, como los del género *Pleurotus*, tienen la habilidad de colonizar el rastrojo y degradar la lignina, además de la hemicelulosa y la celulosa contenida en el sustrato. Estos tipos de hongos son considerados como agentes primarios de descomposición porque son capaces de utilizar los desechos agroforestales en su forma natural sin que hayan sido sujetos a algún proceso de degradación bioquímica o microbiológica. La bioconversión de los residuos agrícolas lignocelulósicos como fuente para la producción de hongos comestibles a través de procesos de fermentación sólida, representa una posibilidad biotecnológica para la obtención de alimento humano rico en proteínas y reducir el impacto ambiental de éstos, partiendo por lo general de materia prima de bajo costo (Sánchez y Royse, 2002).

Finalmente, el proceso de fermentación sólida utilizando hongo comestibles saprófitos, mejora la digestibilidad, aumenta el contenido de proteínas, vitaminas y minerales del sustrato residual. Estos hallazgos sugieren su utilización como materia prima para elaboración de concentrados o piensos para animales. Además estos sustratos residuales generados luego de cosechados los carpóforos, pueden incorporarse directamente al suelo como abono orgánico o someterlos a procesos de compostaje tradicional o vermicompostaje utilizando lombrices como *Eisenia foetida* o *Lombricus rubellus*. El compostaje consiste en una degradación controlada de materiales orgánicos, que resulta en sustancias estables y nutrientes potencialmente disponibles para los vegetales. Así, es una alternativa de reciclado de residuos orgánicos que posibilita la obtención de productos que pueden ser usados como biofertilizantes y acondicionadores de suelo de cara a la agricultura orgánica (Concepto y práctica de producción agrícola sin uso de pesticidas sintéticos), que en los últimos años ha creado nuevas oportunidades de exportación.

3. Partes del hongo y de una seta

En el hongo hay que diferenciar dos partes fundamentales: el cuerpo vegetativo y el cuerpo reproductor. El cuerpo vegetativo, que se encuentra bajo el suelo, está formado por unos filamentos llamados hifas que pueden ser unicelulares (con sucesión de núcleos). Al conjunto de todas las hifas es a lo que se le llama micelio. El micelio es el que se encarga de absorber las sustancias minerales del suelo para alimento del hongo. El

micelio en realidad es el hongo, ya que la seta (a la que comúnmente se la llama hongo), es su aparato reproductor. Por lo tanto, el carpóforo es la parte que sale al exterior y constituye el tejido fúngico de los hongos superiores, especializado en garantizar la perpetuación de la especie. El sombrero o pileo es la parte superior, generalmente tiene forma de paraguas, aunque pueden adoptar diversas formas. Bajo el sombrero se encuentra el himenio que es una membrana que envuelve a los elementos fértiles. El himenio puede presentarse de diferentes formas: como láminas, tubos, agujones, pliegues etc. En ciertas setas, cuando son jóvenes, el sombrero se ve envuelto en una telilla que se rompe cuando este aumenta de tamaño, quedando restos en el pie (estípite), dando lugar al anillo. La volva es como una envoltura en la parte inferior del estípite (Mendivil, 1996). La figura 1 muestra las partes de una seta.



Figura 1. Partes de una seta (Romero, 1998)

4. Los basidiomicetos

Forman un grupo de hongos muy grande y diverso que se caracteriza porque produce esporas sexuales en cuerpos fructíferos llamados basidiocarpos (del griego *basidion* que significa base pequeña y *basidion* más *karpos* que significa fruto), también conocidos como basiomatas, basidiomas o carpóforos, los cuales portan estructuras especializadas conocidas como basidias (figura 2). Como se muestra en la figura 3, en la mayoría de las especies, cada basidia produce cuatro basidiosporas, que son fuertemente expulsadas al ambiente al llegar a su madurez.

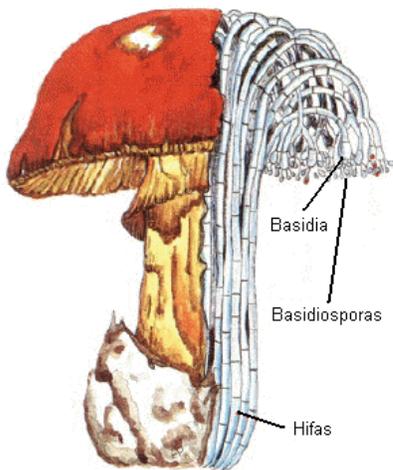


Figura 2. Estructura interna del carpóforo de un basidiomiceto (Kobold,2000)

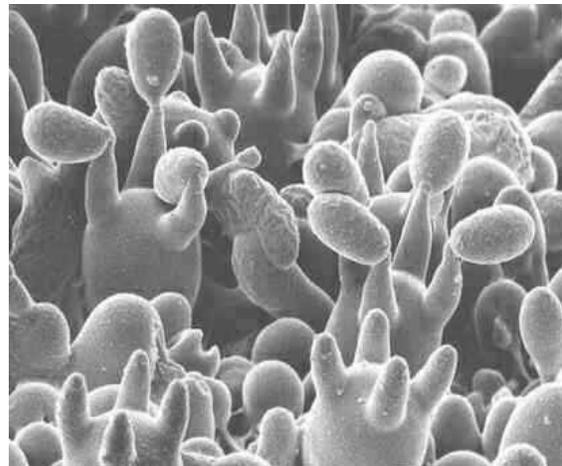


Figura 3. Basidias y basidiosporas (Deacon, 2005)

La mayoría de estos hongos produce un micelio bien desarrollado, con septos simples o doliporo, dependiendo del orden taxonómico. Usualmente es blanco, amarillo brillante o naranja, y a menudo se dispersa hacia el frente creciendo en forma de abanico, puede entretrejerse formando estructuras parecidas a cuerdas o raíces llamadas rizomorfos, resistentes a condiciones adversas como la falta de nutrientes o la humedad. En condiciones adversas pueden permanecer latentes hasta que las condiciones favorables para el crecimiento se presenten nuevamente. Comúnmente son producidos por muchas especies de hongos ectomicorrícicos y por varios descomponedores de la madera y son importantes no sólo en la dispersión de ciertas especies sino también en las actividades de exploración y acumulación de nutrientes (Sánchez y Royse, 2002). En la figura 4 se muestra el micelio típico de los basidiomicetos y el rizomorfo del hongo *Armillaria ostoyae*, que según Dreisbach y Parks (2000), es probablemente el organismo vivo más grande de la tierra. Se trata de un hongo que está creciendo a lo largo del perfil de suelo y las raíces de los árboles del Bosque Nacional de Malheur en las Montañas Azules al este de Oregon. Según estudios de laboratorio se trata de un solo microorganismo que cubre alrededor de 890 hectáreas.

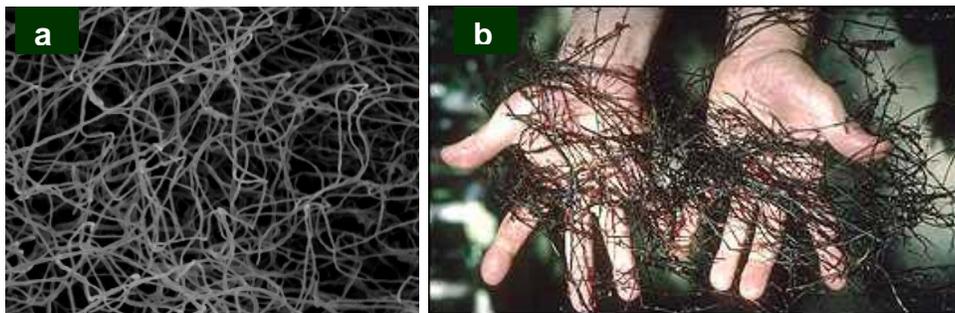


Figura 4. a) Micrografía del micelio (Popoff, 2005), b) Rizomorfo del hongo *Armillaria ostoyae* (Dreisbach, 2000)

El micelio también puede organizarse y formar tejidos durante la fase sexual de su ciclo reproductivo y dar origen a cuerpos fructíferos de formas muy diversas, que van de unos cuantos milímetros hasta varios metros. Pueden ser delgados, costrosos o gruesos y pueden presentar forma de seta, repisa, coral, estrella, falo o nido de pájaro. Pueden estar brillantemente coloreados o no, tener consistencia gelatinosa, cartilaginosa, papirosa, carnosa, esponjosa, corchosa, leñosa o cualquier textura. Los basidiocarpos pueden estar abiertos desde el principio, mostrando sus basidias tempranamente, abrirse en un estado tardío o aun permanecer completamente cerrados. En las especies cuyos basidiocarpos permanecen cerrados, las esporas son liberadas solamente mediante la desintegración o ruptura de este. En este grupo de incluyen royas y carbones causantes de enfermedades en plantas cultivadas que llegan a destruir las cosechas de un gran número de ellas. También parásitos de árboles forestales destructores de la madera y las setas, en donde se encuentran la mayoría de especies que comúnmente conocemos como hongos comestibles (Deacon, 1997, citado por Sánchez y Royse, 2002).

4.1 Desarrollo y tipificación del micelio

Aunque algunos basidiomicetos tienen la tendencia de crecer como levaduras, el micelio de las especies mejor conocidas está formado por hifas bien desarrolladas y con septos.

Éstas crecen a través del substrato obteniendo así su alimento. De manera individual las hifas son microscópicas, pero pueden ser vistas a simple vista cuando están en masa como micelio. El micelio de la mayoría de los basidiomicetos heterotálicos pasa por tres etapas de desarrollo, antes de que el hongo complete su ciclo de vida. Al inicio, el micelio primario u homocarión, llamado así para enfatizar que todos sus núcleos son idénticos. Este estado usualmente se desarrolla después de la germinación de una basidiospora. Tan pronto como los septos se forman, éstos dividen al micelio en nuevos compartimientos típicamente uninucleados (monocarión).

Aunque el micelio primario en la mayoría de los basidiomicetos parece capaz de tener un crecimiento indefinido, no es común encontrarlo en la naturaleza de esta manera, pues da origen casi inmediatamente al llamado micelio secundario o heterocarión.

La formación del micelio secundario usualmente involucra una interacción entre dos micelios homocarióticos compatibles. Éste puede ser resultado de la espermatización o de la fusión de dos compartimientos de micelio homocariótico compatible, dando origen a un comportamiento heterocariótico en el que cada compartimiento hifal contiene dos núcleos (dicarión). A partir de este compartimiento de micelio secundario, la dicariorización del resto del micelio puede darse aparentemente en una de dos formas: a) La célula binucleada produce una ramificación en la cual los dos núcleos migran y posteriormente se dividen conjuntamente, aunque los núcleos hijos migran cuando el compartimiento hifal es dividido en dos por la formación de un nuevo septo. Repetidas divisiones de este tipo acompañadas por la formación de nuevos septos da como resultado la formación de un micelio extenso y dicariótico; b) El segundo método de dicariorización, fue propuesto por Raper (1966), y ocurre más frecuentemente que el primero. Aquí se menciona que hay división de los núcleos en la célula binucleada seguida por la migración de los núcleos hijos hacia el micelio primario que pertenece a un grupo de compatibilidad opuesto. En otras palabras, un núcleo *a* se muda hacia el micelio *b*, mientras que el núcleo *b* se muda hacia el micelio *a*. Al llegar al nuevo compartimiento, los núcleos extranjeros se dividen rápidamente y su progenie migra de un compartimiento a otro hasta que ambos micelios se dicariorizan completamente.

El mecanismo mediante el cual muchos de los basidiomicetos aseguran el mantenimiento de la condición dicariótica en cada nuevo compartimiento del micelio secundario, involucra la formación de estructuras especializadas llamadas conexiones grapa o fíbulas, que son formadas durante la división de los núcleos en el extremo de la hifa en crecimiento. La presencia de conexiones grapa se considera generalmente como indicativo de la condición dicariótica, aunque no todas las especies las forman.

El micelio terciario de los basidiomicetos es representado por los tejidos organizados y especializados que comprende los basidiocarpos de las especies más complejas. En este caso las hifas se entretajan para formar el carpóforo y en algunas especies pueden diferenciarse morfológicamente en varios tipos. Esto ocurre, por ejemplo, en el orden *Aphyllophorales*, donde pueden presentarse tres tipos de hifas (generativas, esqueléticas y de enlace). Aunque no es aplicable a todos los grupos, el análisis microscópico del tipo de hifas presentes en los basidiocarpos es importante para la identificación de los hongos y para establecer relaciones entre las diferentes especies (Sánchez y Royse, 2002). En la figura 5 se ilustra uno de los mecanismos de dicariorización del micelio secundario y una

micrografía de microscopio electrónico de la unión grapa.

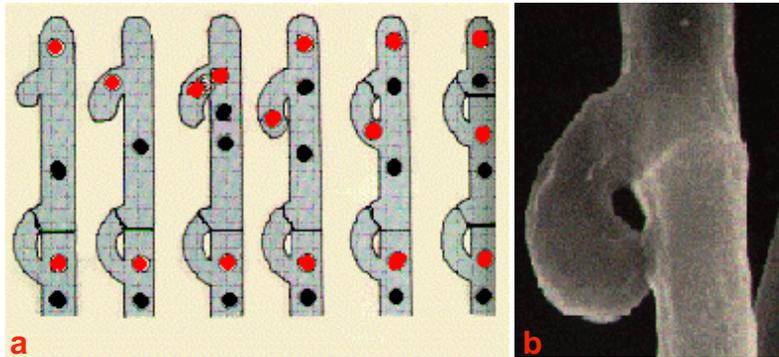


Figura 5: a) Proceso de dicariorización del micelio secundario, b) Unión grapa o fíbula (Popoff, 2005)

4.2 El septo

La mayoría de las especies parecen poseer septos simples con un solo poro central (figura 6). En algunas especies la pared del septo cercana al poro está engrosada y forma una hinchazón en forma de dona o de barril. A este tipo se le ha llamado septo doliporo (figura 6), y algunas veces está cubierto en alguno de los lados por una estructura membranosa en forma de domo llamada tapa del poro del septo o parentesoma. Esta estructura parece ser una modificación del retículo endoplásmico y es parte integral y funcional del septo. Se han reportado varios tipos de poros en los septos de basidiomicetos, aunque las tapas de algunas especies parecen ser estructura continua no porosas, pero en la mayoría de las especies están perforados. Flegler *et al.* (1976) citado por Sánchez y Royse (2002), señala que no se conoce la función exacta del septo doliporo, aunque parece que la tapa del poro actúa como una malla o filtro, que permite el paso de algunos componentes del citoplasma del hongo de un compartimiento hifal al próximo, pero retarda el paso de otros.

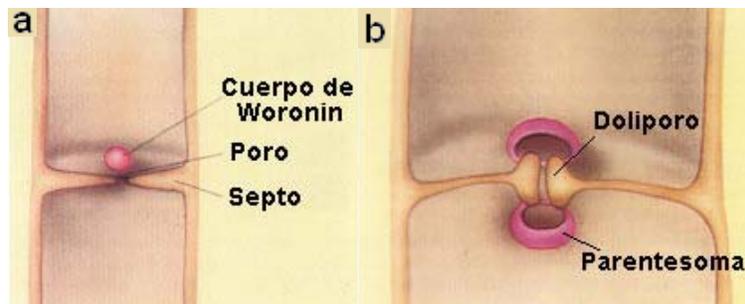


Figura 6. Septos de basidiomicetos: a) septo simple, b) septo doliporo (Deacon, 2005)

4.3 Los basidiocarpos

En la forma que ya se ha indicado, los basidiomicetos forman cuerpos visibles a simple vista que portan esporas de origen sexual, éstos se conocen comúnmente como hongos y pueden tener formas diversas. La mayoría de hongos comestibles tienen forma de sombrilla o seta. Cuando el micelio ha crecido suficiente sobre el sustrato y las condiciones del medio lo permiten, las hifas dicarióticas se agregan para formar cuerpos

fructíferos. Los mecanismos inherentes al hongo que dirigen y regulan la formación de cuerpos fructíferos no son conocidos en la actualidad y resultan aún difíciles de explicar; sin embargo es claro que su desarrollo requiere de una modificación del comportamiento normal invasivo del micelio vegetativo, por otro en el cual las hifas no tengan un crecimiento divergente, sino que converjan para formar un órgano diferenciado (Moore, 1995)

Willians *et al.* (1985), mencionó que la primera señal morfológica del inicio del basidiocarpo es la formación de pequeños agregados de hifas (primordios) en las zonas ramificadas de crecimiento crítico del micelio dicariótico. En este estado el primordio del basidiocarpo está compuesto de hifas ampliamente espaciadas, ramificadas y entretrejidas. A medida que éste crece, las hifas exteriores forman numerosas cystídias cónicas que dan al primordio una apariencia espinosa. El crecimiento y la diferenciación continúan hasta que aparece el pileo rudimentario. Posteriormente se forma una seta miniatura con un estípote, pileo y un himenio cubierto de lamelas. Después de esto, hay un agrandamiento rápido dando lugar a la aparición del basidiocarpo maduro, salvo algunas pequeñas diferencias, el desarrollo de otros hongos del orden *Agaricales* es similar al que se presenta en la figura 7 para especies del género *Amanita*.

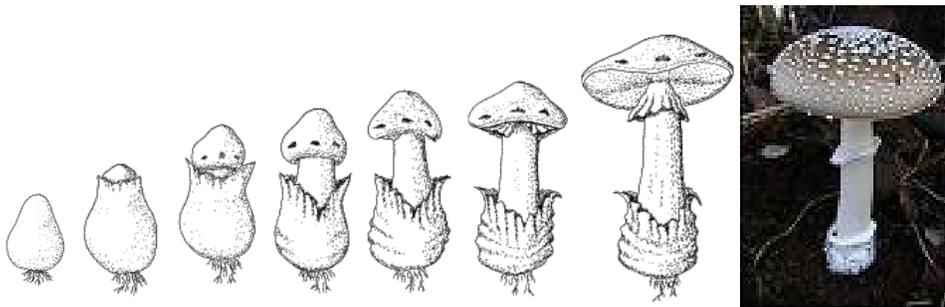


Figura 7. Formación y diferenciación del carpóforo típico de Amanitas (Tormo, 1996)

4.4 Reproducción y ciclo de vida

La reproducción es la formación de nuevos individuos con características típicas de la especie. En el caso de los hongos podemos observar que hay dos formas para dar origen a nuevos individuos: la sexual y la asexual. A esta última también se le conoce como somática o vegetativa, debido a que no involucra fusión de núcleos. Se puede dar por fragmentación del micelio, el cual al colocarse bajo condiciones adecuadas de temperatura, humedad y substrato, da origen aun nuevo individuo. Esta forma de reproducción es utilizada para multiplicar los hongos comestibles en el laboratorio, pues permite mantener las características de la cepa que se está cultivando.

Los hongos superiores poseen células madre localizadas en el himenio que son las encargadas de producir las esporas. En el caso de los Basidiomicetes a estas células madre se les denomina Basidias. Las esporas de las basidias, son lanzadas al exterior para la propagación de la especie. Si la spora se deposita en un lugar cuyas condiciones sean favorables dará origen al micelio. Este crecerá bajo el suelo o entre la hojarasca, se ramificará y se entremezclará con los micelios de otras esporas para dar origen al micelio secundario, el cual crecerá y se diferenciará hasta formar los cuerpos fructíferos. Para que

el cuerpo fructífero se desarrolle es necesario que dos micelios homocarióticos compatibles se fusionen y por disolución de la pared del punto del contacto, formen compartimentos hifales de citoplasma continuo y con dos tipos de núcleos provenientes de cada uno de los compartimentos que se fusionaron. Es a partir de estos, que por divisiones conjugadas de ambos tipos de núcleos y su posterior migración, hacia los compartimentos de compatibilidad sexual contraria al núcleo que migra se forma el micelio dicarión. El micelio heterocarión es capaz de crecer vigorosamente y de multiplicarse vegetativamente en esta condición de forma indefinida. Esto ha permitido mantener las características de alta producción, color y excelente calidad culinaria, de muchas de las cepas de hongos comestibles que en la actualidad se cultivan comercialmente en diferentes partes del mundo. Por tanto, éste es el tipo de micelio que muchas casas comerciales y laboratorios venden a los cultivadores de hongos comestibles, quienes al inocularlo sobre el substrato lo multiplican (Sánchez y Royse, 2002).

En el terreno donde la humedad y las condiciones del medio sean óptimas crecerá una seta que portará en su himenio las basidias que expulsarán al exterior las esporas, dando lugar de nuevo al ciclo biológico del hongo. Aun cuando la inducción y la formación de los basidiocarpos son reguladas por la interacción varios factores, se pueden mencionar que estas son favorecidas por los cambios bruscos de humedad, concentración de CO₂ y temperatura (Mendivil, 1996). La figura 8 ilustra el ciclo biológico general de un hongo basidiomiceto.

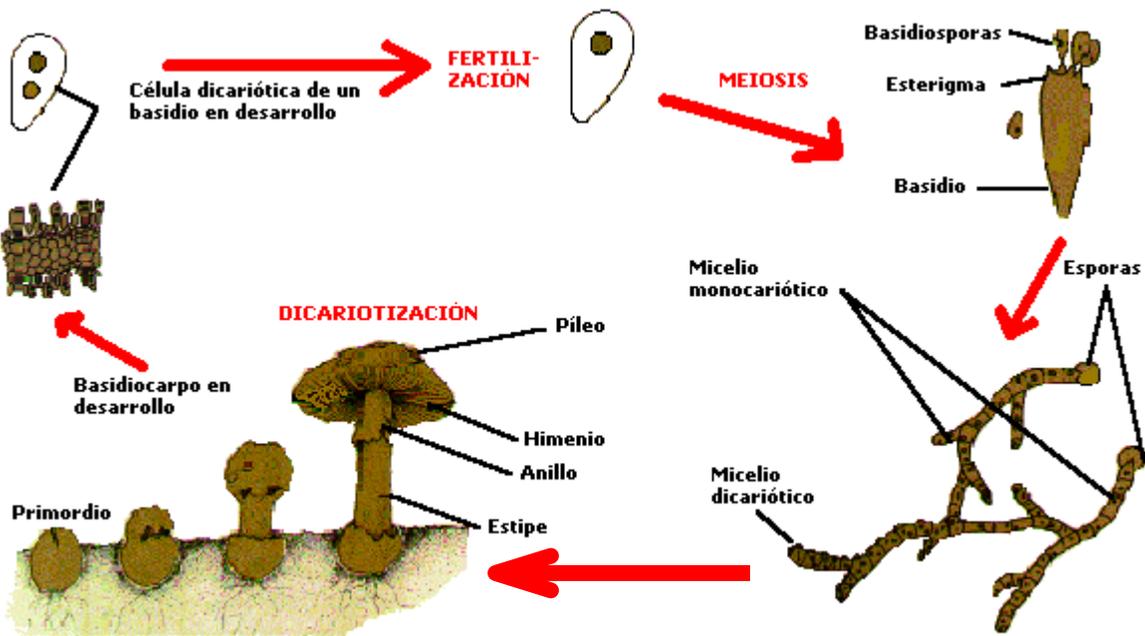


Figura 8. Ciclo biológico general de un hongo basidiomiceto (Cardillo, 1991)

4.5 Fases de crecimiento del micelio

El crecimiento del micelio de un hongo varía según si se da en un medio líquido o en un medio sólido. En medio líquido crece solo sobre la superficie cuando el líquido está en reposo; pero si el medio es permanentemente agitado, pueden crecer en todo el volumen. Según la condiciones, el hongo puede o no formar pequeñas esferas de micelio. En medio

líquido agitado, los hongos suelen presentar un desarrollo típico, similar al presentado por otros organismos y que consta de las siguientes fases: Latencia, exponencial, declinación, estacionaria y muerte. Este desarrollo se puede representar de manera gráfica mediante una curva como la que se muestra en la figura 9. Cuando el crecimiento de un hongo se da en un medio sólido en lugar de fase exponencial se presenta una fase de crecimiento mas o menos lineal, además, según las condiciones, una etapa de fructificación.

a) Fase de latencia

Esta fase se presenta inmediatamente después de que el hongo ha sido inoculado en un medio apropiado para su crecimiento. Es una etapa de adaptación en la que no hay crecimiento aparente, sino más bien síntesis de los componentes celulares necesarios para iniciar la elongación celular. Si el hongo fue dañado durante la siembra, en esta etapa de latencia sintetizará pared celular y preparará puntos de crecimiento. La duración de la fase de latencia es muy variable y depende del tipo y del estado fisiológico del hongo, así como del tipo de sustrato y de las condiciones de cultivo. La fase de latencia se minimiza o aún puede ser suprimida si un hongo es re-inoculado, a partir de una colonia que crece en fase exponencial, a otro medio de características similares (composición, pH, temperatura). La fase de latencia puede sin embargo presentarse aún en estas condiciones si el hongo es maltrato durante la siembra.

b) Fase exponencial

Esta fase es alcanzada cuando un hongo crece en medio líquido, después de que se ha adaptado al medio de cultivo y está en capacidad de aprovechar al máximo las condiciones que éste le ofrece. Durante esta etapa el hongo alcanzará la tasa de crecimiento máxima que el sustrato sobre el que crece le permite. La tasa de crecimiento es una característica importante de cada hongo, que varía con las condiciones del medio y que sirve para hacer comparaciones o predicciones entre cepas cuando crecen en diferentes sustratos. La adición de complementos al sustrato tiene como consecuencia en muchos casos, un mejoramiento de la tasa de crecimiento.

c) Fase de declinación

Esta fase se presenta cuando la acumulación de los desechos del metabolismo del hongo alcanza niveles que se vuelven lindantes para el crecimiento o porque alguno de los nutrientes escasea o se terminan. En estas condiciones la tasa de crecimiento máxima no puede ser mantenida y empieza generalmente a disminuir de manera paulatina. Dadas las condiciones adversas del medio durante la declinación, es relativamente frecuente que un organismo pierda algunas capacidades o modifique otras por mutación. Esto explica por qué la resiembra continua o sistemática de un organismo en un medio de cultivo, sobre todo sintético, puede conducir rápidamente al agotamiento de la cepa o a la pérdida de la misma.

d) Fase estacionaria y muerte

La fase estacionaria es el punto en el cual el crecimiento cesa, aunque todavía prevalece un metabolismo celular de mantenimiento. Durante esta etapa aún hay consumo de glucosa y otros nutrientes. En hongo en esta fase es aún capaz de reiniciar crecimiento si es sembrado en un medio propicio, aunque tendrá un período de latencia más o menos largo según las condiciones. Durante la fase estacionaria empiezan a aparecer diversos tipos de enzimas autolíticas que conducen a la muerte del hongo (Sánchez y Royse,

2002).

En la figura 9 se describe el crecimiento de *Pleurotus ostreatus* en medio líquido de glucosa-extracto de levadura, con agitación de 200 revoluciones por minuto (rpm), aireación de una vez el volumen por minuto (vvm) y 26 grados centígrados. En ella se observan las diferentes fases de desarrollo: latencia (L), exponencial (E), declinación (D) y estacionaria (S) de la biomasa fúngica en función del tiempo; así como la variación de la cantidad de glucosa en el medio de cultivo.

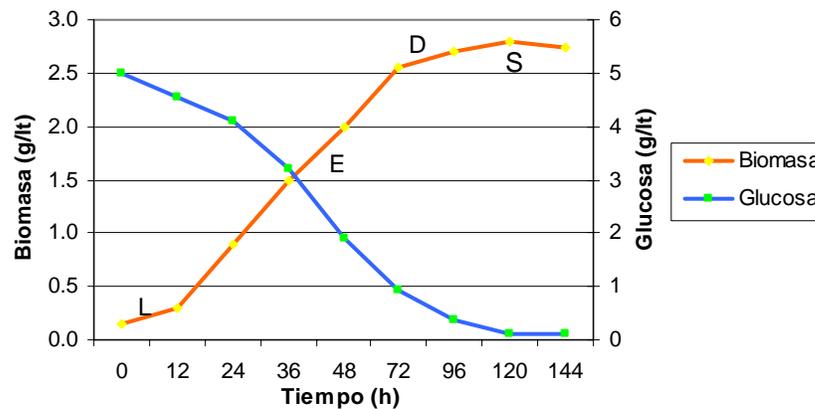


Figura 9. Fases del crecimiento de *Pleurotus ostreatus* (Márquez *et al.*, 1999)

En el caso ilustrado, la medición del crecimiento se ha hecho tomando en cuenta el incremento de la biomasa fúngica, pero también puede realizarse midiendo la variación de la concentración de algún componente celular, la producción de CO₂, etc. La elección del método depende en gran medida del objetivo perseguido. Para el caso de estudios relacionados con el cultivo de hongos, es de particular interés el estudio de la velocidad de colonización del sustrato, por lo que es frecuente el análisis del crecimiento micelial a través del incremento radial de la colonia. Esta es una técnica sumamente sencilla y ampliamente utilizada para determinar la influencia de la temperatura, del pH o de la composición química del medio de cultivo, sobre el crecimiento; pero ha demostrado poca utilidad para hacer inferencias sobre la producción en cuerpos fructíferos y la productividad de los hongos, entre otras. Esta medición puede hacerse a través de la medición periódica del diámetro o radio de una colonia para después graficar los datos en función del tiempo y obtener la pendiente de la recta resultante. Una variación de este método es colocar en tubos estériles el sustrato inoculado y medir la extensión del crecimiento a intervalos periódicos (Sánchez y Royse, 2002).

4.6 Fermentación en estado sólido

El método comúnmente utilizado para obtener carpóforos de hongos comestibles es la fermentación sólida o fermentación en estado sólido; la cual consiste en hacer crecer el micelio secundario del hongo sobre un sustrato hasta llegar a la fructificación, en ausencia de agua libre en el sistema. El líquido ligado a las partículas sólidas debe estar en una cantidad que asegure la actividad metabólica del microorganismo, pero sin exceder la capacidad de retención de humedad del sólido. Para que ello ocurra, el agua debe encontrarse adsorbida en la superficie de las partículas o atrapada dentro de la región

capilar del sólido (Dustet, 2004).

Así, este proceso constituye una vía alternativa para el empleo y tratamiento de una amplia gama de subproductos lignocelulósicos de bajo costo, pues no se originan cantidades importantes de desechos líquidos. Por otra parte, la fermentación en estado sólido mejora la composición nutricional y las propiedades físicas de los residuales orgánicos, que bien pueden ser utilizados como fuente de alimento animal o aprovecharse como acondicionador de suelos.

La fructificación de los hongos mediante procesos de fermentación sólida se ve afectada por varios factores químicos y físicos del sustrato sobre el cual crecen y por las condiciones ambientales. Entre los factores asociados al sustrato están: El pH, la relación carbono-nitrógeno, el tamaño de partícula, la capacidad de retención de humedad, y la cantidad de carbohidratos, lípidos, nitrógeno, vitaminas y minerales presentes en su composición. Como factores ambientales pueden mencionarse: La temperatura, la humedad relativa, la aireación y bióxido de carbono, la iluminación, etc.

El balance de materia para el crecimiento de los hongos, puede ser delineado de la manera que se presenta en la figura 10.

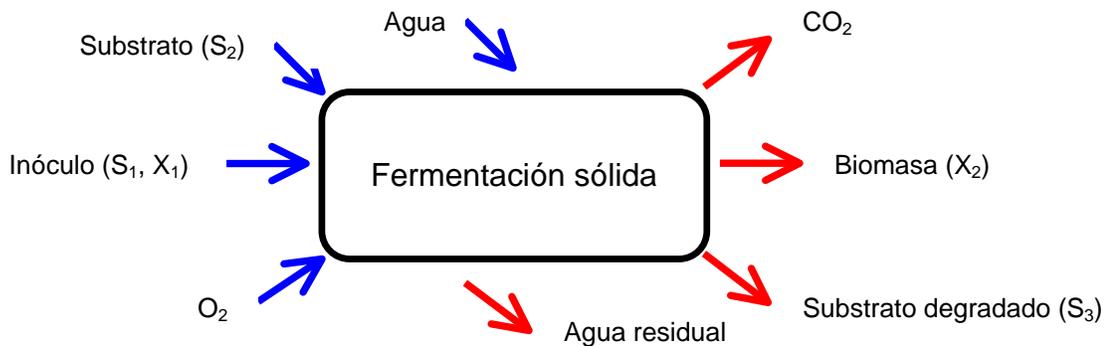


Figura 10. Balance de materia durante el cultivo de un hongo (Sánchez y Royse, 2002)

Para el cual $X_2 = X_1 + Y(S_1) + Y(S_2)$, en donde:

S_1 = Substrato en el inóculo (g)

S_2 = Substrato para fructificación (g)

S_3 = Substrato degradado (g)

X_1 = Biomasa del inóculo (g)

X_2 = Biomasa producida (g)

Y = Rendimiento

En el modelo anterior, X_2 es el total de hongo producido como micelio (X_m) más los cuerpos fructíferos (X_3). Como S_1 no es significativo comparado con S_2 y que X_1 tampoco lo es respecto con X_2 , el rendimiento del proceso puede considerarse como: $Y = \frac{X_2}{S_2}$. Sin embargo, para este caso especial de producción de carpóforos es más interesante

estimar: $Y = \frac{X_3}{S_2}$ que es la fórmula que se utiliza para calcular el rendimiento de un sistema

de cultivo de hongos comestibles. Por consiguiente, resulta de interés práctico para cuantificar el rendimiento, la definición de los términos: Eficiencia biológica (EB) y Tasa de producción (TP) (Royse, 1985), así:

$$EB = \frac{\text{Peso de los cuerpos fructíferos frescos}}{\text{Peso seco del substrato}} \times 100$$

$$TP = \frac{EB}{\text{T tiempo en días (desde la inoculación a la cosecha)}}$$

5. Hongos silvestres

Es bien conocida la tradición de cosechar los hongos que crecen naturalmente en diferentes temporadas del año, pero el interés por las setas no se limita a cuestiones gastronómicas, organolépticas o comerciales únicamente. Igualmente importantes son los aspectos lúdicos o deportivos y técnico-científicos, que implican el desplazamiento de las personas hacia áreas boscosas en busca de setas silvestres. Cabe señalar que en algunos países como Guatemala, la recolección de hongos es una actividad casi familiar en áreas rurales, ya que representa una forma temporal de obtener ingresos y modificar hábitos alimenticios.

5.1 Hongos comestibles y venenosos

Dentro del complejo de especies de hongos que albergan los bosques, se pueden encontrar tanto especies comestibles como alucinógenas y venenosas. Se llama envenenamiento por setas a los efectos nocivos provocados al ser humano por la ingestión de sustancias tóxicas presentes en ciertas especies de hongos silvestres, que pueden ir desde molestias gastrointestinales y nerviosas leves hasta lisis de células hepáticas y muerte. Los síntomas típicos son: Dolor de cabeza, mareos, sudor frío, vómitos, dolor abdominal agudo, ictericia, diarrea, entre otros. Estos no siempre aparecen justo después de comer las setas venenosas, a menudo se presentan de 15 minutos a 12 horas después de ingeridas. En otros casos los síntomas que llevan a la muerte, vómitos sanguinolentos por ejemplo, pueden perduran hasta 8 días después de la ingesta (Gallego y Sánchez, 2000).

Las intoxicaciones suelen deberse a la ignorancia de que existen setas venenosas, a la confusión con especies comestibles, o bien, a la aplicación de falsas normas para reconocer setas venenosas. Según Kobold (2000), existe tendencia a proporcionar pistas engañosas respecto a las características que presentan las setas venenosas, tales como:

- Tienen colores intensos y brillantes. Es falso porque algunas especies muy tóxicas son totalmente blancas, como la *Amanita virosa*.
- Ausencia de infestación por caracoles o insectos. Es falso porque los hongos pueden ser inocuos para los invertebrados y tóxicos para los humanos. Por ejemplo, la *Amanita phalloides* suele estar perforada por larvas de insectos.
- Se vuelven negras al contacto con cubiertos de plata o con una cebolla. Es falso: la mayoría de las setas suelen oscurecerse a medida que se marchitan.
- Huelen y saben muy mal. También es falso. A criterio de víctimas que han tenido la

fortuna de sobrevivir a la ingestión de setas tóxicas, algunas setas venenosas son deliciosas.

- e) Es seguro comerlas si se cocinan lo suficiente. Igualmente falso: la estructura química de algunas toxinas es muy estable, incluso a temperaturas altas.

En realidad, no existen reglas simples que permitan identificar las setas venenosas. Generalmente los conocimientos se transmiten por tradición de padres a hijos, de donde resulta que los campesinos sean expertos en la identificación de los hongos que pueden ser consumidos sin peligro. En general, la única forma de minimizar riesgos es contar con experiencia, conocimientos taxonómicos, de distribución de especies y ser prudentes. Pero, ¿En qué experiencia? Así como identificamos las frutas y legumbres en el mercado, analizando la forma, el color, la textura y basándonos en la imagen mental que conservamos de ellas producto del aprendizaje empírico. Así es como los campesinos que venden esos hongos nos aseguran que son comestibles.

Si hoy compramos en mercado un hongo comestible, por ejemplo, el "Hongo de San Juan" que se caracteriza por tener el pileo anaranjado yema, sin escamas, con borde estriado, con anillo en el pie, láminas anaranjadas y con copa en la base del estípite y si nos grabamos esta imagen, nunca olvidaremos dicho hongo y lo identificaremos fácilmente otra vez. Pero, si encontramos en el bosque un hongo parecido, con color más pálido o más fuerte, o que no presente anillo u otra estructura típica, seguramente es otra especie, probablemente venenosa.

Las principales características a tener en cuenta durante el examen morfológico de los cuerpos fructíferos de las setas son: forma del sombrero, color, aspecto del margen y de la cutícula; forma de las láminas o de los túbulos que sustentan el sombrero (himenio), color y aspecto de las esporas; forma, aspecto y color del pie; aspecto de la carne. Por ejemplo los hongos comestibles del género *Boletus* (figura 11), pueden ser identificados en parte por el hecho de que el himenio tiene poros en lugar de láminas, característica presente en pocas setas venenosas similares (Kobold, 2000).



Figura 11. Himenio con poros de la especie *Boletus aestivalis* (Kobold, 2000)

La similitud entre especies, es la causa frecuente de intoxicaciones, por ejemplo, la deliciosa cantarela (*Cantharellus spp*), ha sido confundida con la seta de olivo (*Omphalotus illudens*), que crece en el suelo donde hay madera en putrefacción enterrada. Asimismo, las amanitas malolientes (*Amanita virosa*) en formación, se parecen mucho al

conocido y consumido champiñón silvestre (figura 12). *Amanita phalloides* se puede confundir con *Russulas* verdes o *Tricholomas* verde-amarillos, aunque éstas no poseen anillo ni volva. Pero incluso esto puede ser insuficiente, debido a que las setas están a veces muy contaminadas por agentes externos, como metales pesados o radiación. De hecho algunos micólogos académicos no comen setas salvajes a pesar de su conocimiento profesional y recolectores muy experimentados resultan a veces intoxicados (Kobold, 2000).



Figura 12. Similitud entre *Amanita virosa* (a) y Champiñón (*Agaricus silvicola*) (b). Kobold (2000).

5.2 Recolección de setas

Las setas silvestres de los bosques municipales se consideran en términos jurídicos, sin propietario. Sin embargo, se deben tener conocimientos mínimos sobre su recolección para evitar intoxicaciones y sobre todo, tomar acciones que favorezcan la sostenibilidad de la biodiversidad fúngica. En este sentido, a continuación se ofrecen: un listado del equipo mínimo del setero y algunas normas prácticas para la recolección de setas.

a) El equipo del setero

- Una cesta de mimbre es conveniente para recolectar. Las bolsas de plástico no se aconsejan pues favorecen la fermentación. La cesta debe ser amplia, de ser posible dividida en diversos compartimentos con el fin de separar unos hongos de otros y evitar la contaminación cruzada con esporas tóxicas de una posible especie venenosa. Si sólo se tiene un fondo, la clasificación se puede hacer envolviéndolos por separado con papel.
- Un cuchillo o una navaja. La forma de recolectar la seta depende de la especie que se trate. De hacerlo con la mano, se corre el peligro de arrancar parte del micelio, por estar la seta sujeta a él, por ello es mejor cortarla por la base al ras del suelo con la ayuda de una navaja o cuchillo.
- Lleve consigo una guía con características y fotografías de setas comestibles, aunque por muy completa que sea, no es suficiente para identificar las especies.
- Un pincel. Con el propósito de limpiar el suelo e impurezas depositadas sobre las setas.
- Una lupa. Aunque no es imprescindible, ayuda a reconocer características particulares de cada especie. Las setas son numerosas, las diferencias entre unas y otras son ínfimas.
- Chubasquero y botas impermeables. No está de mal adentrarse en los bosques con una brújula y un teléfono móvil. En la época de recolección el tiempo es muy cambiante

y no es raro tener a la niebla, lluvias o serpientes como compañeras.

b) Normas prácticas para recolección de setas

Los recolectores de setas silvestres deben seguir algunas normas prácticas. En particular, según Gallego y Sánchez, (2000):

- Si no se conoce la seta, no recolectarla. Si se recolecta, pero no se está completamente seguro de que especie es, no consumirla.
- No permitir que los niños recojan setas para consumirlas.
- El consumo de alcohol debe limitarse cuando se comen nuevas setas silvestres debido a que algunas especies, notablemente ciertos *Coprinus* entintados como *Coprinus atramentarius*, pueden provocar una reacción adversa.
- Las setas que crecen junto a carreteras, jardines públicos, minas, fundiciones, aeropuertos e incineradoras suelen contener metales pesados como el plomo, mercurio y cadmio. Aunque sea fácil hacerse con ellas, hay que evitarlas, pueden ser tóxicas, y limpiándolas no se elimina su toxicidad.
- Al encontrar una seta, buscar más de la misma especie por los alrededores y recoger las maduras, desechar las deterioradas y las inmaduras. La deteriorada no tendrá las cualidades culinarias buscadas y la inmadura debe crecer en su hábitat para completar el ciclo de vida y con ello perpetuar la especie.
- Tampoco se deben coger todas las setas de cada lugar, hay que dejar algunas para que dispersen sus esporas.
- Sí el ejemplar recolectado tiene su sombrero abierto o semiabierto (extendido), es recomendable colocarlo con su parte inferior (láminas, agujones, pliegues o poros) dirigida hacia el agujero de donde fue extraído y con golpes suaves sobre la parte superior favorecer el desprendimiento de las esporas. Sí el objetivo de la recolección es la venta, entonces el hongo debe extraerse lo más completo posible, de tal manera que sólo quede el micelio en el sustrato.
- Cubrir el agujero de donde se extrajo el hongo con la hojarasca removida inicialmente, para evitar que el micelio pierda agua, lo que provocaría su muerte.
- Recolectar sólo la cantidad que va a utilizarse. Esta recomendación guarda un sentido ecológico, pero también práctico. Las setas son alimentos perecederos, que si bien algunas se pueden congelar, sus propiedades se ven mermadas. Además, no se recomienda consumir la misma especie en períodos de tiempo cortos. La tolerancia puede convertirse en intolerancia.
- En el medio natural nunca hay que destruir las especies desconocidas, todas cumplen una función en el bosque y en el ecosistema: favorecen el crecimiento de las plantas y reciclan la materia orgánica del suelo.
- El recolector de setas no debe usar el rastrillo o escarbar el suelo, ya que podría destruir el micelio del hongo e impedir que volviesen a salir setas.

5.3 Descripción de especies venenosas comunes

Tres de las setas más letales pertenecen al género *Amanita*: la *Amanita phalloides* (cicuta u oronja verde), *Amanita virosa* y *Amanita verna* (cicuta blanca). Otras dos son del género *Cortinarius*: *Cortinarius rubellus* y *Cortinarius orellanus*. Estas especies causan el mayor número de fallecimientos. Las principales toxinas son la alfa-amanitina en el género *Amanita* y la orellanina en el género *Cortinarius*. En algunas *Clitocybe* blancas, incluyendo *Clitocybe rivulosa* y *Clitocybe dealbata*, los primeros síntomas aparecen tras 15 a 20 minutos. Por su parte, *Amanita muscaria* (Figura 13) puede provocar malestares pero son

letales con menor frecuencia. Su larga historia de uso como enteógeno (alucinógeno) y nuevos informes sugiriendo que es menos tóxica de lo que se creía, pueden llevar a provocar trastornos nerviosos por consumo excesivo.



Figura 13. *Amanita muscaria*, seta utilizada como enteógeno (Eaton y Salmón, 2000)

Según Eaton y Salmón (2000), las características de *Amanita phalloides*, *Cortinarius orellanus* y *Clitocybe dealbata*, son:

a) *Amanita phalloides*

Comúnmente conocido como oronja verde o falsa oronja. Es un hongo micorrícico que vive en bosque con suelos preferentemente arenosos. Es muy común, se encuentra desde la costa hasta la montaña. Su epíteto específico *phalloides* se deriva del griego *phallos*, que significa “pene” y *eidos* que significa “forma”, debido a la morfología del carpóforo en los primeros estadios de su desarrollo (figura 14). Es la seta más peligrosa si es ingerida por humanos, responsable de más del 90% de los envenenamientos mortales a escala mundial. Para cualquier adulto, 50 gramos de esta seta fresca son mortales. De las 12 sustancias tóxicas que contiene, la alfa-amanitina es la más peligrosa, capaz de destruir el hígado. No existe antídoto y los tratamientos se limitan a facilitar la eliminación del veneno del cuerpo del paciente y a intentar proteger sus órganos. Presenta una coloración típicamente verde oliva brillante cuando está seco, ligeramente viscosa con humedad. Su tinte no es siempre uniforme; algunas formas son pálidas, incluso blancas. Exhala un ligero olor a pétalos de rosas que se acentúa con la edad o con la desecación. El contexto es blanco, denso y tierno. Las características morfológicas son: Himenio con láminas libres y esporas de color blanco, con pileo ovoide o aplanado, estípite con anillo y volva.



Figura 14. *Amanita phalloides*. (Eaton y Salmón, 2000)

b) *Cortinarius orellanus*

Esta seta puede resultar mortal. Los síntomas de intoxicación no se manifiestan hasta después de algunos días de su consumo. Sus toxinas resisten tanto una prolongada cocción como el secado, por lo tanto, el *Cortinarius orellanus* es venenoso cualquiera que sea la forma en que se consuma. El llamado Síndrome cortinárico es causado por la toxina orellanina, que provoca una primera fase de cuadro gastrointestinal leve, con náuseas, vómitos y diarrea poco intensa. Una segunda fase grave de nefritis tubulointersticial, con isquemia glomerular e insuficiencia renal aguda, transitoria o que puede evolucionar a insuficiencia renal crónica, con los trastornos metabólicos correspondientes. Afortunadamente son poco abundantes y difíciles de confundir con alguna seta comestible de uso habitual. Crecen en bosques de árboles de hoja caduca o de pinos.

El pileo es acampanado-obtuso a convexo, de 3 a 6 cm de diámetro y exigua decoración granulada o de finas fibrillas en su superficie que le dan un aspecto opaco. Higrófono y de color variable según el grado de humedad, pasando de rojo-ladrillo a amarillo parduzco, color miel al perder la humedad. También el pileo puede tener en el centro, una prominencia redondeada (figura 15). Margen liso o ligeramente estriado. Láminas adnatas o ligeramente decurrentes, algo apretadas de joven y más separadas con la madurez, son estrechas, de color ocre que vira al pardo-ferruginoso con la edad. El estípite es esbelto, de color ocráceo más oscuro en la parte superior y más claro en la base, con un patente anillo membranoso, primero extendido y más tarde adherido al pileo. Es una seta que crece en bosques latifoliados, con preferencia por los suelos ácidos. Sin embargo, no está excluida su presencia en otros hábitats como el de los pinos.



Figura 15. *Cortinarius orellanus* (Eaton y Salmón, 2000)

c) *Clitocybe dealbata*

Seta muy tóxica debido a la muscarina, que actúa estimulando el sistema nervioso colinérgico. Sombrero de 2 a 4 cm de diámetro, higrófono, delgado y de consistencia fibrosa. Primeramente es convexo luego abierto y unido por el centro o embudado (aplanado con depresión central). Borde enrollado, delgado, luego ondulado y lobulado, color blanco pero se torna crema con la humedad (figura 16), cubierto de una pruina blanquecina brillante. Láminas desiguales cerradas, decurrentes o arqueadas, blancas y gris amarillentas. Las esporas son blancas. Pie fibroso, cilíndrico, recto o curvado de 2 a 4 cm, atenuado en la base y de color blanco crema. Generalmente crece en prados y pastizales. Se puede confundir con especies comestibles, por ejemplo *Clitopilus prunulus*.



Figura 16. *Clitocybe dealbata*, (Eaton y Salmón, 2000)

6. Hongos comestibles cultivados

La producción de hongos comestibles es un proceso de reconversión ecológica, pues transforma materiales lignocelulósicos residuales en alimento proteínico y en mercancía para la venta. Cultivar hongos es un arte, como tal, requiere conocer técnicas y adquirir experiencia para cosechar.

En muchos países asiáticos y del Hemisferio Norte, el cultivo de hongos comestibles es una agroindustria desarrollada y significativa, donde no sólo se generan divisas sino que también absorben cuantiosa mano de obra durante todo el año. El desarrollo expansivo y tecnológico de este tipo de cultivos se debe principalmente al considerable aumento del consumo en E.E.U.U. y Europa. La mayoría de los países productores también son importadores ya que el consumo promedio en esos países es significativamente alto. Se estima que en Alemania, Canadá y Estados Unidos se consumen unos 4 kg/hab/año. En los países bajos el consumo llega a los 14 kg/hab/año. Para hacer frente a este consumo, que está muy lejos de ser estacional, muchos países han desarrollado estrategias propias de producción para abastecer tanto a los mercados locales como externos, lo que ha generado procesos productivos que prácticamente no se detienen durante todo el año y que aprovechan diversos desechos agroforestales como sustratos para el cultivo y transformándolos en productos mucho menos nocivos para el ambiente (Schiess, 2006).

Los gobiernos han puesto mayor atención al descubrir que los hongos, de acuerdo con las investigaciones efectuadas hasta la fecha, son más nutritivos de lo que se creía antes, con una calidad y cantidad de proteína mayor a la de la mayoría de los vegetales y menor que la carne y leche. Por lo ello, la *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* (FAO) ha recomendado que se establezcan programas de extensión del cultivo de hongos en los países subdesarrollados para reducir la deficiencia proteica de la dieta de sus habitantes y reducir la contaminación ambiental mediante la degradación de los grandes volúmenes de residuos del sector agropecuario que suelen generarse en dichas naciones como típicas exportadoras de materias primas y alimentos naturales. Según Schiess (2006), en cultivos artificiales de hongos, se obtienen producciones de 3.1 kg/m², cifra superior a muchos cultivos agropecuarios (por ejemplo, trigo: 0.27 kg/m², carne: 0.069 kg/m²).

Así, el cultivo de hongos comestibles representa en la actualidad una alternativa para

fomentar el desarrollo en áreas rurales. La técnica básica está establecida y no requiere de economías a gran escala para realizarse, pero la mayoría de intentos han fracasado, debido a la ignorancia sobre el tema y la falta de asistencia técnica e información disponibles para cualquier persona común y corriente que pretenda cultivar hongos.

El cultivo de hongos requiere control sobre las condiciones del medio (temperatura, humedad, ventilación, luz, oscuridad, etc.). Entre más factores del medio se puedan controlar, más costos se tendrán que incorporar a la inversión para el cultivo. Los cultivos son más estables y más productivos cuando el lugar de cultivo posee aire acondicionado, pero los costos de producción se elevan. Sin embargo, las condiciones de cultivo artesanal son baratas, aunque dependientes de las condiciones del ambiente y son productivas a bajo nivel, suficiente para autoconsumo y comercialización del excedente. En el cultivo artesanal de hongos se puede ejercer también cierta regulación sobre los factores del medio, acondicionando de tal manera los locales para permitir el flujo de corrientes de aire y aplicación de riego (López, 1995).

Aunque en los países desarrollados se requiere de un significativo capital para establecer una planta de producción de hongos, en muchos países subdesarrollados es suficiente sólo una fracción de dicho capital por dos razones principales: La mano de obra es barata y el clima es más benigno que en las latitudes situadas más allá de los trópicos de Cáncer y Capricornio. En estos casos no se necesita el equipo altamente tecnificado que se emplea en los países ricos para sustituir su costosa labor humana ni los sistemas de calefacción, enfriamiento y los materiales aislantes que son indispensables para afrontar las inclemencias de un clima extremo.

6.1 Producción mundial de hongos comestibles

Cuando se habla de hongos comestibles cultivables, se piensa de inmediato en el Champiñón blanco o de París (*Agaricus bisporus* y *Agaricus bitorquis*). Aunque es el que se cultiva comercialmente con mayor frecuencia, éste es apenas una de las muchas especies de setas que se consumen en todo el mundo. La producción comercial del champiñón requiere altas inversiones, por lo que está fuera del alcance de inversionistas medianos o pequeños. A pesar de que existen algunas plantas de producción de esta especie con una baja inversión, estos tienen una cantidad considerable de problemas técnicos-productivos que hacen el negocio poco rentable.

Tras varios años de reinar en solitario, al Champiñón se le vino a sumar un nuevo hongo cultivado: el hongo ostra, gírgolas o setas del género *Pleurotus* (*P. ostreatus* y *P. pulmonarius* principalmente), de gran potencial productivo. Esta especie soporta amplia variación de condiciones térmicas, existen variedades resistentes a plagas y enfermedades y puede ser cultivada prácticamente sobre cualquier sustrato lignocelulósico, sin considerar que sus propiedades organolépticas la hacen superior al Champiñón de París. Estas características permiten que este hongo pueda ser cultivado con poca tecnología disminuyendo considerablemente la inversión inicial y los costos operacionales, los que se ha traducido en una expansión rápida del cultivo.

De acuerdo a la *International Society for Mushroom Science* de Inglaterra, al 2005 mundialmente se cultivan unas 30 especies de hongos, produciendo arriba de siete millones de toneladas de hongos cultivados cada año. A esta cifra hay que agregar más

dos millones de toneladas de hongos silvestres, lo que totaliza los 9 millones de toneladas que se consumen en el mundo. Además, el número de especies y producción van en constante aumento, debido al crecimiento de la población y el mayor conocimiento sobre las propiedades alimenticias y medicinales de los hongos.

Siguiendo tendencias gastronómicas más o menos espontáneas o que nos llegan desde otras latitudes, ahora asistimos a la irrupción de una nueva serie de hongos en el mercado: El Shiitake (*Lentinus edodes*), Enokitake (*Flammulina velutipes*), Reishi (*Ganoderma lucidum*), Maitake (*Grifola frondosa*), *Volvariella volvacea*, *Auricularia auricula*, entre otras, todavía poco difundidos y cuyo consumo es aun minoritario. El Shiitake, hongo que se cultiva en China y Japón desde el Siglo XIV y que se ha expandido alrededor del mundo en los últimos treinta años debido a sus insuperables características organolépticas y sobre todo, a sus propiedades medicinales entre las que destaca un potente polisacárido con probada actividad anticancerígena, antioxidantes y un número no despreciable de principios activos que reducen el colesterol y la glicemia en el plasma y activadores del sistema inmune. Este hongo, a pesar que requiere más tecnología que el Ostra, ofrece muchas ventajas que lo hacen una buena alternativa de producción.

Según Chang (1999), el mayor productor de hongos comestibles en el mundo es la República Popular de China, produciendo alrededor de 3,918,300 toneladas métricas cada año, lo que representa el 64% del total mundial. Según la información del cuadro 1, la producción mundial aumentó de 2,182,000 en 1986 a 6,158,000 toneladas métricas en 1997.

Cuadro 1. Producción mundial de hongos comestibles cultivados en 1986 y 1997, en miles de toneladas de peso fresco

Especies	1986		1997		Incremento porcentual
	Toneladas	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	
<i>Agaricus bisporus</i>	1227	56.2	1956	31.8	59.4
<i>Lentinus edodes</i>	314	14.4	1564	25.4	398.1
<i>Pleurotus spp</i>	169	7.7	876	14.2	418.3
<i>Auricularia spp</i>	119	5.5	485	7.9	307.6
<i>Volvariella volvacea</i>	178	8.2	181	2.9	1.7
<i>Flammulina velutipes</i>	100	4.6	285	4.6	185.0
<i>Tremella fuciformis</i>	40	1.8	130	2.1	225.0
<i>Hypsizygus marmoreus</i>	-----	-----	74	1.2	-----
<i>Pholiota nameko</i>	25	1.1	56	0.9	124.0
<i>Grifola frondosa</i>	-----	-----	33	0.5	-----
Otros	10	0.5	518	8.4	5080.0
Total	2182	100	6158	100	182.2

Fuente: Chang (1999).

Con base a la información del cuadro anterior, también se han registrado variaciones en las especies cultivadas, por ejemplo: Mientras el Champiñón (*Agaricus bisporus*) aumentó un 59.4% en 1997 respecto a 1986, la producción de Shiitake (*Lentinus edodes*) y Hongo ostra (*Pleurotus spp*) se quintuplicó. Hacia 1997, el incremento en la producción de Hongo ostra fue veinte puntos porcentuales mayor que el registrado para Shiitake. En 1998 la producción de *Pleurotus spp* en Guatemala fue de 22 toneladas métricas (De León, 1999,

citada por Sánchez y Royse, 2002).

6.2 Emprendimiento

Emprendedores o empresarios se las ingenian para concretar sus ideas y transformarlas en negocios. No obstante, a la hora de decidirse surgen las primeras preguntas: ¿Qué emprendimiento elijo?, ¿Qué alternativa me ofrece una baja inversión inicial y rápido retorno? Cuando por fin el emprendedor se decide por una alternativa productiva vuelve a preguntarse: ¿Cómo inicio?, ¿Qué debo saber? y finalmente, ¿Dónde y cómo ubico la producción?

Tratándose de un comienzo relacionado con hongos comestibles, sin duda estas preguntas deben ser formuladas a la luz de las tendencias en el consumo de éstos en el ámbito internacional, nacional o regional, la disponibilidad de sustratos, del inóculo, de la información relacionada con la tecnología del cultivo, las características climáticas del lugar y sobre todo de la disponibilidad de capital para afrontar la inversión inicial, lo que al final determinará la escala de producción: Artesanal, para autoconsumo y venta de excedente, o industrial para suplir la demanda interna y de exportación.

En el caso de *Pleurotus ostreatus* por ejemplo, es recomendable comenzar con lo que se tenga, una habitación desocupada, un pequeño galpón, etc., ya que para la producción en condiciones artesanales no requiere hacer altas inversiones para el control de factores ambientales (humedad, luz, ventilación y temperatura). Una vez hechas las primeras pruebas se obtendrán los primeros resultados y en función de ellos, podrá plantearse una estrategia de crecimiento según el grado de experiencia. Obviamente que cuanto más superficie y tiempo disponga para emprender más rápido crecerá.

La planeación de un proyecto de producción de setas requiere, sin lugar a duda, la elaboración de estudio técnico (tecnología del cultivo), financiero (inversión y recuperación del capital), ambiental (efectos sobre el medio) y de mercado (consumidores potenciales) para determinar la factibilidad del proyecto. En este sentido es imprescindible la previa programación de actividades tanto en la construcción o adaptación de las instalaciones, así como la pronta y oportuna adquisición de equipo, herramientas y las materias primas. La coordinación en los tiempos y movimientos que agilicen y eficienten cada fase del proyecto es ineludible para evitar contratiempos. Por tal razón las actividades a realizar requieren de la participación sincronizada de todas las personas y empresas proveedoras de bienes y/o servicios que están involucrados en el proceso de producción (Sánchez, 1994).

6.3 Etapas de la producción de hongos

Los sistemas de producción de hongos comestibles son una serie de eventos secuenciales con los cuales se simula el crecimiento natural de cepas fúngicas sometidas previamente a procesos de domesticación. Según Duque (1999), la tecnología de la producción de setas comestibles depende de la especie, sin embargo, en todos los casos las fases son las siguientes:

a) Obtención del micelio

Es la etapa más delicada del proceso. Lo ideal es contar con un laboratorio equipado (anexo 1), aislado de los insectos, que sea posible desinfectar y de acceso restringido

para evitar el acarreo de esporas y bacterias indeseables. También es necesario tener un ejemplar del hongo objetivo de excelente calidad, sin defectos, tales como deformaciones visibles, picaduras de insectos u otros que pudieran influir en la calidad del micelio. El espécimen puede conseguirse en los supermercados o si se tiene suerte, de áreas donde crece en condiciones naturales. El proceso de obtención de micelio se basa en que los hongos pueden multiplicarse de manera asexual a partir un trozo del carpóforo y con ello volver a recrear el ciclo completo del hongo, asegurando las características fenotípicas y productivas del espécimen del cual provino. En esta etapa el micelio del hongo se obtiene depositando un fragmento del carpóforo dentro de tubos de ensayo que contiene un medio de cultivo apropiado, PDA (Papa, dextrosa y agar) por ejemplo. El cultivo puro de la cepa se obtendrá luego de repetidas transferencias del micelio a cajas Petri con medio de cultivo fresco.

b) Elaboración del inóculo

Esta etapa también debe llevarse a cabo en condiciones de asepsia. Es necesaria para simplificar la siembra del micelio o inoculación del sustrato definitivo en donde crecerá y fructificará el hongo. El inóculo o “semilla” lo constituye un sustrato intermedio que contiene micelio secundario del hongo, con características ideales para su multiplicación, provocar infección y colonización del sustrato definitivo. Como sustratos intermedios se pueden utilizar: sorgo, trigo o aserrín hidratado de árboles latifoliados, dependiendo del tipo de hongo. La semilla madre se obtiene depositando fracciones del cultivo puro de la cepa obtenido en la fase anterior, sobre el sustrato intermedio. De este modo se tendrá suficiente cantidad de sustrato intermedio impregnado con el micelio para infectar cantidades proporcionalmente mayores del mismo.

Aunque en algunos países sean escasos, existen proveedores especializados en la producción de inóculo. Esto hace que la persona que quiera cultivar setas pueda comprar el inóculo como si fueran semillas de plantas e iniciar el proceso en la etapa que se describe a continuación. La presentación del inóculo en el mercado es regularmente de un kilogramo, embalado ya sea en bolsas o en frascos.

c) Preparación del sustrato

El sustrato es el material que aprovechan los hongos para su alimentación y posterior fructificación. Las propiedades físico-químicas de un sustrato determinan que hongos y que microbios pueden crecer sobre él. Es importante mencionar que algunos hongos pueden usar un rango amplio de sustratos, mientras que otros son muy selectivos. La selectividad de un sustrato depende de los nutrientes disponibles en él, su acidez, la actividad microbiana que soporta, su capacidad de aeración, su contenido de agua, etc.

Si los nutrientes de un sustrato están fácilmente accesibles para el hongo, la producción será mayor, aunque el riesgo de contaminación también incrementa. A veces es mejor emplear sustratos con menos nutrientes en lugares donde existe riesgo de contaminación. La producción podrá ser acaso menor, pero la contaminación también lo será.

Debido a la diversidad de sustratos sobre los cuales pueden crecer los hongos comestibles, es posible aprovechar diversos materiales lignocelulósicos dependiendo de su disponibilidad en diferentes regiones: pajas de gramíneas (trigo, jaragua, cebada,

avena, maíz), pulpa de café, bagazo de caña, olotes de maíz, aserrín de encino, rastrojo de frijol, lirio acuático, fibra de coco, etc.

El proceso de preparación del sustrato consiste en humectarlos, desinfectarlos y desinfestarlos; con el propósito de eliminar micro y macroorganismos que puedan competir con el crecimiento del hongo, y brindar condiciones de humedad que favorezcan el desarrollo de las setas. El proceso de humectación puede realizarse adicionando o sumergiendo el sustrato en agua. La desinfección y desinfestación se realizan sumergiendo el sustrato en agua caliente para provocar choque térmico o en cámaras hermetizadas con vapor de agua.

d) Inoculación del sustrato

Inocular el sustrato es lo que comúnmente se le conoce como “siembra”, y consiste en mezclar el inóculo producido o adquirido en el mercado; con el sustrato definitivo. El sustrato inoculado se acondiciona en contenedores que pueden ser bolsas, tocones de árboles o bandejas, donde crecerá el micelio y emergerán finalmente los carpóforos del hongo. La cantidad de inóculo a utilizar depende de la especie que se quiera producir, pero generalmente se calcula con base al peso húmedo del sustrato a utilizar. Regularmente la cantidad de inóculo oscila entre 2 y 10 por ciento de su peso húmedo. Durante el proceso de cultivo, la fase de inoculación es importante ya que se requiere de un buen manejo del sustrato y micelio para no tener problemas de contaminación en la siguiente fase de incubación.

e) Incubación

Realizada la inoculación, el micelio inicia su crecimiento sobre el sustrato en que fue puesto. La incubación es la etapa que permite la colonización del sustrato por el hongo, en condiciones de temperatura, luminosidad, ventilación y humedad óptimas, para obtener la mayor tasa de crecimiento posible. Así mismo influyen en el desarrollo del micelio, el vigor de la cepa, adaptación de la cepa, cantidad del inóculo y sustrato utilizado. El área de incubación debe ser un ambiente aséptico con bancales, literas y/o estructuras específicas para colocar los contenedores. En esta etapa es conveniente monitorear la invasión del micelio. Todo contenedor que presente coloraciones y olores que no son característicos del hongo, deben evacuarse inmediatamente del área de incubación a fin de evitar el avance de contaminantes al resto de contenedores.

f) Fructificación

Luego que el micelio haya colonizado completamente el sustrato, debe procederse a cambiar las condiciones ambientales mantenidas durante la fase de incubación a efecto de inducir el brote y crecimiento de los primordios. La fase de fructificación inicia con el apareamiento de pequeños corpúsculos en zonas de crecimiento crítico del micelio, llamados primordios. Durante esta etapa, la aplicación de riego es importante para mantener alto porcentaje de humedad en el ambiente. Los carpóforos no se obtienen todos a la vez, generalmente se producen en oleadas, separadas por períodos cortos de crecimiento micelial, formación y desarrollo de nuevos primordios.

g) Cosecha

Cuando los carpóforos han alcanzado un estado de madurez fisiológica se procede a la recolección y acopio. Esta se realiza en forma manual utilizando cuchillos inoxidables

desinfectados y cortándolos desde la base para evitar daños al micelio. Es recomendable utilizar cajas de madera o canastos de mimbre, evitando el daño mecánico. Los hongos cosechados deben ser llevados el mismo día a la planta de procesamiento, donde serán contabilizados y pesados para comercialización y formación de registros de producción. Establecer buenas prácticas de manejo (BPM) durante el proceso de producción y principalmente en la manipulación de los carpóforos, permitirá obtener un producto inocuo libre de patógenos que afecten la salud del consumidor. Por esta razón es necesario mantener estrictas normas de higiene del personal y de desinfección de utensilios.

h) Embalaje y comercialización

Una vez ingresados los carpóforos, se seleccionan, descartando aquellos que no cumplen los requisitos de madurez y clasificándolos por tamaño, todo esto en forma manual. A los hongos seleccionados se les elimina los restos de substrato, luego se corta parte del estípote. Dependiendo del final que tendrá el producto, se realizarán distintos procesamientos y formas de embalaje. Dado que los hongos son alimentos perecederos, lo ideal es producirlos en cantidades para autoconsumo y colocación inmediata en el mercado; sin embargo existen procesos para alargar la vida de anaquel. Los métodos de conservación de hongos son procedimientos que se aplican a los carpóforos para mantener sus cualidades en el tiempo.

Según Schiess (2006), la comercialización e industrialización de hongos implica diversas alternativas de procesamiento, entre las que destacan: Deshidratados (enteros, laminados o transformados en sémola o polvo de hongos), encurtidos (en sal, azúcar y vinagre), fermentados, en salmuera, en aceite (de oliva o vegetal), congelados, pulverizado, extractos y concentrados.

En resumen, el proceso de producción de hongos comestibles se divide en dos etapas, una microbiológica o de cultivo de tejidos, encaminada a la producción del inóculo, y otra que constituye en sí, la producción del producto final, los carpóforos (Figura 17).

Hasta aquí se ha hecho una exposición general sobre el tema de los hongos comestibles, partiendo de la caracterización de los hongos y en particular de los basidiomicetos, hasta arribar a la descripción de las fases que conlleva la producción carpóforos, que constituyen el marco conceptual base para adentrar en el área disciplinar en estudio. En los siguientes capítulos se abordarán aspectos relativos a la etapa microbiológica, aplicables a la mayoría de especies con importancia comercial; y de la etapa de producción de carpóforos, considerando la especificidad de la tecnología empleada en el cultivo de algunas especies.

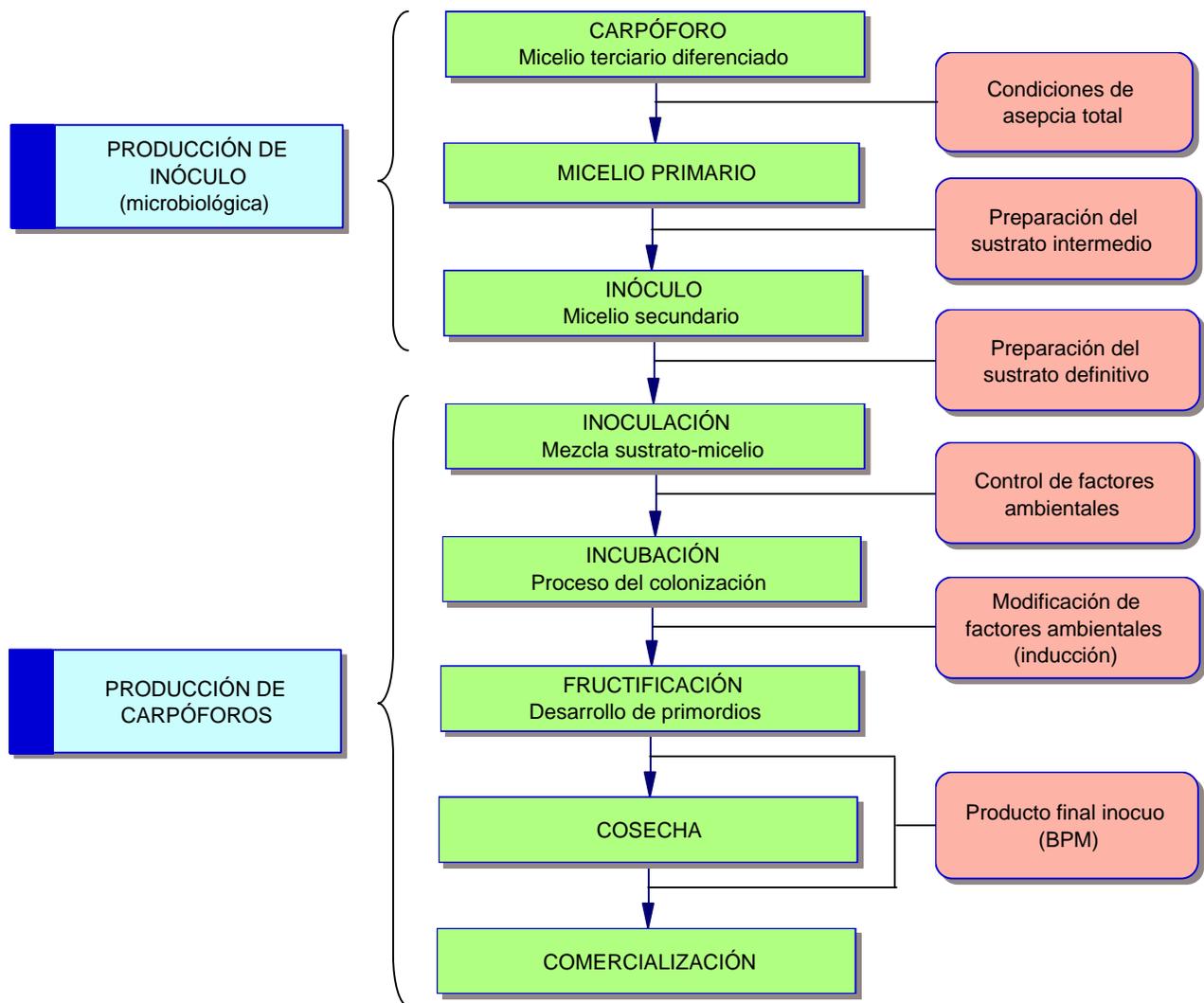


Figura 17. Etapas de la producción de hongos comestibles

CAPÍTULO II

GENERACIÓN, CONSERVACIÓN Y PREPARACIÓN DEL INÓCULO DE CEPAS

Para un eficiente cultivo de hongos comestibles, se consideran actividades previas de importancia básica: la selección de variedades adaptadas a diferentes sustratos y condiciones de cultivo, la mejora genética, la preparación de la semilla y conservación de la semilla de cepas.

En lo que a selección y mejora genética se refiere, la hibridación es el medio controlable de bajo costo por medio del cual algunas características genéticas deseadas presentes en diferentes cepas pueden ser combinadas. Es el medio de obtener nuevas cepas y nuevas variedades con características mejoradas (rendimiento, calidad, sabor). Para elaborar un programa de hibridación se deben considerar cuidadosamente tres puntos: a) La definición del objetivo, es decir, las características del hongo deseado; b) El uso de un método de cruzamiento adaptado al objetivo y al material genético del banco de cepas y c) Tener conocimiento del ciclo del vida del hongo objeto de estudio, en particular, aquellos puntos que son importantes para la diferenciación del micelio vegetativo a cuerpos fructíferos, los cuales son el producto comestible y comercial (Labarère, 1994).

La conservación de las cepas que comercializa un laboratorio o utiliza una planta productora de hongos es una actividad cotidiana de suma importancia porque da el soporte elemental para producir una semilla de calidad de manera constante. Si la conservación falla, la calidad y la disponibilidad de las cepas se pone en entredicho, puede dar lugar a gastos de recuperación innecesarios, o inclusive, puede conducir a la pérdida definitiva del organismo.

La producción de semilla es una actividad compleja (Royse, 1997) y un negocio en sí. En muchos casos compañías o instituciones productoras de semilla satisfacen las necesidades de los pequeños cultivadores de setas. Esto es recomendable, porque los proveedores, en la medida de que se han especializado en producir semilla certificada, garantizan el suministro de inóculo que reúne los parámetros de calidad requeridos. Usualmente los productores a gran escala producen su propia semilla, pero en el caso de quienes operan a niveles productivos de baja escala, la preparación de la semilla puede hacerse en su propia casa. Una pequeña habitación puede ser acondicionada de tal manera que el proceso de preparación permanezca independiente de otras actividades y que permita tomar todas las precauciones para mantener un ambiente higiénico. Cuando se opta por esta modalidad es imperativo que el productor de semilla tenga un entrenamiento formal sobre preparación de inóculo antes de que inicie el negocio. Además, debe tener un área demostrativa o de evaluación, en donde la semilla sea valorada según sus características productivas.

1. Conceptos básicos sobre mejoramiento genético en hongos

1.1 Colección de cepas

La primera etapa de todo programa de mejora genética consiste en realizar una vasta colección de individuos que van a constituir el banco de cepas. Esta colección puede comprender cultivos axénicos de especies nativas y variedades mejoradas preexistentes. El porcentaje de una u otra categoría depende del estado general de las variedades industriales para la especie considerada.

En un primer momento, se determinan con mucho cuidado las características de cada variedad del banco de cepas. Se trata ante todo de características fenotípicas como: el aspecto, el color, las cualidades gustativas, el modo de crecimiento de los basidiocarpos, la adaptación a tal o cual tipo de substrato o condiciones de cultivo, el rendimiento, la precocidad, la aptitud a la cosecha mecánica, la tasa de desecho posterior a la cosecha, la resistencia a los parásitos. Dicha lista está lejos de ser limitada.

Paralelamente a la determinación de las características fenotípicas, se pueden desarrollar métodos complementarios que aporten referencias muy delicadas y que pueden hacer ganar un tiempo considerable. Se trata del cálculo de las distancias genéticas (o más exactamente fenéticas) entre las variedades colectadas. La distancia fenética se calcula a partir de marcadores moleculares bien ligados a la expresión del genoma (isoenzimas), o bien, más directamente a la estructura del genoma (por ejemplo los marcadores RFLP). Estos marcadores permiten también determinar fielmente el grado de diversidad de los genomas en el banco de cepas (Labarère, 1994).

La determinación de las características fenotípicas y fenéticas es una etapa importante en todo programa de mejoramiento. Otra etapa igualmente indispensable es la que consiste en determinar los fines del programa de mejora y definir las características de las nuevas variedades que se quieren obtener. ¿Se quiere mejorar el rendimiento, la temperatura de crecimiento, el color, la adaptación a un substrato particular? Resulta especialmente importante definir bien estos criterios. Esto se hace a menudo en unión con los cultivadores, siendo más raro que intervengan los consumidores.

La definición de los fines por conseguir, junto con las características fenotípicas y fenéticas, permite establecer las planificaciones de los cruzamientos y los ensayos posteriores. Esto es necesario para limitar su número, ya que son costosos en tiempo y en mano de obra. La obtención de cepas con características mejoradas puede realizarse a través de cruzamientos por hibridaciones al azar utilizando esporas (intercepa) y cruzamientos controlados utilizando micelios homocariotes (intracepa).

1.2 Obtención de homocariotes

Para realizar los cruzamientos es necesario obtener micelios homocarióticos a partir de variedades utilizadas como progenitores. Hay tres métodos viables que son utilizados: uno consiste en sembrar las esporas y hacerlas germinar, los otros consisten en deducir las cepas, ya sea por fabricación de protoplastos o a partir de micelio molido (figura 18).

Los hongos heterotálicos se prestan bien a la mejora genética debido a que es fácil obtener micelios homocarióticos por el sesgo o rodeo de las esporas, y por ello, es fácil dominar y controlar los cruzamientos que se deseen hacer con ellos. En el caso de especies de *Pleurotus*, la incompatibilidad sexual depende de dos genes o factores (A y B) poseedores cada uno de múltiples alelos. La fusión de dos micelios homocarióticos sexualmente compatibles; es decir, diferentes para los alelos de incompatibilidad, permite obtener un micelio dicariótico, que contendrá entonces dos tipos de núcleos haploides cada uno proveniente de uno de los dos parentales que es la plasmogamia. La variabilidad de los genes de incompatibilidad sexual ha sido intensamente estudiada en los hongos, particularmente en los homobasidiomicetos, en donde el sistema de heterotalismo de alelos múltiples motiva a usar intercruzamientos en lugar de intracruzamientos.

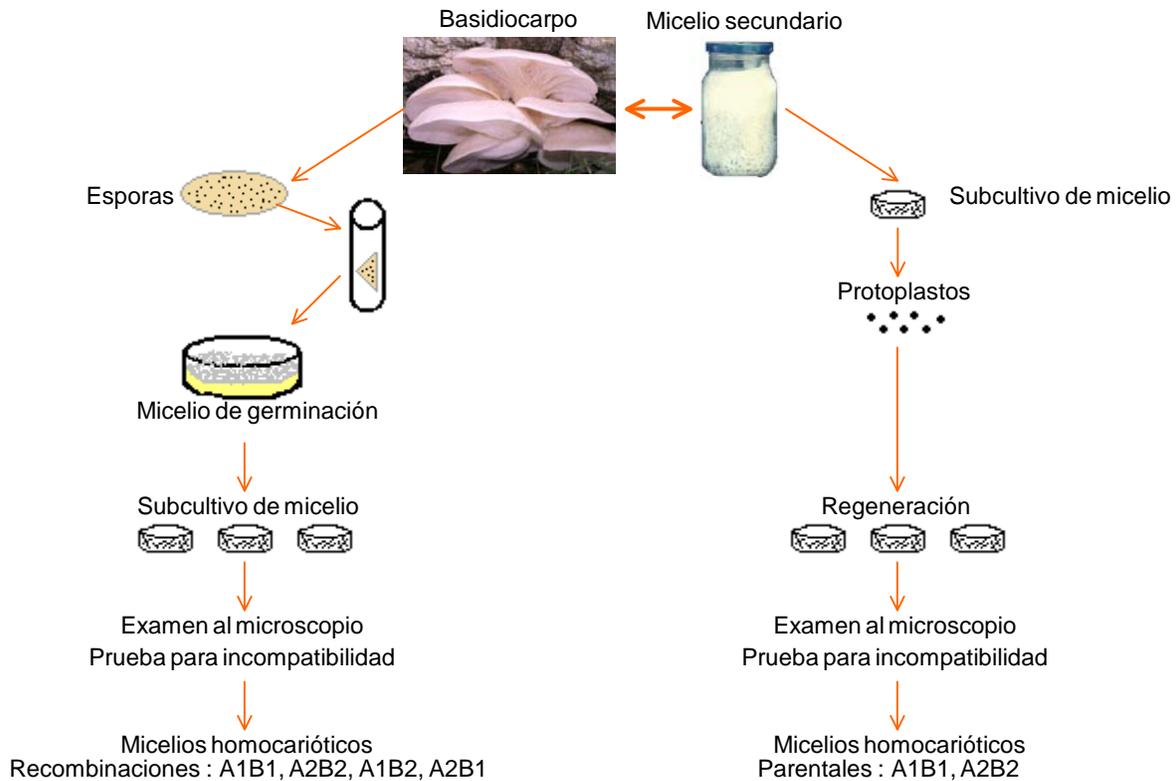


Figura 18. Esquema general para obtener micelio homocariótico (Sánchez y Royse, 2002).

a) A partir de esporas

La obtención de esporas comienza con la fructificación de las cepas del banco de cepas. Las esporas de los hongos se encuentran sobre las basidias, en la parte final de las láminas del sombrero. Para colectar esporas (basidiosporas), se suspende el pileo sobre un pedazo de papel filtro estéril durante 24 horas en una cámara para colección de esporas (campana de vidrio) también estéril, con el fin de evitar la dispersión de las esporas y las contaminaciones. Las esporas caen de las láminas durante el transcurso del tiempo, dando lugar a una huella impresa en el papel filtro, el cual puede ser conservado en refrigeración a 4° C en el caso de la mayoría de los hongos cultivados comestibles. Las esporas pueden ser colectadas simplemente colocando el pileo (con las láminas hacia abajo) directamente sobre el papel, sin embargo es muy probable que las impresiones colectadas de esta manera se contaminen, por lo que es mejor suspender el pileo y aislarlo del ambiente como se muestra en la figura 19.

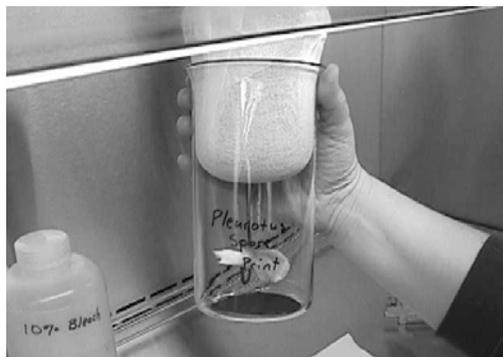


Figura 19. Forma de suspender un carpóforo para obtener su esporada (Sánchez y Royse, 2002).

Para sembrar las esporas se toma un fragmento del papel filtro y se pone en un tubo de ensayo con una solución fisiológica que contiene un antibiótico. La agitación desengancha las esporas del papel y se obtiene una suspensión. De esta suspensión se toman partes alícuotas, que se colocan sobre un medio que contiene una alta concentración de agar, con el fin de permitir la manipulación de las esporas.

A continuación, las esporas son entresacadas de este medio una a una, bajo la lupa binocular, con la ayuda de una aguja de vidrio cuya extremidad está redondeada, y depositadas en el medio de germinación. Después de una incubación a temperatura adecuada, las esporas dan lugar a micelios homocarióticos, que son puestos como colección en tubos de ensayos. Estos micelios serán utilizados después para realizar los cruzamientos.

En ciertos casos, particularmente cuando el porcentaje de germinación es débil, las esporas pueden ser sembradas por dilución. Es decir, las suspensiones de esporas son extendidas directamente sobre el medio de germinación e incubadas. En este caso, con una pinza esterilizada a la flama se coloca uno o dos piezas de papel filtro cubierto de esporas en un tubo con agua destilada estéril y se mezcla. El agua se vuelve ligeramente turbia por las esporas. Después, con una pipeta estéril se agrega 0.1 ml de la suspensión de esporas a varias cajas de Petri con el medio deseado y se distribuye la suspensión sobre la superficie del medio con una varilla de vidrio estéril y fría. Las placas se incuban a temperatura ambiente y se revisan diariamente con un estereoscopio. Las contaminadas se descartan.

Como lo que se desea es el micelio de una sola espora (cultivo monospórico), con ayuda de un estereoscopio y una aguja se transfiere una sola espora germinada a medio fresco (subcultivo). Es preciso comprobar cuidadosamente que el micelio retenido se obtuvo por la germinación de una sola espora, ya que frecuentemente se da la circunstancia de que las esporas se depositan por grupos y los micelios derivados de estos montones son heterocarióticos (Labarère, 1994).

b) A partir de protoplastos

Las esporas surgen de la meiosis: la mezcla genética y las recombinaciones de los cromosomas parentales. La probabilidad de reencontrar los genotipos parentales en una espora es muy escasa por no decir nula. La descendencia, que constituyen las esporas, corresponderá por lo tanto al genotipo global parental pero con nuevas combinaciones genéticas. Cuando se obtienen homocariotes por fabricación de protoplastos, la situación es diferente: en este caso los dos genotipos parentales son separados, sin que haya recombinación. Así, se obtienen directamente los genotipos de cada homocarión de la cepa dicariótica. En algunos casos concretos (cepas particularmente de gran calidad) esto puede constituir una ventaja, pero en muchos otros, la ausencia de mezclas y recombinaciones constituye un importante inconveniente.

La fabricación de protoplastos se hace incubando el micelio en una solución constituida por enzimas capaces de degradar la pared del hongo. Cinco gramos de micelio (peso húmedo) son molidos por 30 segundos en un molino Polytron (eje tipo 10 TS). El producto se incuba enseguida en 50 ml de medio PDBM (caldo de papa dextrosa, Difco, Detroit, Michigan) suplementado con manitol 160 g/l y con 10 g/l de Novozyme 234. La incubación

se realiza durante 2 h a 32° C, bajo agitación lenta (75 rpm).

Los protoplastos son colectados enseguida por filtración a través de un nylon de malla de 60mm (Spectrum Inc., Los Angeles, Cal.). Los protoplastos del filtrado son lavados dos veces en 10 ml de medio PDBM, después recuperados por centrifugación (700 rpm, 5 min) y puestos en suspensión en 500 ml de medio PDBM. Para regenerar, los protoplastos son esparcidos sobre medio PDBM con 15 g/l de agar noble, después incubados a 25°C durante 15 días. La tasa de regeneración obtenida es generalmente superior al 12.5 % (Ming *et al.*, 1992).

Debido a las perforaciones realizadas por el ataque enzimático, escapan porciones de protoplasma rodeadas de membrana plásmica, que encierran de nuevo en su interior uno o varios núcleos. Es necesario comprobar que el micelio regenerado es un micelio homocariótico, porque los protoplastos pueden contener dos núcleos complementarios.

c) A partir de micelio molido

También se pueden obtener homocariontes a partir de la molienda del micelio. En este caso, el micelio es cultivado en medio líquido o en caja de Petri, colectado por filtración o con una escalpela, enseguida es molido en una solución isotónica (Leal-Lara, 1980). Para la regeneración se usa un medio particular que contiene moléculas que limitan la regeneración de colonias miceliales. La regeneración de colonias se hace sobre un medio que contiene sorbosa (20 g/l) o triton X100 (1ml/l).

En el caso de la sorbosa, el efecto antiinvasor es obtenido si no existe ninguna otra fuente de carbono (Awuah y Lorbeer, 1986). El medio usado en este caso se compone de sorbosa 20g/l, MgSO₄ 7H₂O 0.5g/l, KH₂PO₄ 0.46g/l, K₂HPO₄ 0.5g/l, extracto de levadura 2g/l, Bactopeptona 2g/l, solidificado con agar noble 15 g/l, después esterilizado con autoclave durante 15 min a 121° C. Este medio corresponde al medio CYM (Raper y Hoffman, 1974), en el que la glucosa es remplazada por 20g/l de sorbosa. El tritón X100 es agregado al medio de cultivo antes de esterilización a una concentración de 1ml/l.

Una vez constituida la colección de homocariontes, es preciso determinar sus genotipos para la incompatibilidad sexual. Esto se lleva a cabo confrontando los micelios con patrones homocarióticos de genotipos conocidos o bien, confrontando los homocariontes entre ellos para repartirlos en grupos compatibles cuando no se poseen patrones.

1.3 Las distancias genéticas

Antes de realizar los cruzamientos puede ser útil calcular las distancias genéticas (o las distancias fenéticas) entre las diferentes cepas de la colección utilizada. Ellas permiten agrupar las cepas en categoría y disminuir considerablemente el número de cruzamientos, y por lo tanto el número de ensayos, que son particularmente costosos en tiempo y en trabajo en todo programa de mejoramiento genético.

Las distancias genéticas se pueden calcular con isoenzimas (Labarère, 1994), con fragmentos de restricción (Iraçabal *et al.*, 1995) o con cualquier otro tipo de marcadores por análisis de los ADN's nuclear y mitocondrial.

Las isoenzimas son polipéptidos que presentan la misma actividad enzimática, pero tienen

diferente peso molecular y diferente punto isoeléctrico. Pueden ser fácilmente separadas por electroforesis y reveladas por medio de coloraciones específicas. Las isoenzimas dependen de la expresión del genoma, por lo que su estudio exige condiciones de cultivo extremadamente rigurosas para obtener resultados reproducibles.

También se utiliza otra vía, que consiste en estudiar directamente la estructura del genoma sin depender de las condiciones de cultivo: se trata del análisis del polimorfismo de los fragmentos largos de restricción (RFLP). El principio del análisis consiste en extraer el ADN de una variedad, fragmentarlo utilizando enzimas de restricción (que actúan como cortadores reproducibles), separar estos fragmentos por electroforesis y finalmente revelar ciertos fragmentos por hibridación con una sonda radioactiva.

En este proceso es importante disponer de una buena sonda, que haga aparecer un polimorfismo con una intensidad radioactiva suficiente para que no haya ambigüedades de interpretación. Las sondas que dan buenos resultados regularmente están constituidas por una parte de la unidad del ADN ribosómico (rADN) de la cepa. El análisis RFLP se lleva a cabo por la digestión, la electroforesis y las hibridaciones “southern” sobre muestras de ADN total provenientes de cada aislado por evaluar (Iraçabal *et al.*, 1995).

Los estudios comparativos de las relaciones fenéticas entre cepas establecidas por datos de RFLP han sido similares a la relación establecida con datos de isoenzimas, pero se demostró que el análisis por isoenzimas podía sobreestimar algunas diferencias genómicas débiles y conducir a distancias fenéticas más grandes que el análisis por RFLP. El uso de sondas de rADN o sondas al azar para RFLP por lo tanto, constituye un método confiable para caracterizar cepas y establecer relaciones fenéticas entre cepas.

1.4 Los cruzamientos

Los cruzamientos, o para ser más exactos, las plasmogamias que conducen a la obtención de nuevos individuos dicarióticos, se hacen de dos maneras, dependiendo esencialmente de los objetivos que se desean alcanzar y también de los métodos de criba o tamizado que se posean para seleccionar las nuevas variedades.

Cuando una variedad se obtiene por cruzamiento, suelen presentarse dos tipos de cruzamiento alternativos, según las características fenotípicas de las cepas de la colección: Entre dos micelios derivados de una misma cepa (cruzamientos intracepa) o entre micelios derivados de cepas diferentes (cruzamientos intercepa). Estos cruzamientos se pueden hacer por hibridaciones al azar utilizando esporas, o bien por el método de los cruzamientos controlados a partir de micelios homocarióticos.

Los cruzamientos por hibridaciones al azar (figura 20) consisten en mezclar suspensiones de esporas bastante concentradas y repartirlas directamente sobre un medio nutritivo (Valjalo y Labarère, 1989). Luego se espera a que las esporas del cultivo multiespórico germinen y se entrecrucen para transferir después a una nueva caja de Petri o tubo, el área de crecimiento micelial deseada (subcultivo). Para verificar que la mayoría son dicarióticos, se toman muestras de micelios provenientes de esta germinación.

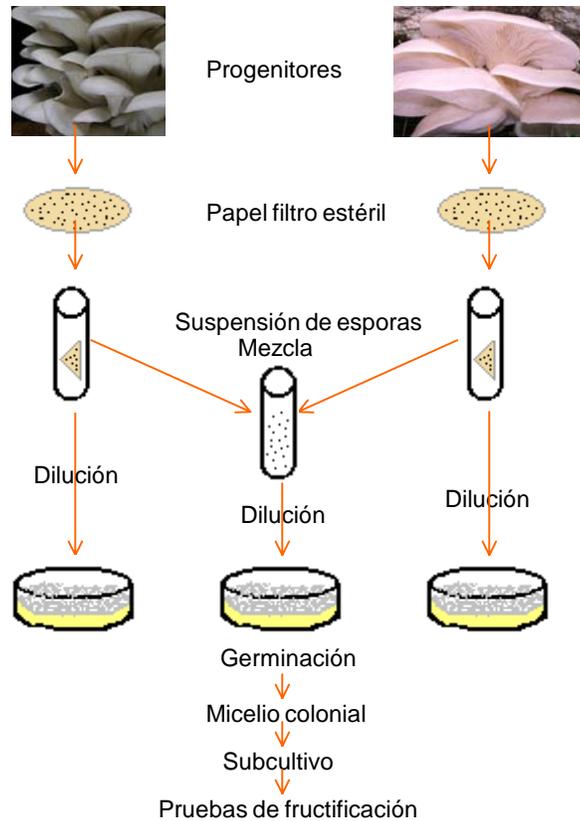


Figura 20. Diagrama del procedimiento para la hibridación al azar (Sánchez y Royse, 2002).

Los cruzamientos controlados consisten en fusionar homocariontes dos a dos en una caja de Petri. Después de la incubación se forma un micelio dicariótico sobre la línea de contacto, se examina al microscopio para ver la presencia de fíbulas (signo de la dicarionización en el caso de la mayoría de los basidiomicetos, si bien no para todos los Agaricales), y se pasa a la colección. A partir de estos dicariontes se preparará la semilla que será utilizada para hacer los ensayos de fructificación.

Los resultados de estos cruzamientos constituyen la generación F1. Los individuos F1 son comprobados y evaluados por sus cualidades culturales y agronómicas. A continuación se seleccionan esporas a partir de estos individuos F1. Estas esporas se cruzan entre ellas y dan lugar a la generación F2, que será examinada según los mismos principios.

La mayoría de las variedades son procedentes de cruzamientos controlados o de hibridaciones al azar. Algunas otras provienen de mutagénesis seguidas de cruzamientos; sin embargo, algunas variedades pueden obtenerse directamente a partir de trasplantes de especímenes recogidos en la naturaleza; se trata, no obstante, de excepciones. En algunos otros casos provienen de trasplantes de basidiocarpos particulares que aparecen en algunos cultivos industriales cuando presentan características interesantes (color, tamaño, etc).

1.5 La mutagénesis

En algunos casos particulares es necesario hacer mutagénesis. Estos son los casos donde el carácter que se investiga no existe en la especie que se quiere mejorar. Es preciso ser consciente de que una mutagénesis modifica siempre un gran número de genes, y que después hay por delante un trabajo muy largo de cruzamientos para eliminar las mutaciones indeseables.

Un ejemplo de variedades obtenidas por mutagénesis es el de las variedades de *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* sin esporas. Entre estas especies no se encuentran en la naturaleza formas que no produzcan esporas. Al respecto se sabe que las esporas de *Pleurotus* spp se propagan abundantemente por las salas de cultivo provocando alergias graves entre los cultivadores.

Para obtener variedades sin esporas es necesario realizar mutagénesis. Para ello, al micelio dicariótico (con el fin de seleccionar mutaciones dominantes) se le provoca mutagénesis ya sea con rayos ultravioleta o con un agente mutágeno como la N-metil-N-Nitrosoguanidina, en otros. Después de la mutagénesis, los micelios se colocan en cultivo, en recipientes con unos 500 g de substrato y después de la fructificación, se toman muestra de los basidiocarpos para medir la producción de esporas y seleccionar los mutantes que no produjeron esporas. Por ejemplo en un caso de *P. pulmonarius*, de 1500 cepas, 14 mutantes presentaron una esporulación reducida (Imbernon y Labarère, 1989).

Frecuente se prosigue el mejoramiento genético encaminado a reestablecer el rendimiento y su morfología, dado que es normal que los mutantes posean un rendimiento débil y morfología anormal. Con este fin, se utiliza otra capacidad del micelio del hongo, conocida bajo el nombre de fenómeno de Buller, que hace que sea posible transferir por anastomosis el núcleo de un dicarionte al micelio de un homocarionte compatible. De esta manera, los núcleos de los dicariontes que llevan la mutación sin esporas son transferidos a los homocariontes silvestres, todo esto a través de varias generaciones. Este procedimiento ha permitido restablecer una morfología y un rendimiento normales, conservándose el carácter sin esporas (Labarère, 1994).

1.6 Los ensayos

Los micelios dicarióticos obtenidos al final de los cruzamientos son utilizados para sembrar en los substratos deseados, los cuales son cultivados en las condiciones de selección y criba determinadas de antemano al comienzo del programa de mejora genética.

Los ensayos se realizan, en general, en recipientes con un contenido de substrato entre 0.25 Kg. y 1 Kg., o con cantidades entre 2 y 3 Kg. Después de la fructificación, los basidiocarpos obtenidos son muestreados y estudiados por sus características fenotípicas. Los micelios que proporcionan variedades que más se aproximan a los criterios que se consideran, son entonces conservados y eventualmente utilizados para un nuevo ciclo de cruzamientos. En general, las nuevas variedades son obtenidas después de uno o dos ciclos de cruzamientos.

2. Aislamiento y técnicas de conservación de cepas

La obtención de un cultivo axénico (cultivo puro) consiste en aislar un solo microorganismo (cepa) en condiciones de laboratorio, a través del cultivo de tejidos para producir un clon

de descendientes. El cultivo de tejidos es una técnica para aislamiento de cepas y por ello, también una forma de conservación del recurso fúngico. La conservación se refiere al mantenimiento en condiciones óptimas del material genético proveniente de clones silvestres, híbridos, cepas comerciales, o cualquier otro material valioso. Requiere de una metodología confiable, sencilla y lo más barata posible que asegure, no solo la conservación de las características genéticas de las cepas, sino también su vitalidad. Por esta situación, la técnica de conservación empleada debe estar establecida de manera perfectamente clara y definida para el laboratorio, para que no haya dudas ni errores, aún cuando cambie el personal que se encarga de la conservación. En esta sección se describirán algunos métodos de bajo costo para la conservación de germoplasma.

2.1 Cultivo del tejido

Los cultivos aislados de esporas difieren genéticamente del cultivo de tejidos. Los cultivos que se originan de esporas son impredecibles ya que cuando germinan resultan en muchas combinaciones genéticas diferentes. Estas combinaciones son deseables cuando se trata de desarrollar una nueva cepa, pero indeseables cuando se trata de mantener una cepa específica. Un tejido cultivado es esencialmente un clon del hongo. Un clon se define como un duplicado idéntico de un organismo.

Para obtener cultivos axénicos, varios tipos de medios pueden ser utilizados. A continuación se mencionan algunos de los medios de cultivo que se usan frecuentemente para la conservación y propagación de cepas fúngicas. Todas las formulaciones son para un litro.

a) Papa, dextrosa y agar (PDA)

200 g de papas, 14 g de dextrosa y 20 g de agar. No pele las papas, límpielas y corte las manchas. Enjuague y escurra las tiras de papa dos veces con agua. Hervir en un litro de agua las papas lavadas y cortadas durante 45 minutos a fuego lento. Después de completar el ciclo, filtre el caldo de papas. Deseche las papas y si es necesario, afore el volumen del caldo caliente a un litro con agua destilada. Agregue la dextrosa, el agar y agite suavemente.

b) Agar, papa-dextrosa y levadura (APDL)

250 g de papas cortadas en piezas de 1.5 cm, 20 g de agar, 10 g de dextrosa anhidra y 1.5 g de extracto de levadura. Prepare en la forma descrita para el inciso anterior.

c) Agar, extracto de levadura, glucosa (AELG)

5 g de extracto de levadura, 5 g de glucosa anhidra, 15 g de agar 15 g. Mezcle todos los ingredientes en un matraz y tápelo con papel aluminio.

d) Agar Extracto de Malta (AEM)

Este agar se vende ya preparado por algunas casas comerciales especializadas en insumos para laboratorio. El fabricante recomienda generalmente disolver 33.6 g en un litro de agua. El **PDA** (Papa, dextro y Agar) también es un medio de cultivo común en el mercado, el cual puede adquirirse en presentaciones de 500 y 1000 g. Se prepara disolviendo 39 g en un litro de agua destilada y posterior esterilización en autoclave u olla de presión.

e) Agar de Sabouraud dextrosa (SAB)

10 g de peptona, 20 g de dextrosa anhidra y 15 g de agar. Mezcle todos los ingredientes en un matraz y tápelos con papel aluminio.

Procedimiento para obtener un clon

Luego de preparar el medio de cultivo en el cual se quiere que desarrolle el micelio de la cepa, se vierten 10 ml del medio líquido (45°C) en cada tubo de ensayo de 20x180 mm (22-25% del volumen) y colocan los tapones de algodón (figura 21). Posteriormente se acomodan en grupos en gradilla termo-resistente utilizando papel aluminio y cinta adhesiva (para proteger los tapones de algodón de la humedad) y esterilizar con autoclave durante 15 minutos a 121 grados centígrados y 15 libras por pulgada cuadrada de presión (psi), como se muestra en la figura 22. Ya esterilizados los tubos, se colocan inclinados dentro de la cámara de flujo laminar donde permanecerán durante 3 días, para que el medio se solidifique, chequear la eficacia de la esterilización y desaparezca el agua condensada en la superficie interna de los tubos o caja de Petri (Wilkinson, V.; Royse, D. 2002).



Figura 21. Medio de cultivo preparado y tubos de ensayo llenos colocados en gradilla de plástico termoresistente.



Figura 22. Tubos de ensayo con medio de cultivo y tapones cubiertos con papel aluminio para esterilización en autoclave

Bisturís, asas, y otros enseres a utilizar para realizar el cultivo de tejido deben esterilizarse de la misma manera que el medio de cultivo para eliminar esporas, bacterias y otros agentes contaminantes (Duque, 1999).

Seguidamente se ordenan en la cámara de transferencia o campana de flujo laminar, lo siguiente: Tubos de ensayo con el medio sólido, bisturí, asa, papel aluminio, mechero y fósforos. Se enciende la luz ultravioleta dentro de la cámara durante un hora para irradiar todos los materiales (excepto el carpóforo).

Se escoge un cuerpo fructífero limpio, fresco, libre de contaminantes visibles y de la más alta calidad en cuanto a tamaño, color, forma o cualquier otra característica deseada (figura 23). Se esteriliza la superficie del pileo seleccionado, asperjando ligeramente sobre él una solución al 10% de hipoclorito de sodio o alcohol al 70% con un atomizador manual.



Figura 23. Especímenes para realizar el cultivo de tejidos, de izquierda a derecha: Crimini, hongo ostra, champiñón blanco.

Se apaga la luz ultravioleta para no dañar la vista y se procede a trabajar al interior de la cámara. Después de flamear tanto el tubo de ensayo como el bisturí (figura 24), se corta longitudinalmente el pileo, paralelo al estípite para exponer el tejido interno del hongo, cuidando no tocarlo con las manos (figura 25). Con una asa, pinza o bisturí se toma un trozo del tejido interno del carpóforo (teniendo cuidado de no llegar al himenio) y se coloca dentro del tubo de ensayo, sobre el medio de cultivo. Luego de introducir el tejido dentro del tubo de ensayo, se flamea nuevamente alrededor de los mismos y se cierran con el tapón de algodón. Este procedimiento se repite con todos los tubos de ensayo disponibles (Duque, 1999).

Los tubos deben incubarse a una temperatura entre 24 y 26 grados centígrados. Al cabo de 2 semanas, aparecerá el micelio extendiéndose e invadiendo el medio de cultivo. Cualquier coloración extraña, burbujeo, ascenso del nivel dentro del tubo u otro, será señal de contaminación y habrá que empezar todo de nuevo, multiplicando las medidas de asepsia (Duque, 1999).



Figura 24. Flameo de bisturí y tubo previo a inocular el medio de cultivo con tejido del espécimen



Figura 25. Toma de tejido para cultivar un clon de *Pleurotus* spp. (Sánchez y Royse, 2002)

Si se usa un medio que contenga ácido se puede minimizar el riesgo de contaminación. Por ejemplo, el agar ácido de papa-dextrosa-levadura (APDL) contiene ácido láctico para bajar el pH e inhibir el crecimiento bacteriano. Para ello, después de la esterilización en autoclave, se agrega estérilmente 1 ml de ácido láctico al medio y se agita suavemente. Posteriormente se vacía a los tubos de ensayo o cajas de Petri.

Una vez que el micelio ha crecido, se selecciona aquel que posea mejor apariencia. El cultivo seleccionado es transferido varias veces a un medio fresco para revisar el crecimiento micelial y confirmar que sea normal (cultivo puro). Los cultivos puros o axénicos deben ser entonces probados en una siembra de validación, la cual consiste en sembrar la semilla obtenida a partir del cultivo de tejido en un sustrato definitivo para ratificar la productividad y la calidad del hongo (Wilkinson, V.; Royse, D. 2002).

El cultivo de tejidos debe realizarse en condiciones asépticas, al respecto Belobrajdic (2007) recomienda que durante la inoculación se tome el tubo con la mano izquierda y se sostenga el tapón de algodón entre el meñique y la palma de la mano derecha. No se deben dejar nunca los tapones ni las asas sobre la mesa de trabajo. Mantener el tubo lo más cerca posible de la horizontal durante la inoculación para evitar que microorganismos no deseados puedan ingresar por gravedad al cultivo y trabajar siempre en la zona cercana a la llama del mechero. Las bocas de tubos y matraces de donde se toman los inóculos y de los que los van a recibir, deben flamearse, antes y después de introducir el asa o el bisturí. Además de destruir cualquier microorganismo que se encuentre en el borde del tubo, el flameado crea corrientes de convección hacia fuera del mismo disminuyendo el riesgo de contaminación.

Tasa de crecimiento

Las cepas de todos los hongos generalmente se comportan de diferente manera en cada medio de cultivo. De un medio a otro puede variar su morfología, su color, su tasa de crecimiento, etc. Por lo mismo, cuando se recibe una cepa nueva, se deben hacer ciertos estudios básicos de caracterización micelial y de conservación para saber como se comporta en cada medio y cuál es el método de conservación que mejor se adapta a ella.

La sectorización es cualquier tipo de crecimiento micelial que difiere en apariencia, tasa de crecimiento, color u otra forma del aspecto típico de una cepa dada. Las anomalías que pueden aparecer en un cultivo son esponjamiento, micelio aéreo, textura gruesa o elástica, cambios de color como oscurecimiento o ennegrecimiento del micelio, etc. Por lo tanto, es muy importante reconocer y evitar la propagación de micelio anormal porque afectan la productividad de la cepa. A manera de ejemplo, las figuras 26 y 27 presentan la morfología colonial típica de algunas cepas del género *Pleurotus*.

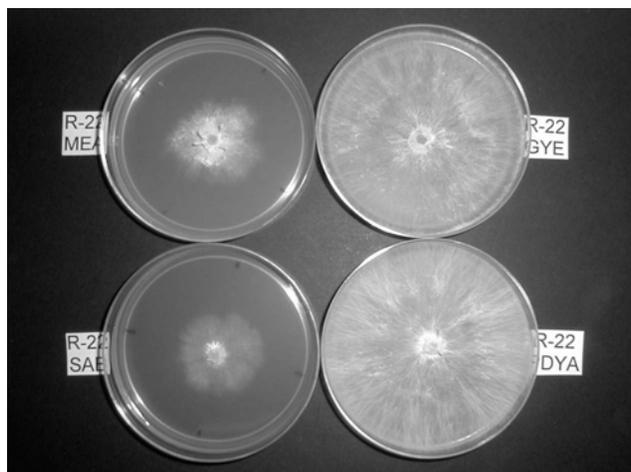


Figura 26. Crecimiento de *P. djamor* R22 sobre cuatro medios de cultivo. MEA= Agar extracto de malta; PDYA= papa dextrosa y levadura; GYE= Glucosa levadura; SAB= Sabouraud (Sánchez y Royse 2002).

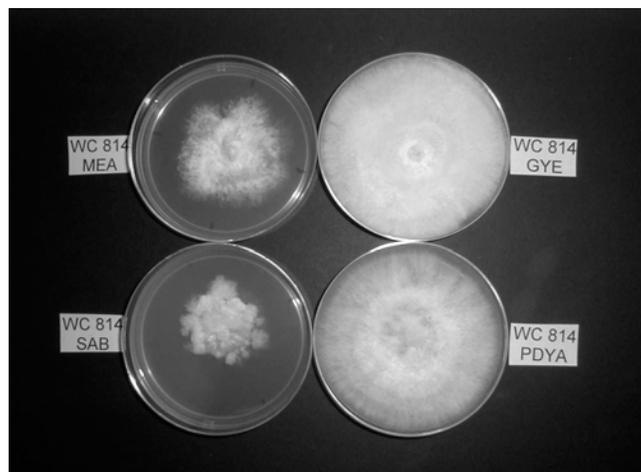


Figura 27. Crecimiento de *P. ostreatus* WC814 sobre cuatro medios de cultivo. (Sánchez y Royse 2002).

Fuentes de cepas

Existen en varias partes del mundo colecciones biológicas destinadas a la preservación de material genético de hongos, así como laboratorios de investigación que conservan las cepas fúngicas que son de interés propio o laboratorios productores de semilla comercial. En Tapachula, Chiapas, México, está El Colegio de la Frontera Sur -ECOSUR- y en nuestro país, la Micoteca de Macromicetos de Guatemala “Lic. Rubén Mayorga” del Departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC, adscrita desde el 2002 a la Asociación Latinoamericana de Micología -ALM-. En estas instituciones se puede adquirir cepas puras de hongos comestibles para fines de investigación y el inóculo para producción de carpóforos.

2.2 Transferencia de agar a agar

Una vez que un cultivo es obtenido por el medio que sea, debe ser mantenido en un estado productivo. El mantenimiento del cultivo es un paso crítico para la producción consistente de semilla de calidad predecible.

La transferencia de agar a agar o subcultivo, es el método más popular. La propagación vegetativa del hongo no es complicada, pero requiere de mucho trabajo, especialmente si se tienen que conservar muchas cepas. Se usa una pequeña cantidad de micelio de un cultivo madre para inocular múltiples tubos inclinados de agar fresco (las cuales resultan ser los cultivos hijos). Estos cultivos se revisan después de incubarlos más o menos a 25°C por 7-10 días para constatar que estén presentes las características típicas del cultivo madre. Un cultivo seleccionado entre estos se convierte entonces en el “nuevo” cultivo madre, el cual se refrigera a 4° C. Después de cuatro o seis meses este cultivo es transferido a tubos inclinados con medio recién preparado para repetir el ciclo. Este método tiene dos inconvenientes: uno derivado del riesgo de contaminaciones durante las

transferencias que son frecuentes, y dos, el riesgo de seleccionar mutantes, generalmente con capacidades disminuidas. La degeneración de la cepa puede ocurrir debido a la transferencia tardía y reiterada de ésta a medios de cultivo fresco.

Se prefieren los tubos con tapa de rosca de 16×160 mm (la tapa no se cierra herméticamente para permitir el intercambio de aire). Los medios contenidos en cajas de Petri no se conservan tan bien en el refrigerador como en tubos, porque el medio en caja de Petri se reseca rápidamente. Además de que debido a la mayor superficie expuesta al aire, facilita las contaminaciones. Los cultivos deben ser observados muy de cerca para no permitir que sobrepasen el estado de madurez antes de ser almacenados. Dado que el micelio del hongo continuará creciendo en el refrigerador, se debe almacenar cuando aún tiene espacio para crecer dentro del tubo. Algunas especies fructifican en el medio, por lo que deberán ser almacenadas antes de que alcancen esta etapa (Duque, 1999).

Es posible conservar una cepa por largo o corto tiempo por medio de la transferencia agar-agar. Al retirarla del almacenamiento, estará lista para preparar semilla inmediatamente, ya que este método no requiere tiempo para que la cepa se recupere del almacenamiento. Las piezas de agar se toman a aproximadamente 0.5 cm de distancia del trozo original. El tamaño del inóculo no debe exceder 9 mm² para minimizar la transferencia de productos acumulados en el agar viejo. La transferencia debe hacerse bajo un estricto programa y debe mantenerse un ambiente consistente para mantener una máxima calidad. Se deben hacer observaciones frecuentes de la morfología del cultivo micelial para detectar anomalías que se puedan presentar durante la incubación.

2.3 Almacenamiento en papel filtro

Las especies de hongos lignocelulósicos son degradadores de madera. Esta característica les permite crecer bien sobre celulosa, y por lo tanto sobre papel filtro. Para la conservación de cepas por este método, se cortan pequeñas piezas de papel filtro (de 3×3 mm) y se esterilizan por calor húmedo en una caja de Petri. Cuando ya están frías, se inoculan con un pequeño fragmento de agar o se colocan en una de Petri que contenga el cultivo puro. La incubación se realiza a temperatura ambiente por una o dos semanas hasta que las tiras de papel estén colonizadas por el micelio. Después de la incubación, se colocan 3-5 tiras de papel en tubos roscados con agua destilada estéril. Cada tubo se cierra fuertemente, se identifica con una etiqueta que lleva el nombre de la cepa, un número y la fecha de siembra.

Finalmente se coloca en un refrigerador a 4°C. Cuando se necesita un cultivo, una tira de papel es removida estérilmente del tubo y se coloca en otro tubo con medio inclinado o en una caja de Petri y se pone a temperatura ambiente. Los cultivos pueden ser almacenados de esta manera por 1 o 2 años. Se debe tener mucho cuidado en evitar contaminaciones, para lo cual se recomienda observar frecuentemente la ausencia de turbidez y revisar el olor. Este es seguramente un método barato de almacenamiento que puede utilizar cualquier laboratorio (Wilkinson, V.; Royse, D. 2002).

Este método es usado con éxito para conservar especies de *Armillariella* en el INRA-Clermont Ferrand (Dr. J.J. Guillaumin), especies de *Hebeloma* en la Universidad de Lyon (Prof. Debeau), o especies de *Agrocybe*, *Coprinus*, *Lentinus* y *Pleurotus* en el Laboratorio de Genética Molecular e Hibridación de Hongos Comestibles en Burdeos, Francia. En este

laboratorio, las cepas se conservan en 1.8 ml en tubos de polipropileno de 48 mm de largo y 12 mm de diámetro. La eficiencia de esta técnica es verificada para las cepas de los géneros citados arriba por lo que necesita ser estudiada para las cepas de otros géneros y especies.

2.4 En agua destilada estéril

El método más simple es la conservación en agua destilada estéril. Jones *et al.* (1991) reportaron que muchos hongos pueden ser almacenados en agua destilada estéril a temperatura ambiente por períodos de hasta 20 años sin pérdida de viabilidad o cambio en las características morfológicas.

Las muestras son pequeñas piezas de medio de cultivo invadidas por micelio. Para preparar las muestras, las cepas se depositan en una caja de Petri con un medio de cultivo. Después del crecimiento del micelio, se corta el medio de cultivo pequeños fragmentos y se depositan 3-5 fragmentos dentro de tubos pequeños con tapa rosca de 2-10 ml que contienen agua destilada estéril. El tubo se cierra y se mantiene a 4° C o a temperatura ambiente si no se cuenta con un refrigerador. En este último caso, se recomienda especialmente depositar una gota de aceite mineral en la superficie del agua para evitar la evaporación.

Este método de almacenamiento en cryoviales es uno de los más utilizados en ECOSUR con las cepas de *Pleurotus* spp. El método involucra cultivar la cepa deseada sobre APDL hasta su madurez. Varios trozos de agar son colocados en el fondo de un cryovial de 2 mm y cubiertos con agua destilada estéril (aproximadamente 1.5 ml). El cryovial es tapado y etiquetado con un número de identificación y fechado para después ser almacenado verticalmente en cajas. Es aconsejable revisar los cryoviales después de una semana de almacenamiento para identificar cualquier signo de contaminación. La recuperación de la cepa se hace retirando asépticamente un trozo de agar del vial y colocándolo en un medio en placa. Este método es barato, relativamente fácil y requiere poco espacio para almacenamiento en refrigeración.

2.5 Almacenamiento en aceite mineral

Como en los métodos precedentes, el almacenamiento en aceite mineral no requiere equipo caro, además, en el caso particular de cepas de macromicetos parece ser adecuado para largos períodos de tiempo (Kobayashi, 1984; Perrin, 1979). Las cepas se conservan en tubos de 30x90 mm. Son cultivadas sobre medio nutritivo sólido inclinado directamente en los tubos de almacenamiento. El micelio es incubado a 25° C, hasta que invade la superficie del medio. Enseguida se cubre con 15 ml de aceite mineral (esterilizado en autoclave). Los tapones, roscados, no deben estar totalmente cerrados para permitir la circulación de aire. Los tubos son conservados en un lugar climatizado a 16° C.

2.6 Almacenamiento con nitrógeno líquido

Es el mejor método de almacenamiento a largo plazo porque el crecimiento micelial es completamente detenido a -196° C. Este método mantiene viable un cultivo madre por muchos años. Solamente los cultivos de más alta calidad se deben seleccionar para un almacenamiento a largo plazo. El almacenamiento de cepas en nitrógeno líquido es muy bueno, pero caro. Los costos iniciales por adquisición de equipo son altos y el nitrógeno

líquido es un gasto constante cada mes. La unidad de almacenamiento de nitrógeno requiere un constante monitoreo para ver el nivel de nitrógeno en la cámara.

Este método involucra el llenado de un cryotubo (tubo especial diseñado para uso de nitrógeno líquido) con un cryoprotector y sumergir en él algunos trozos de agar o granos de semilla. Los cryotubos llenos son entonces colocados en una caja dividida o en una “caña” antes de almacenarlos en la cryo-unidad. El propósito del cryoprotector es minimizar el daño a las células durante el ciclo de enfriamiento y congelación. Hay muchos cryoprotectores, pero el más popular es el que se prepara con 10% de glicerol en agua. Se mezcla 1 ml de glicerol en 9 ml de agua destilada en un tubo con tapa de rosca y se esteriliza en autoclave por 15 minutos a 121° C.

El enfriamiento inadecuado dañará el micelio del hongo y puede llegar a perderse la cepa. Para evitar esto, los cultivos deben ser enfriados cuidadosamente; es decir, antes de colocar los cryoviales en la unidad (termo) de nitrógeno líquido, se debe descender la temperatura de éstos a una velocidad controlada de -1° C/min durante 4 horas, hasta alcanzar una temperatura de -70° C. Las unidades de enfriamiento lento de nitrógeno líquido son muy caras, por lo que una alternativa de bajo costo es usar un contenedor cryogénico de enfriamiento a tasa controlada (figura 28), los cuales están disponibles en los catálogos de proveedores científicos (Wilkinson, V.; Royse, D. 2002).

Los cryoviales son colocados en un contenedor de enfriamiento que se suspende en alcohol isopropílico, y la unidad entera es colocada en un refrigerador a -70° C. La única propiedad que tiene el alcohol isopropílico es que a -70° C desciende su temperatura a una tasa de 1° C/min, con lo cual se consigue la velocidad requerida de enfriamiento. Después de cuatro horas, los cryotubos congelados son almacenados en el termo de nitrógeno líquido (figura 29). Los cryotubos son etiquetados con un cryomarcador especial, porque de otra manera la etiqueta desaparecería al sumergirse en el nitrógeno líquido.



Figura 28. Contenedor cryogénico para enfriamiento controlado y viales cryogénicos para el nitrógeno líquido (Sánchez y Royse, 2002).



Figura 29. Almacenamiento en nitrógeno líquido. Implementos requeridos: termo, canastilla, cañas y viales (Sánchez y Royse, 2002).

Para recuperar una cepa, el cryotubo es sumergido en un baño maría a 37° C por uno o dos minutos. Una vez descongelado, el contenido del cryotubo es vaciado en una placa de

APDL. Los trozos de agar son colocados en el centro de la placa con una aguja y la placa es inclinada para permitir que el cryoprotector escurra del micelio. La placa debe ser revisada uno o dos días después para verificar la pureza y la apariencia.

Cuando se usa nitrógeno líquido (-196° C), se debe seguir la técnica adecuada para evitar accidentes serios. Por ejemplo, si el nitrógeno escurre dentro de un cryotubo durante el almacenamiento, el vial puede explotar cuando se coloque en el agua para descongelarlo. Por esto, se deben usar guantes y una máscara protectora durante el llenado de la cámara o al extraer y descongelar los cryoviales.

2.7 Pruebas de validación de cultivos

No se ha desarrollado una prueba in vitro para determinar la productividad de un cultivo que ha sido almacenado. Por esta razón, y dado que una cepa puede perder una o varias características durante el almacenamiento, se debe efectuar una serie de pruebas de cultivo para determinar las características de la cepa recién recuperada. Estas pruebas involucran la preparación de la semilla con la consecuente evaluación de la producción y la obtención de datos como rendimiento, tamaño, color, forma, etc. Estas pruebas se hacen también de manera rutinaria durante el proceso de formación de una nueva variedad. En este caso, primero se realizan pruebas pequeñas y las líneas sobresalientes se propagan para pruebas más grandes con repeticiones. Todos los parámetros de crecimiento (substrato, temperatura, humedad, etc.) deben ser controlados tanto como sea posible para minimizar el riesgo de un impacto ambiental adverso en el cultivo. Cuando sea posible, una línea comercial debe ser incluida en la prueba para propósitos comparativos.

2.8 Precauciones

La sanidad en el laboratorio es de vital importancia en el mantenimiento de cepas. Los desinfectantes efectivos y recomendables para el área de inoculación son el etanol al 70% y el hipoclorito de sodio al 10%. Todas las superficies de trabajo y el interior de la cámara de transferencia o campana de flujo laminar deben ser limpiadas con uno de estos desinfectantes; sin embargo nunca use estos dos al mismo tiempo. El cloro nunca debe ser mezclado con alcohol etílico al 70%.

Para preparar hipoclorito de sodio, mezcle 100 ml de cloro para uso casero con 900 ml de agua. Haga la solución fresca diariamente porque pierde efectividad rápidamente. El cloro se consigue en las tiendas de abarrotes bajo diferentes nombres comerciales como magia blanca, solex, suli, etc. El ingrediente activo oscila entre 4.7 y 5.25% de hipoclorito de sodio. Una lámpara de luz ultravioleta puede ser instalada en la campana de flujo laminar. La lámpara de luz ultravioleta instalada en la campana de flujo laminar es necesaria para descontaminar el área de trabajo y matar esporas y otros organismos, sin embargo, se deben seguir las indicaciones del fabricante, ya que el uso inadecuado puede dañar la vista o la piel del técnico laboratorista. Estas lámparas pueden usarse junto con los desinfectantes pero no los reemplazan. Nunca deje cultivos dentro de la campana cuando esté saneando con luz UV (Duque, 1999).

Otras precauciones que se deben tomar en cuenta cuando se trabaja en la conservación de cepas son: El laboratorio debe estar físicamente separado y aislado de las áreas de producción. El aire debe ser filtrado y el filtro cambiado regularmente. La temperatura del

aire debe estar controlada entre 22 y 24° C. El uso de higrotermógrafos es muy recomendable para monitorear la humedad y la temperatura del ambiente.

Las paredes de laboratorios recién construidos deben ser lavadas y pintadas con pintura anticorrosiva de buena calidad. Si existen ventanas, se debe tener cuidado de sellar cualquier espacio con hule espuma. No debe haber espacios o roturas que dejen pasar animales o contaminantes. Las ventanas no deben ser abiertas para airear el laboratorio y el uso de ventiladores no debiera ser permitido. Se prefieren los pisos de vinilo porque funcionan muy bien y son fáciles de limpiar. La limpieza de los pisos o cualquier otra acción que pueda crear polvo no debe ser realizada durante la transferencia de cultivos. Por otra parte, debe dejarse suficiente tiempo para que el polvo del aire se asiente antes de que los cultivos o la semilla se inocule. Es muy importante no exponer los cultivos de los hongos a los aromas de las pinturas o productos de limpieza que pueden ser usados en las áreas cercanas al laboratorio. El micelio puede ser severamente dañado y aún degenerarse si se expone a sustancias químicas u olores tóxicos.

2.9 El personal

Es aconsejable que el personal que trabaje en el laboratorio tenga conocimientos elementales de microbiología, micología y esté entrenado en el uso de la técnica estéril porque el trabajo de conservación de cepas requiere concentración, atención a los detalles y una buena coordinación de ojos y manos.

El personal de laboratorio no debe trabajar o atravesar las áreas de producción antes de entrar al laboratorio. Si se necesita que los empleados del laboratorio trabajen en el área de producción, se deben tomar precauciones especiales. El trabajo de laboratorio debe ser realizado con ropa y zapatos limpios. Sin higiene adecuada y sentido común, seguramente que los contaminantes serán introducidos al laboratorio y a los cultivos. Las reglas de sanidad también se aplican al equipo y éste solo debe operar en lugares limpios.

Es mejor evitar problemas serios de contaminación porque es más fácil evitar la contaminación que eliminarla. El laboratorio de producción de semilla debe contar con equipo para uso exclusivo de esta área. No se debe introducir ni alimentos ni plantas al laboratorio porque pueden traer consigo moscas, hongos, bacterias, ácaros, etc. que pueden contaminar el laboratorio y los cultivos. Finalmente, el personal no debe fumar en el laboratorio porque el humo puede dañar los cultivos.

De acuerdo con la especificidad del ciclo de vida de los hongos, de los cuales la mayor parte está constituida por estados dicarióticos cuyo genoma se conforma de dos tipos de núcleos haploides complementarios, la conservación de recursos genéticos necesita conservar la constitución genómica del estado dicariótico. Excepto la capa que porta las esporas (himenio), el basidiocarpo es dicariótico, mientras que la spora sexual es producto de la meiosis, generalmente homocariótica y corresponde a genotipos recombinantes. La conservación del genotipo original necesita hacerse con micelio obtenido por subcultivo de la parte no fértil del basidiocarpo y no por germinación de esporas sexuales o vegetativas.

Hasta aquí se han descrito algunas varias técnicas para la conservación de germoplasma de hongos. Una descripción completa de los métodos para la conservación de hongos fue

publicada por Smith y Onions (1994). La figura 30 muestra tres de las formas ya descritas para la conservación de germoplasma a bajo costo.

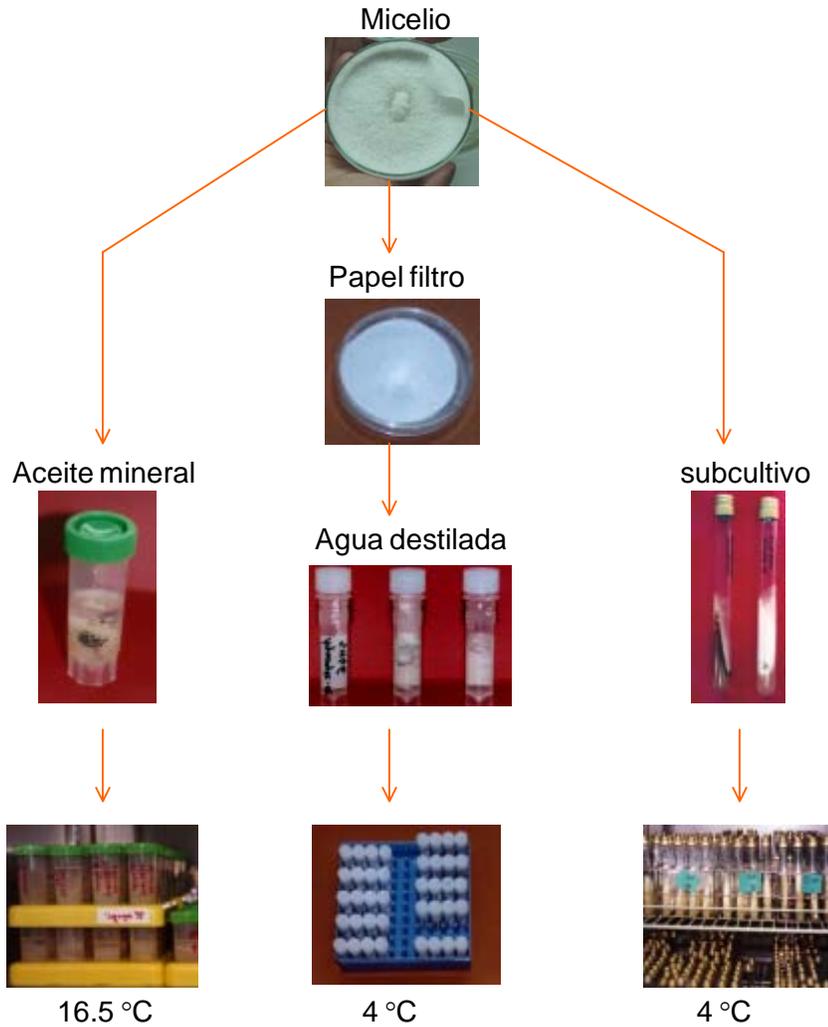


Figura 30. Tres formas de conservación cepas fúngicas a bajo costo (Sánchez y Royse, 2002)

3. Preparación del inóculo

El término inóculo o semilla se refiere normalmente al micelio del hongo utilizado para inocular el sustrato definitivo donde el hongo fructificará, es decir, el material empleado para sembrar cuando se cultivan hongos comestibles. Sin embargo, hay dos tipos de semilla: la semilla madre y la secundaria o semilla para la siembra. La semilla madre proviene directamente del micelio del hongo cultivado sobre un medio agarizado. Esto significa que para su preparación el sustrato empleado se inocula con un trozo de agar. Para producir la semilla secundaria, por el contrario, el sustrato es inoculado con semilla madre en estado de crecimiento activo. El sustrato utilizado para obtener ya sea la semilla madre o la semilla secundaria son granos o residuales agrícolas como el aserrín. Frecuentemente, el primero en frascos o botellas y el segundo en bolsas de plástico termo-resistentes (Quimio, 2002).

3.1 Substratos y recipientes para la semilla

Comúnmente se utilizan granos de cereales de trigo, arroz, centeno, mijo, sorgo y aserrín para preparar semilla madre y secundaria. Algunas veces también se usan granos secos de maíz, pero deben ser molidos para que puedan ser fácilmente esterilizados y el micelio del hongo los penetre sin inconvenientes. Algunos laboratorios usan pequeños trozos de madera de encino (3-4 cm de longitud y 1 cm de diámetro) impregnados con micelio como inóculo. Esto es particularmente útil en el caso de la tecnología empleada en algunos países de Asia para producción de Shiitake en bolsas (Oei, 1991).

Los granos deben estar libres de fungicidas. Se debe usar grano fresco y en la medida de lo posible, de alta calidad porque los granos añejos contienen esporas de bacterias y hongos que obligan al productor a incrementar el tiempo de esterilización para matar los organismos contaminantes. El factor más importante a considerar en la elección del substrato para la semilla, es la habilidad del micelio del hongo para crecer en él. La disponibilidad, el costo y la facilidad de preparación.

Los recipientes utilizados para la preparación de la semilla también pueden variar. Deben tener una tapadera adecuada y ser resistentes al calor. En la mayoría de los casos, se usan botellas o frascos de vidrio de boca angosta para semilla madre, lo cual limita la exposición a contaminantes y pueden ser completamente flameadas con el mechero de alcohol al inocular con agar o al inocular secundarios (figura 31).



Figura 31. Botellas de vidrio con semilla madre en granos de sorgo (Carrillo, 2003).

Durante la incubación y almacenamiento de la semilla madre, a los recipientes están proveídos de un tapón de algodón. Esto es conveniente porque el tapón de algodón sirve como respiradero y es fácilmente removido y vuelto a su lugar durante la inoculación de secundarios. Los recipientes para semilla secundaria pueden ser bolsas de polipropileno, frascos de vidrio o botes resistentes a la esterilización con vapor (figura 32). En algunas partes se puede conseguir bolsas provistas de un parche filtro para intercambio gaseoso, que son fabricadas especialmente para productores de semilla. En este caso, la parte alta de la bolsa se dobla y se asegura con un clip o grapa antes de la esterilización y se sella con máquina después de la inoculación.



Figura 32. Recipientes utilizados para embalar semilla secundaria en diferentes tipos de sustrato: Arroz, sorgo y aserrín (Soto, 2004).

Los frascos de vidrio son reutilizables después de lavarlos pero tienen el inconveniente de que se pueden romper durante el transporte, por lo que requieren cuidado en el manejo. Las bolsas de plástico, por su parte, son desechables y son más fáciles de transportar.

El tamaño del recipiente depende de la preferencia del productor de semilla, así como de su disponibilidad. En la mayoría de los casos, se pueden usar frascos de ½, 1, 2, 4 y hasta 10 litros, o bolsas con capacidad de 300 g a 1 kilogramo. Recipientes más grandes pueden ser difíciles de esterilizar, además de que existe el peligro de un pobre intercambio gaseoso que limite el crecimiento. El tipo de recipiente para semilla secundaria debe ser considerado porque agrega costo a la semilla (Quimio 2002).

3.2 Preparación de la semilla madre

La semilla madre es usada para inocular los secundarios, que en su turno serán empleados como inóculo del sustrato que producirá fructificaciones cosechables. El sustrato madre, por otra parte es inoculado con un trozo de agar con micelio proveniente de un cultivo puro de la cepa.

a) Preparación del grano

Para preparar la semilla madre, los granos (centeno, sorgo o arroz) son lavados abundantemente y después dejados en remojo durante 12 o 24 horas. Las semillas muertas y aquellas que flotan sobre el agua son removidas. Luego las semillas son lavadas nuevamente y hervidas en agua por lo menos 10-15 minutos hasta que se expandan sin romperse. El remojo puede ser suprimido, pero en este caso el tiempo de cocción será mayor. Cuando los granos se han hinchado y algunos empiezan a romperse son removidos del calor, escurridos durante 2 horas y distribuidos sobre hojas de papel formando una capa delgada de aproximadamente 2 cm para drenar el exceso de humedad. Esto tomará alrededor 10 minutos (Soto, 2004).

Esta parte es crítica. Su ejecución correcta evita semillas demasiado secas o muy húmedas que afectarán el crecimiento micelial. Si los granos quedan muy secos, el crecimiento del micelio será muy lento. Si los granos tienen mucha agua, el crecimiento es también muy lento y finalmente se detendrá cuando el agua se acumule en el fondo. La

humedad óptima para los granos es alrededor del 50%. Aunque hay formas muy precisas de determinar la humedad, el técnico debe aprender a medirla por experiencia.

Una vez que los granos tienen la humedad adecuada, se colocan en botellas a $\frac{3}{4}$ de su capacidad y se tapan con algodón. Se pueden usar cucharones o vasos estandarizados como medidas para ajustar un volumen determinado a cada frasco o botella. Algunos productores cuentan con un aparato semiautomático que facilita el llenado rápido de los recipientes con semilla. Las bolsas de polipropileno pueden ser usadas y llenadas también a menos de $\frac{3}{4}$ de su volumen.

b) Esterilización

En este punto los frascos o bolsas llenos están listos para la esterilización en una autoclave u olla de presión a 121° C con 15 libras/pulg² (psi). El tiempo de esterilización dependerá del tamaño del recipiente dentro de la olla. Para frascos de 0.5-1 litro 15 minutos de esterilización a 15 psi son suficientes. Los recipientes mayores (5-10 litros) pueden requerir hasta 2 horas de esterilización. Las botellas son enfriadas a temperatura ambiente antes de inocular con trozos de agar con micelio.

c) Inoculación con cultivo micelial

La inoculación se hace bajo completa asepsia, de manera similar a como se realiza el cultivo de tejidos. Este paso puede hacerse dentro de una cámara de transferencia artesanal cuando no se tienen muchos recursos, pero de preferencia dentro de una campana de flujo laminar observando todas las precauciones de asepsia para evitar contaminaciones. El técnico, recién bañado, debe usar ropa limpia o bata de laboratorio. Debe lavar sus manos con alcohol al 70% y no debe hablar, ni silbar o cantar porque el aire que sale de la boca transportará bacterias o esporas que pueden contaminar el substrato. Mejor aún si la persona que siembra usa una mascarilla y trabaja con la ayuda de una flama de lámpara de alcohol que le permita proteger el material cada vez que abra un recipiente para introducir o sacar el inóculo.

Como el micelio que se inocula proviene de una caja de Petri, se usa un bisturí para cortar el agar en pequeños cuadros o trozos y transferirlos a los granos estériles. Al inocular frascos, primero se aflojan las tapas para que sean fácilmente levantadas con una mano cuando el trozo de micelio esté listo para distribuirse en cada uno de ellos. Lo mismo se hace con tapones de algodón, los cuales deben ser sostenidos con el dedo meñique y no colocados sobre la superficie de la mesa durante la transferencia del inóculo. Los trozos de micelio se dejan caer en medio de la masa de granos mediante la inclinación ligera del recipiente durante la inoculación y no en la superficie. Esto puede resultar en un crecimiento más rápido porque el micelio tiende a crecer de manera aérea antes de asentarse sobre los granos. Los trozos también pueden ser colocados a los lados, junto a la pared del recipiente. Esto permite al micelio alcanzar los granos más rápidamente que los ubicados en la superficie. Esta situación permite una más rápida colonización y deja apreciar mejor el desarrollo del micelio.

d) Incubación

Los frascos con grano inoculado se incuban a temperatura entre 22 y 25° C sin moverlos por cierto período de tiempo. Según del tamaño del recipiente, agitar los frascos ya inoculados al menos cada tres o cuatro días para distribuir los granos y permitir una rápida

ramificación del micelio en crecimiento, hasta que el blanco haya cubierto completamente todos los granos. Los granos pueden ser totalmente colonizados por el micelio en 2-4 semanas después de la inoculación, según el tipo de recipiente. A partir de entonces estarán listos, ya sea para ser inoculados en un secundario o para ser sembrados en el substrato definitivo, como será descrito más adelante.

3.3 Preparación de la semilla secundaria

Los granos también pueden ser usados para producir semilla para siembra (secundaria). A esto se le denomina inoculación de grano a grano. El crecimiento micelial será definitivamente más rápido, porque el micelio se habrá adaptado al substrato. Además obtenemos mayor cantidad de semilla para la siembra definitiva.

Para inocular el grano que servirá para producir la semilla para siembra, se usa semilla madre de crecimiento vigoroso. La inoculación debe hacerse ya sea en una cámara de transferencia o en una campana de flujo laminar, de manera totalmente aséptica y en la misma forma descrita para la siembra de los granos de semilla madre. Los frascos se agitan y se abren al abrigo de una flama de alcohol, desde donde se vacía una pequeña cantidad de semilla madre al interior de las bolsas para obtener la semilla secundaria. El grano se prepara en la forma ya descrita y las bolsas deben estar completamente secas al momento de la inoculación. Si la semilla madre usada creció demasiado y es difícil de agitar, se usa una pinza para separar los granos antes de la inoculación. En general, 1 litro de semilla madre será suficiente para obtener de 20 a 30 litros de semilla secundaria. Durante la incubación se procede en la forma que se indicó para semilla madre.

3.4 Preparación de semilla utilizando aserrín

Para preparar el aserrín que servirá como substrato para semilla, se mezcla 20% de salvado de arroz con aserrín seco de árboles latifoliados y se agrega suficiente agua a la mezcla para ajustar la humedad a 62-65%. Un indicador práctico para verificar el contenido de humedad óptimo es aprisionando un poco de aserrín con los dedos pulgar e índice. Si escurre ligeramente el agua entre los dedos y la forma de la mezcla permanece invariable, es porque el contenido de humedad es el deseado. Según Aso (2007), la mezcla puede elaborarse utilizando aserrín y salvado de arroz en proporción 3:1 (volumen).

Posteriormente, se llenan las bolsas de plástico resistentes al calor o las botellas con la mezcla de salvado de arroz-aserrín hasta 2/3 de la capacidad del recipiente y se golpean ligeramente para hacer la masa compacta. Luego se perfora un agujero de 1.5-2.0 centímetros de diámetro en el centro del aserrín. Se limpia el interior de la boca del recipiente y se tapa con algodón o, en el caso de frascos de boca ancha, se enrosca la tapa. Si se usan bolsas de plástico, se inserta un cuello en la parte superior de la bolsa para mantener un tapón de algodón. Después los recipientes se esterilizan a 15 libras/pulg² de presión, temperatura de 121° C, durante 15-20 minutos y se dejan enfriar. Finalmente inocule el aserrín con medio de cultivo o grano con micelio del hongo, teniendo el cuidado de que caiga dentro del agujero realizado con anterioridad (Quimio, 2002).

3.5 Almacenamiento de la semilla

En el caso de la semilla primaria, el almacenamiento no es problema porque la misma persona que la prepara la usará para sembrar semilla secundaria. Por lo tanto sabe bien

cuánta semilla primaria necesita y cuándo precisará la secundaria. De esta manera, solo preparará la cantidad indispensable. El problema es en el caso de la semilla para siembra, la cual se transporta a otros lugares cuando es solicitada por los cultivadores de hongos. Además de esto, el productor de semilla a veces produce más semilla de la que empleará. Por ambas situaciones, se hace necesario preservar o prolongar su viabilidad para evitar que se desperdicie (Soto, 2004).

La semilla del hongo, ya sea primaria o secundaria, debe usarse en su máxima vitalidad. En la medida en que la semilla envejece, la tasa de crecimiento del micelio disminuye. Esto es particularmente importante porque la semilla para siembra es utilizada para inocular sustratos semiestériles, los cuales requerirán un rápido crecimiento del micelio para evitar las contaminaciones. Si el crecimiento del micelio es lento a causa de la edad o por otra razón, entonces, cualquier organismo presente en el sustrato después de la pasteurización crecerá más rápido que la semilla y causará contaminación en el sustrato final.

Una opción para disminuir la velocidad de crecimiento del micelio y su envejecimiento es la refrigeración. El micelio puede permanecer dentro de un refrigerador por varias semanas, con lo que se disminuye su crecimiento y por lo tanto la pérdida de vitalidad. El refrigerador deberá estar tan limpio como sea posible y su humedad relativa al mínimo para evitar la condensación dentro del recipiente que contiene la semilla. Antes de utilizarla, deberá permitirse que la semilla, ya sea primaria o secundaria, alcance la temperatura ambiente para que inicie su crecimiento inmediato en el siguiente sustrato.

3.6 Cantidad de semilla

La cantidad de semilla secundaria utilizada para inocular el sustrato definitivo no afecta directamente el rendimiento (la cantidad de setas cosechadas). Sin embargo, el uso de más semilla puede acelerar la colonización en el sustrato. En el caso de bolsas con sustratos para fructificación que hayan sido pasteurizados por vapor, el adicionar más semilla reducirá el efecto de organismos competidores aún presentes en el sustrato. Entre más grande sea la cantidad de semilla, más rápida será la colonización. Como resultado de esto, el crecimiento de los organismos competidores que hayan sobrevivido al proceso de pasteurización se disminuye y el rendimiento será el esperado (Quimio, 2002).

3.7 Control de calidad

La mayor fuente de contaminación para el micelio del hongo en crecimiento es el grano o el sustrato utilizado para preparar la semilla. Sin embargo, con equipo e instalaciones modernas para esterilizar y mantener las condiciones estériles es posible reducir la contaminación por hongos o bacterias hasta 0.1% o menos del número de unidades de semilla. El control de calidad en la elaboración de semilla consiste en la inspección constante para eliminar todas aquellas unidades visiblemente contaminadas o que exhiban diferencias inaceptables en apariencia o en crecimiento.

La semilla de hongo, ya sea preparada dentro de un proyecto familiar artesanal o en una escala industrial que usa equipo moderno, debe llegar en excelentes condiciones cuando se distribuye a los cultivadores. El productor de semilla debe examinar su material en proceso constantemente y desechar bolsas o frascos contaminados. Las semillas

contaminadas son reconocidas por el diferente crecimiento pigmentado (usualmente verduzco o negro) que aparece, ya sea en la parte superior o en todo el substrato (Carrillo, 2003).

Cuando se cultivan hongos a pequeña escala, no es necesario preparar su propia semilla. Generalmente es posible tener acceso a proveedores comerciales de semilla que pueden proveer de la cantidad necesaria. La semilla debe ser solicitada con anticipación de 1 o 2 meses para obtenerla en la edad adecuada. La semilla contaminada, añeja o sin crecimiento activo nunca debe ser vendida a los cultivadores, porque éstos confían en el productor de semilla. Los productores de semilla deben tener una instalación de prueba donde puedan evaluar las características de producción de cada lote de semilla. Deben visitar a los cultivadores para observar sus problemas directamente, y así los derivados de la producción de semilla sean corregidos con rapidez.

A raíz de lo expuesto en este capítulo, el cultivo de hongos supone la existencia de programas de hibridación y de fabricación de semilla. Las estrategias para los cruzamientos deben desarrollar cepas específicas adaptadas a ambientes y substratos locales. Sería conveniente que las universidades aportaran apoyo logístico para realizar hibridaciones e impulsar el cultivo. Debe hacerse el estudio de las variaciones genéticas de aislamientos silvestres y el tamizado de cepas que puedan ser usadas para programas de cruzamientos. El uso de cepas silvestres tiene la ventaja de que son seleccionadas naturalmente y son altamente adaptadas a las condiciones ambientales locales; las cuales han de ser seleccionadas por su potencial con base a criterios de desarrollo social, comerciales y por su habilidad para coadyuvar en la limpieza del ambiente.

En tal situación, la investigación necesita enfocarse hacia el desarrollo de conocimiento básico sobre hongos comestibles: la caracterización apropiada y clasificación taxonómica de cepas silvestres, sobre los procedimientos para la conservación racional y la duplicación de especímenes, sobre las modalidades y las técnicas para conservar genotipos, sobre la genética, los cruzamientos y producción de inóculo.

Los acápites del presente capítulo han permitido realizar una revisión de la fase microbiológica de la producción de hongos comestibles, ahora se dará paso a la especificidad tecnológica del cultivo de algunos hongos saprófitos y micorrícicos. Al respecto, el referente más próximo para generar tecnología apropiada para domesticar especies fúngicas locales está constituido por el cúmulo de conocimientos generados en otros países con relación a la producción de carpóforos; aplicables a especies con importancia comercial como: *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinus edodes*, *Auricularia auricula*, *Volvariella volvacea*, *Fammulina velutipes*; así como de hongos comestibles micorrícicos como *Boletus edulis*, *Lactarius deliciosus* entre otros, que constituyen el principal objetivo de los siguientes capítulos.

CAPÍTULO III

TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑÓN (*Agaricus bisporus*)

1. Caracterización

1.1 Cepas comerciales de champiñón

La especie más cultivada es *Agaricus bisporus* (Lange) Sing., conocida comúnmente como Seta de París o Champiñón. El micelio de este hongo es blanco. Destacan las cepas Blanchocamp BL-40, para producción en primavera, otoño y verano; Claron A.5.1, Fungisem (H-10, H-12), Gurelan (15,35) para cosechas invernales (Regés 2004).

El Portobello es una variedad de *Agaricus bisporus* con pileo grande abierto de color café, que puede crecer hasta alcanzar 15 centímetros de diámetro. El champiñón Portobello abierto indica que algo de humedad se ha evaporado. La humedad reducida concentra y enriquece su sabor creando una textura densa y carnosa. El champiñón Crimini es el mismo champiñón Portobello en su etapa inicial de crecimiento. Es similar en apariencia al champiñón blanco. Posee un sombrero café y textura firme, tiene un sabor más profundo y denso que el blanco (Setas de Cuivá, 2007).

También se ha extendido el cultivo estival de *Agaricus bitorquis* (Quel.) Sacc., con líneas o variedades como Gurelan ABK, Gurelan ABC, Fungisem (B-10), etc. (Albertó, 2003). *Agaricus bitorquis* se diferencia de *Agaricus bisporus* en que puede crecer en temperaturas más elevadas, soporta mayores concentraciones de bióxido de carbono, su crecimiento es lento pero los carpóforos listos para cosechar se abren de repente, incluso después de la cosecha. Es resistente al ataque de virus pero susceptible al ataque de otros hongos por las altas temperaturas del cultivo. Los carpóforos son más grandes y robustos, pileo frecuentemente un poco hundido en el centro, el estípote es más corto con poco micelio en la base. Tiene dos velos lo que da problemas en la conservación como champiñón entero porque se desprende el velo secundario y flota en el líquido (Vedder, 1996).

1.2 Morfología de *Agaricus bisporus*

El champiñón vive como saprofita sobre materia vegetal en descomposición. El pileo es la parte más carnosa del hongo, tiene forma globosa, textura lisa, de color blanco (figura 33). El tamaño puede alcanzar 9 cm de diámetro según la edad, pero desde el punto de vista comercial no interesa que llegue a tener este tamaño. El himenio está situado en la parte inferior del pileo y está formado por numerosas laminillas, dispuestas a manera de radios, que van desde el pie hasta el borde externo del pileo; dichas laminillas son rosadas al principio y después se vuelve pardo e incluso negro. El velo está formado por un conjunto especial de células flexibles que protegen a las esporas y el himenio durante el período de desarrollo del hongo, hasta que adquieren el grado de madurez óptimo. Cuando este llega a la madurez, el velo se rasga, permitiendo así la liberación de las esporas y sólo queda de él un pequeño trozo unido al estípote, llamado anillo. El estípote es la parte del hongo que sirve de soporte al sombrero; tiene forma cilíndrica y por su parte inferior está unido al micelio que crece en el sustrato (Regés, 2004)



Figura 33. a) *Agaricus bisporus*, b) *Crimini*, c) *Agaricus bitorquis* (Albertó, 2003)

1.3 Importancia del champiñón

El champiñón es el hongo comestible más cultivado y antiguo del mundo. Su historia data desde 1650 cuando cultivadores de melón de la región de París, Francia, descubrieron por casualidad esta posibilidad al verlos crecer sobre compost usado, proveniente de las camas calientes que contenían estiércol de los cultivos de melones regadas con el agua utilizada para lavar champiñones recolectados del campo (Vedder, 1996). Por esta razón al hablar de hongos comestibles la gente lo asocia rápidamente con el champiñón.

Es difícil disponer de cifras exactas de la importancia del cultivo de champiñón en todos los países de mundo. No obstante, según las cifras publicadas por Chang (1999), en 1997 la producción fue de 1,956,000 toneladas métricas, lo cual representa el 31.8% del total de hongos comestibles producidos en el mundo. La tecnología del cultivo de hongos comestibles en Guatemala no es desconocida, ya que existen alrededor de 4 empresas productoras. Sin embargo, se ha determinado que existe actualmente una demanda insatisfecha de 10,000 a 15,000 libras semanales, generada por restaurantes, hoteles y centros comerciales, sin olvidar las posibilidades de exportación (Argueta, 2004).

La antigüedad del cultivo, sus características organolépticas y usos en gastronomía, hacen del cultivo del champiñón uno de los hongos comestibles más conocidos y consumidos en Guatemala y en el mundo; lo que representa una opción de inversión a través de del establecimiento empresas orientadas al crecimiento y diversificación de la agroindustria guatemalteca tanto para exportación como de consumo interno.

En muchos países, la elevación del nivel de vida ha llevado consigo un cambio en los hábitos alimenticios, disminuyendo el consumo de alimentos con elevado valor energético y aumentando la necesidad de una dieta rica en proteínas, vitaminas y minerales. Debido a su composición, el champiñón posee particular importancia con relación a este aspecto. El contenido nutricional siempre vendrá condicionado por varios factores: Si es silvestre o cultivado, el medio en que crece (contenidos de humedad y materia orgánica), el tipo de sustrato y las condiciones de manejo en que se cultiva.

Los champiñones pueden cubrir en parte, los requerimientos de proteína en la nutrición

humana, ya que el contenido en ellos oscila entre 2.95 y 3.7 por ciento del peso fresco, con valor nutritivo superior al de la mayor parte de hortalizas. El champiñón es útil en caso de personas con problemas con la digestión de la carne porque contiene proteínas fácilmente asimilables. Es bajo en carbohidratos y grasas (Cuadro 2), sólo proporciona 27 calorías en 100 gramos de peso fresco, importante para dietas depurativas o para perder peso. El contenido de colesterol es nulo. Es rico en varias vitaminas como vitamina A (especialmente los silvestres), tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido ascórbico (vitamina C) que se pierde si no son frescos, ergosterina (pro-vitamina D2) y la biotina (vitamina H). También contiene un importante nivel de ácido fólico que puede estimular la curación de la anemia. Más que una cantidad importante de minerales, contiene variedad de estos, destacando el contenido en fósforo, magnesio y potasio. Su contenido en selenio le confiere un efecto antioxidante (Vedder, 1996).

En recientes investigaciones se ha encontrado también que en el champiñón contiene sustancias que permiten disminuir el contenido de colesterol y de glucosa en la sangre, detienen la evolución del cáncer y combate el SIDA (Muñoz, 2006).

Cuadro 2. Comparación nutricional del champiñón expresada en porcentaje del peso fresco.

Componente	Champiñón	Espinaca	Papa	Leche	Carne
Agua	88-90	93	75	87	66
Proteína	2.95-3.70	2.2	2	3.5	18
Grasas	0.25-0.30	0.3	0.1	3.7	14.8
Carbohidratos	4.00-6.80	1.0	21	4.8	0.3
Minerales	1.00	1.9	1.1	0.7	0.5
Fibra	1.00	1.6	0.8	0.3	0.4
Calorías	27	23	87	60	214
Valor nutritivo	22	26	9	25	43

Fuente: Setas de Cuivá (2007), Agrobot (2005) y Muñoz (2006).

Número de calorías: Equivale a la cantidad de calorías en 100 g de hongo fresco. Valor Nutritivo: Equivale a la cantidad de aminoácidos esenciales por las proteínas totales sobre cien.

Siendo 3.325% el contenido promedio de proteína en los carpóforos del champiñón y 89% el contenido de humedad, resulta que dicho contenido de proteína equivale a 30.23% del peso seco del hongo.

2. Sistemas de producción

Los sistemas de producción en el cultivo del champiñón pueden variar según el tipo de contenedores utilizados para el sustrato (compost o composta para el caso específico de champiñón), las modalidades de distribución y utilización del espacio físico de la sala de fructificación del hongo, la forma de monitorear las condiciones ambientales y de ejecutar las distintas fases del proceso de producción de carpóforos, entre otras. Existen tres sistemas de producción conocidos en el mundo, el Americano, el Holandés y el Francés.

2.1 Sistema Americano

Comúnmente este sistema es utilizado en Estados Unidos de Norteamérica y es conocido también como Sistema de Camas, porque se utilizan bandejas o camas removibles que se colocan superpuestas o en estantes de madera. Las bandejas son bases de madera en

forma de camas invertidas donde es colocada la composta. El peso promedio de cada cama es entre los 250 y 280 kilogramos, lo que hace necesario la utilización de montacargas para su traslado a las naves o cuartos de producción (Fernández, 2001).

Réges (2004), al referirse a esta modalidad, indica que el compost se introduce en bandejas de madera de 0.6 a 1.20 m de ancho, colocadas una sobre otra y sostenidas lateralmente por medio de fuertes soportes formando estantes (figura 34). Al interior de las bandejas se colocan 15-30 cm de espesor de compost, dejando entre cada dos bandejas una distancia verticalmente de 40 a 60 cm. Con este sistema se han obtenido rendimientos de 10-13.5 kg/m². Según Muñoz (2006), en los Estados Unidos de Norteamérica se han obtenido rendimientos que oscilan entre 26.2 y 28.5 kg/m².



Figura 34. Estantería para colocación de bandejas y sobre-posición de las camas en la sala de fructificación (Regés, 2004 y Fernández, 2005)

2.2 Sistema Holandés

Este sistema es actualmente el que tiene la mayor tecnología en materia de producción de champiñones. Consiste en estantes contruidos de madera o acero galvanizado con cantos de aluminio compuestos por cajas estandarizadas o de bandejas fijas que se rellenan de compost, cuyas dimensiones aproximadas son de 1.40×0.8×0.20 m (figura 35). Los estantes se separan entre sí por pasillos de un metro de ancho. Los rendimientos medios obtenidos con este sistema se sitúan entre 5 y 8 kg/m² de bandeja por ciclo (Réges, 2004); aunque Muñoz (2006) ha reportado rendimientos de 15 a 20 kg/m² en la Escuela Zamorano y de 35 a 43 kg/m² en Holanda. En este sistema todas las operaciones y procesos de cultivo se realizan prácticamente dentro de los cuartos de producción y casi en su totalidad monitoreados a través de sistemas computarizados (Fernández 2001).



Figura 35. Estantes de acero galvanizado y de madera con bandejas fijas que caracteriza al Sistema de producción Holandés de champiñones (Fernández, 2005 y Regés, 2004).

2.3 Sistema Francés

En este sistema se utilizan bolsas plásticas o sacos como contenedores del sustrato. Es el más empleado por ser práctico y ajustable a diferentes niveles de inversión. Consiste en llenar sacos de plástico al 75 % de su volumen, con 30-40 Kg del compost que se utilizará para la siembra del hongo. Los sacos se disponen en estanterías como se muestra en la figura 36. En las condiciones de este sistema de producción, se obtienen hasta 10 kilogramos de hongos frescos por saco, en un período de ocho semanas (Regés, 2004).



Figura 36. Cultivo de champiñones Crimini y blanco, en condiciones de crecimiento en bolsas (Sánchez *et al.*, 2004 y Fernández, 2005) .

Cabe mencionar que son impresionantes los avances tecnológicos y de producción que se han desarrollado en estos sistemas en los USA, Europa y Asia; sin embargo, pueden ser adaptados a las condiciones propias de nuestro país con miras a su implementación. Un sistema en particular no es mejor que otro. La elección depende principalmente del capital de inversión inicial, los objetivos y las metas a alcanzar con el emprendimiento del proyecto de producción de champiñones.

3. Fuentes de aprovisionamiento de sustrato

El champiñón crece, como la mayoría de los hongos, sobre materias de origen vegetal muertas parcialmente degradadas. Por ello, es necesario preparar un sustrato selectivo para su crecimiento, llamado compost o composta. Se le llama así al conjunto de materias primas mezcladas, humectadas y fermentadas por acción de la oxigenación periódica y constante durante cierto tiempo, hasta alcanzar el estado óptimo de textura, estructura,

color, olor, humedad, actividad microbiana y condición térmica favorables para el champiñón.

Al seleccionar las materias primas para preparar compost, hay que tener en cuenta el precio y la disponibilidad. Para elaborar fórmulas de composteo con éxito es fundamental conocer la composición de los materiales, particularmente el contenido de Nitrógeno. El contenido de nitrógeno de algunos materiales que pueden utilizarse para preparar compost para champiñón y las propiedades físico químicas conferidas al mismo, se indican en el cuadro 3.

Cuadro 3. Materias primas utilizadas para elaborar el compost para champiñón

Materia prima	Nitrógeno (%)	Propiedades
Sulfato de amonio	21	Por el alto contenido de N, disminuyen la resistencia a la humectación de la capa cérea de cualquier tipo de paja.
Nitrato de amonio	26	
Urea	46	
Germen de malta	4	Por su alto contenido de carbono, favorecen la relación carbono-nitrógeno (C/N) del compost.
Levadura de cerveza	3.5	
Harinolina	6.5	
Harina de cacahuete	6.5	
Pollinaza	3-6	
Cascarilla de uva	1.5	Son excelentes para aumentar la temperatura del sustrato durante la fermentación.
Pulpa de remolacha	1.5	
Pulpa de papa	1.0	
Melaza	1.0	
Alfalfa	2-2.5	Proveen cantidades considerables de carbohidratos
Trébol	2	
Yeso	sulfato de calcio	Aditivos para corregir el pH y mejorar la estructura del compost.
Piedra caliza	Carbonato de calcio	
Estiércol de caballo	1.2-9.0	Mejoran la textura, retención de humedad y la selectividad sustrato
Pajas de gramíneas	0.3-0.75	

Fuente: Fernández (2001).

En algunas ocasiones se conoce el porcentaje de proteína de las materias primas pero se desconoce el contenido de nitrógeno. Al respecto el químico danés J.G. Kjeldahl desarrolló en 1883, una fórmula que relaciona los contenidos de nitrógeno y proteína de un compuesto. Partiendo que en promedio el contenido de nitrógeno en las proteínas es del 16 por ciento, el porcentaje de nitrógeno es típicamente calculado dividiendo el porcentaje de proteína del material por la constante 6.25 (100/16). Por ejemplo, si la paja de arroz tiene un contenido de proteína de 4.5%, el cálculo corresponde a $4.5/6.25 = 0.72$. Así el porcentaje de nitrógeno en la paja de arroz es aproximadamente 0.72%.

En muchos países del mundo se utiliza paja de cereales mezclada ya sea con estiércol de caballo o pollinaza, como materia básica para la fabricación de compost. Dependiendo de la disponibilidad, se añaden a las materias básicas pequeñas cantidades de productos albuminosos como la harina de soya, de semillas de algodón, residuos de cacao, salvado de arroz, etc. El fin que se persigue añadiendo estas materias es facilitar el comienzo de los procesos de fermentación, ya que de este modo la microflora puede disponer

rápidamente de los alimentos apropiados, como hidratos de carbono fácilmente digestibles y nitrógeno.

La experiencia ha demostrado que la materia prima puede variar según los países, por lo que es arriesgado adoptar, sin más, las formulaciones para su elaboración. Sin embargo, siempre es posible sustituir unas materias por otras, en función del precio y la disponibilidad. Al utilizar el estiércol de caballo como materia básica y pollinaza como aditivo, ésta última puede sustituirse, a igual cantidad de materia orgánica, por torta de semillas de algodón, cebada de cervecería etc., ajustando el contenido de nitrógeno con urea, por ejemplo. La urea puede sustituirse por doble cantidad de sulfato de amónico, pero en este caso hay que añadir carbonato de calcio para neutralizar el residuo de ácido sulfúrico.

La experiencia con la utilización de urea es positiva, a pesar de que algunas personas parecen haber observado que la paja se ablanda más aprisa, lo que da un compost más graso y que durante la pasteurización es más difícil eliminar el amoníaco del compost (Vedder, 1996). Añadiendo nitrógeno se aumenta el poder de fermentación, siempre que exista suficiente cantidad de hidratos de carbono fácilmente asimilables. Por esta razón se utiliza cebada de cervecería, harina de semilla de algodón o pulpa de remolacha como fuentes de nitrógeno e hidratos de carbono fácilmente asimilables. La necesidad en que es preciso añadir las demás materias mencionadas en el cuadro 6, depende en gran parte del estiércol a utilizar y los métodos de fermentación de éste. Esta cuestión necesita todavía muchas investigaciones. En la siguiente sección se indicarán como referencia, algunas formulaciones que han dado resultados satisfactorios.

4. Preparación del sustrato

Este proceso se refiere al tiempo requerido para que los materiales empleados en la composta, alcancen las cualidades que necesita el sustrato para un adecuado desarrollo del micelio de champiñón. Las actividades para preparar el compost en el que se va a cultivar el champiñón varían según se trate de composta tradicional o composta artificial. La composta tradicional es en la que se utiliza paja que fue usada como cama en las caballerizas y que es conocida también como “composta de caballo”. La segunda forma consiste en realizar mezclas de diversas materias primas, principalmente pajas de cereales, pollinaza y suplementos de origen agrícola, cuyo objetivo es asemejar las condiciones que el compostaje tradicional proporciona.

Cualquiera que sea el tipo de composta, la preparación de un sustrato selectivo que favorezca el crecimiento del champiñón conlleva una etapa de fermentación libre o en cordón y otra de fermentación controlada, que incluye la pasteurización y un período final de acondicionamiento. En los sistemas de producción Americano y Francés, las fases de pasteurización y acondicionamiento (fermentación controlada) se realizan en un ambiente de la planta de producción diferente a la de fructificación (plurizona), mientras que en el sistema producción Holandés, la fermentación controlada se realiza en la sala de fructificación (monozona).

4.1 Formulaciones

a) Composta tradicional

En Europa, especialmente en los Países Bajos, se utiliza el estiércol de caballo como

materia prima para la preparación de compost de champiñón. No puede utilizarse cualquier clase de estiércol de caballo. Para este fin, el estiércol ligero y pajoso procedente de caballos que permanecen mucho tiempo en las cuadras y se alimentan con heno y piensos concentrados, es el que ofrece mejor resultado. Este estiércol de caballo se compone en su mayor parte de paja de centeno o de trigo, excremento sólido y orina. Esta paja ya ha sido picada y cortada en parte, pues ha servido de cama a los caballos, por lo que disminuye el uso de maquinaria para cortarla.

Se ha intentado enriquecer de muchas formas el estiércol, añadiéndole abonos químicos u otro tipo de materias. La mayor parte de los investigadores y cultivadores obtuvieron buenos resultados y altos rendimientos, pero en algunos casos estos suplementos no sólo no elevaban los rendimientos, sino que a veces influían negativamente sobre el mismo. Parece ser que las proporciones o relaciones en que se encuentran elementos como N, P, K, Mg, Ca en el estiércol, son más importantes que las cantidades absolutas (Vedder, 1996).

En los Países Bajos se añaden únicamente 100 Kg de gallinaza y 25 Kg de yeso por tonelada de estiércol de caballo rico en paja. Se utiliza yeso para mejorar la estructura del estiércol, para impedir que el compost se haga graso y para bajar el pH, especialmente cuando se utiliza gallinaza en gran cantidad. También sirve como suministro de calcio y permitir la transformación del ácido oxálico que segrega el micelio, en oxalato cálcico. El cuadro 4 contiene algunas formulaciones que pueden utilizarse como referentes para preparar cualquier cantidad de composta.

Cuadro 4: Componentes para preparar composta de champiñón tradicional

Ingrediente	Cantidad recomendada en toneladas métricas, según		
	Vedder, 1996	Fernández, 2005	Observación
Estiércol de caballo	110	80	Cama de caballo
Gallinaza	11	7.5	Estiércol de pollo
Yeso	2.75	1.25	-----
Levadura de cerveza	-----	2.5	-----
Peso de la mezcla	123.75	91.25	Peso húmedo

Al respecto, Albertó (1995) recomienda aplicar las siguientes cantidades de aditivos, sobre la base del peso húmedo de la cama de caballo a utilizar: 0.30 a 0.50% de Urea, 2 a 2.5% de arrancador (harinas o salvados de cereales), 8% de cama de pollo (o bien 0.5% de superfosfato tricálcico y 0.4% de urea), 2.5% de yeso.

b) Composta sintética

Obviamente, no es posible disponer de suficiente cantidad de estiércol de caballo en todas partes del mundo. Por ello, es necesario preparar compost sintético utilizando mezclas de diferentes tipos de paja con estiércol de pollo (pollinaza) y suplementos. La materia prima del compost sintético o artificial consiste en pacas prensadas de paja de trigo, centeno o arroz, residuos de maíz, de algodón, de caña de azúcar etc., mezclados con aditivos ricos en proteínas como salvado de arroz, harina de semilla de algodón o soya.

Las fórmulas para la preparación de composta sintética son normalmente adaptadas en

cada lugar donde se inicia la producción de champiñones, sería inoperante e incosteable implementar en Guatemala una fórmula de composteo que se utiliza en Estados Unidos, Canadá o México, porque inclusive entre regiones del mismo país, la composición y la disponibilidad de materias primas cambian y se deberá aprovechar la materia prima que se tenga al alcance. Sin embargo, existe un factor común que hace que la fórmula pueda obtenerse con el mismo grado de calidad y son los porcentajes de materia seca con relación al contenido de Nitrógeno. Por ello, la determinación del porcentaje de humedad y nitrógeno al momento de adquirir las materias primas serán los factores de calidad y costeabilidad de la composta. En el cuadro 5 se indican los componentes de la mezcla para preparar 236.6 toneladas métricas de composta sintética para champiñón, que puede utilizarse como referente para obtener cualquier cantidad requerida.

Cuadro 5. Fórmula para preparar compost sintético a partir de paja de trigo.

Materiales	Peso húmedo (Kg)	Humedad (%)	Peso seco (Kg)	Nitrógeno (%)	Peso de nitrógeno (Kg)
Paja de trigo	200,000	10	180,000	0.8	1440
Urea	100	0	100	46	46
Pollinaza	20,000	20	16,000	4.5	720
Harinolina	8,000	15	6,800	6.5	442
Cascarilla de algodón	5,000	15	4,250	0.3	12.75
Yeso	3,500	12	3,080	0	0
Total	236,600		210,230		2,660.75

Fuente: Fernández (2005).

El peso total de nitrógeno dividido por el total del peso seco, da como resultado un porcentaje de 1.27% de nitrógeno en la mezcla. Ello indica que aún puede ser enriquecida con algunos otros suplementos agrícolas o utilizar materiales con mayor cantidad nitrógeno en su composición, de tal forma que el nitrógeno total en la mezcla no rebase el 2% y preferible que sea entre 1.6% y 1.8%.

Con el objeto de encontrar una formulación adaptada a condiciones locales, Fernández (2005) propone otra forma práctica para preparar cualquier cantidad de composta; para luego hacer los ajustes que correspondan según los resultados. El criterio consiste en establecer la relación porcentual de las materias primas consideradas con su porcentaje de humedad natural, respecto al cien por ciento de mezcla húmeda, así: 46.2% de paja, 9.83% de pollinaza (5% de N), 5.58% de harinolina (7% de N) y 3.08% de yeso. Por ejemplo, para preparar 36 toneladas de compost con 72 por ciento de humedad, se requerirían: 16,632 Kg de paja, 3,539 Kg de pollinaza, 2,009 Kg de harinolina, 1,109 Kg de yeso (sulfato de calcio).

Con relación a la preparación de composta sintética, Albertó (1995), recomienda calcular la cantidad de aditivos sobre la base de la cantidad de paja de trigo que se utilice. En este sentido, para determinado peso húmedo de paja de trigo debe adicionarse de 1.5 a 2% de urea, 10% de arrancador (harinas o salvados de cereales), 20% de cama de pollo (O bien agregar 1.2 % de superfosfato tricálcico y 1% de urea) y 6% de yeso.

También se puede utilizar paja de arroz, estiércol de pollo, yeso y urea para elaborar composta sintética. En este caso, la paja de arroz es la principal fuente de carbohidratos

(celulosa, hemicelulosa, lignina). El material es firme y forma buena textura durante la fermentación, permitiendo buena aireación. También le confiere al compost la capacidad de retención del agua.

El estiércol de ave provee el nitrógeno y algo de carbohidratos. Se prefiere el estiércol de pollo (pollinaza) al de gallina (gallinaza) debido a que la pollinaza tiene menos humedad, importante para obtener una distribución homogénea a través del compost. Además, la gallinaza es un estiércol más grasoso y difícil de distribuir uniformemente. Las áreas grasosas son una fuente constante de amoníaco, factor negativo en el rendimiento del champiñón.

El yeso mejora la estructura del compost al reducir el contenido grasoso de la paja de arroz, incrementa la floculación de algunos químicos y estos se adhieren a la paja en lugar de llenar los poros entre las fibras. El efecto positivo de esto es un incremento de la capacidad de aireación en la pila del compost durante la fermentación. La exclusión del aire resulta en un ambiente que favorece la producción de sustancias químicas que afectan negativamente la selectividad del compost.

La urea se agrega a la pila del compost para estimular la actividad microbiana. La urea es la fuente inicial de nitrógeno del cual las poblaciones de microorganismos se alimentan. Es necesario aclarar, sin embargo, que algunos expertos no recomiendan el uso de este fertilizante.

Como resultado de algunas pruebas hechas en El Zamorano, se preparó compost agregando las cantidades que se muestran en el cuadro 6, con resultados de rendimiento exitosos.

Cuadro 6. Cantidad de materiales para elaborar composta, expresada en kilogramos.

Componente	Peso húmedo	Humedad (%)	Peso seco	Nitrógeno (%)	Peso de nitrógeno
Paja de arroz	1799	9	1,637.09	0.72	11.79
Pollinaza	900	12	792	2.82	22.33
Yeso	100	-----	100	0	0
Urea	22	-----	22	46	10.12
Total	2821		2551.09		44.24

Fuente: Muñoz (2006).

En 2,551.09 Kg de material seco, el total de nitrógeno corresponde a 44.24 Kg representando 1.73% de N. Para efectos de formulación de la composta, tener en cuenta también que la paja de arroz debe representar aproximadamente dos tercios del total del compost.

Es indudable la diversidad en criterios, materias primas y cantidades utilizadas para preparar la composta para el cultivo de champiñón. Consecuentemente, no es posible implementarlas al pie de la letra como receta de cocina, a menos que las materias primas fueran idénticas a las fórmulas anteriores, pero tan solo con considerar la variación en el contenido proteico de los materiales, las cantidades en los suplementos implican también variación. Siendo los ejemplos expuestos solamente una guía de cómo elaborar composta,

es preciso que quién emprenda la producción de champiñones, su principal misión sea la de encontrar su propia mezcla o fórmula, pues tanto los suplementos, el ambiente, personal y hasta el nombre de los suplementos cambian de una región a otra.

Los métodos de preparación del compost también suelen variar en función de la fórmula a utilizar y del sistema de producción. En los acápites siguientes, las fases compostaje se abordaran según lo recomendado por Muñoz (2006) y Vedder (1996) para elaborar compost sintético a partir de paja de arroz y en condiciones del sistema de producción monozona.

4.2 Fermentación libre

El proceso de fermentación libre conlleva la liberación y transformación de las materias nutritivas presentes en las componentes de la composta para que el champiñón pueda asimilarlas y aprovecharlas. Se le conoce como fermentación al aire libre por llevarse a cabo comúnmente en áreas descubiertas y porque en esta fase no existe una regulación en los procesos físicos, químicos y microbiológicos que ahí se presentan. El tiempo de duración puede variar entre 13 y 22 días dependiendo de los factores ambientales o calendarios de producción. Para lograr un compostaje adecuado de las materias primas durante esta etapa, se llevan a cabo dos maniobras: La fermentación en pila y la fermentación en cordón.

a) Fermentación en pila

Se realiza para mezclar los ingredientes de la composta, homogeneizarla, promover la actividad de microorganismos termófilos y lograr una humectación bien distribuida. Éste proceso de fermentación aeróbica ablanda la paja, destruyendo parcialmente la capa cérea y permitiéndole absorber significativa cantidad de agua en poco tiempo. El piso donde se prepara el compost debe ser de cemento y estar bajo techo. La capa de cemento se recomienda que sea aproximadamente de 10-15 cm de espesor y la superficie un poco rústica para que las personas que trabajan volteando el compost no se deslicen fácilmente. Hacia los lados debe de haber un drenaje para que el agua que escurra del compost se recolecte en un depósito y luego se riegue de nuevo al compost.

Con la paja disponible se hace una pila y se deja reposar por unos días, añadiendo suficiente agua para que de inicio la fermentación. Luego se agregan los demás ingredientes de la fórmula (excepto el yeso), mezclándolos uniformemente con la paja de arroz. Posteriormente a la suplementación, se revuelve la paja para su oxigenación y se continúa regando hasta obtener entre 70% y 72 % de humedad. Un método práctico para corroborar la humedad es apretar un puñado de compost con la mano, si fluyen gotas de líquido entre los dedos, el contenido de agua es próximo al 72%. La fermentación en pila tarda de 5 a 11 días aproximadamente y durante este tiempo se observan cambios importantes en la composta como: Altas temperaturas en el centro de la pila, fuerte olor a amonía, mayor docilidad de la paja, oscurecimiento del color de la composta y tamaño mas corto de las fibras.

b) Fermentación en cordón

Tres razones son las que sustentan la formación de cordones. En primer lugar, es la mayor facilidad en mantener una temperatura de 45 a 60° C para favorecer la actividad de microorganismos termófilos, la cual se genera por la combustión de carbohidratos lábiles.

Además, esta microflora (hongos, actinomicetos y bacterias) requiere oxígeno para seguir el proceso, por lo que es preciso asegurar que haya suficiente aireación. Otro motivo es porque al estar la composta en pila, se calienta más la que se encuentra en el centro, quedando las orillas bastante frías. Por ello se acordona la composta, esto es: se hacen hileras de 1.6 a 2.00 metros de ancho y alto, cuya longitud depende de cantidad de composta preparada.

Durante la fermentación la temperatura del compost se incrementan dependiendo de las capas. En la capa externa, la temperatura es de 30-32° C. En la segunda capa más interna es de 45° C. En la siguiente la temperatura alcanza de 70 a 75° C, y al centro inmediatamente sobre el piso, baja a 35° C. Esta última capa es una zona anaeróbica. Cuando la composta se ha fermentado durante algunos días, alcanzando de 65-75° C en casi todo el cordón, hay que voltearlo. Como la temperatura se eleva más en el centro del cordón, hay que procurar que la parte exterior ocupe el centro del nuevo cordón formado al voltear. La paja amarillenta demuestra una descomposición anaeróbica lo cual no es deseable. Esta paja, durante el volteo, debe de colocarse en la parte de arriba de la pila del compost. Se pretende obtener un producto tan homogéneo como sea posible, por lo que es preciso mezclarla cuidadosamente en cada vuelta. Generalmente se coloca el yeso en la parte superior del cordón para que se mezcle bien al procederse al volteo. Después se colocan los termómetros para revisar la temperatura y se protege con un insecticida. Para limitar al máximo la pérdida de calor y humedad, los volteos deber ejecutarse lo más rápido posible, sin descuidar por ello la calidad del trabajo.

En este sentido, los objetivos que se buscan con el volteo del cordón son: Homogeneizar la fermentación, elevar y redistribuir las temperaturas del sustrato, facilitar la suplementación, el chequeo de la temperatura y oxigenar la composta, es decir, se busca que tanto las actividades laborales como las actividades microbianas, sean eficientes (Fernández, 2005).

Se recomienda regar la paja seca expuesta al exterior, sin embargo, llegado a este punto hay que limitar al mínimo el aporte de agua, ya que de lo contrario podría hacerse pegajosa y grasienta, aumentando el riesgo de zonas anaerobias en el centro del montón, incluida la pérdida de nutrientes por lixiviación. Se debe revisar la temperatura y el contenido de humedad del compost. En fin, las actividades inherentes a la fermentación libre son:

- Día 1: Deshacer las pacas de paja de arroz para formar una pila compacta y agregar agua. Este agua se añade en parte mientras se forma el pila a razón de 600 a 1,000 litros por tonelada, según el grado de humedad de la materia prima.
- Día 3: Mezclar la paja de arroz con el 50 % de pollinaza y de la urea a utilizar. Dejar reposar y aplicar agua por tres días.
- Día 6: Mezclar con la paja de arroz, el 50% restante de pollinaza y urea. Regar la mezcla.
- Día 8: Revolver la pila de composta. Regar si es necesario.
- Día 10: Formar cordones sueltos y aireados. Mojar y apretar las paredes laterales.
- Día 13: Primer volteo. Regar si es necesario y aplicar un insecticida alrededor.
- Día 16: Segundo volteo. Agregar el yeso, disgregar, mezclar y rehacer el cordón. Regar si es necesario.
- Día 18: Tercer volteo.
- Día 20: Llenar el cuarto.

El Compost al final del proceso de fermentación libre debe reunir las siguientes características:

- El color debe ser café oscuro.
- Los pedazos de paja deben lucir húmedos, de 10 a 15 cm de largo, no son pegajosos y se pueden romper con algo de resistencia.
- Olor fuerte de amoníaco (600-800 ppm)
- El contenido de humedad de alrededor a 72%,
- Contenido de nitrógeno de 1.6 a 1.8 por ciento y pH de 8.2-8.5
- Temperatura de 65 a 75 grados centígrados
- Con manchas blanquecinas por la presencia de actinomicetos

La figura 37 muestra en la parte superior derecha paja entera recolectada del campo, luego los colores que va adquiriendo durante el proceso de compostaje con una semana de diferencia.



Figura 37. Izquierda: Fermentación en pila y en cordones. Derecha: Cambio en el color de la paja a través del proceso de fermentación libre (Fernández, 2005).

4.3 Fermentación controlada

A esta fase Fernández (2005), la denomina fermentación controlada precisamente porque a partir de este momento, la misma se lleva a cabo en un local cerrado con instalaciones especiales para chequear constantemente el proceso. Durante este proceso se realizan dos fases: Pasteurización y acondicionamiento de la composta. Para el caso de sistemas de producción plurizona, la fase controlada se lleva a cabo dentro de un local cerrado conocido como túnel de pasteurización. En el caso de sistemas de producción monozona, se realiza en la sala de fructificación. Para ello se emplean instrumentos que facilitan el control como: Termómetros de larga distancia, sistema central computarizado de monitoreo, ventiladores, detectores de amoníaco y sistemas de inyección de vapor.

El llenado de la sala de producción debe efectuarse tan rápido como sea posible para evitar pérdidas de calor y humedad del compost. Se trata de un trabajo relativamente incómodo, sobre todo en el sistema de producción monozona. Al momento de llenar las cajas, el compost, debe tener 72% de humedad, pH de 8.2 y 1.7 % de N. Cuando se coloca el compost en la caja debe quedar suelto y llenarlas hasta unos 15 cm arriba del nivel de la caja (figura 38). Esto permite una buena aireación, además, de que contrarresta

la pérdida de materia seca y por consiguiente de volumen durante la pasteurización. Esta merma en la cantidad de materia seca puede oscilar entre el 15 y 20 por ciento (Vedder, 1996).



Figura 38. Cajas llenas con compost al interior de la sala de fructificación previo a las fases de pasteurización y acondicionamiento (Muñoz, 2006)

a) Pasteurización

La pasteurización determina en gran parte los resultados del cultivo. El principio no es difícil, todo depende de la perfección de las instalaciones técnicas y de un riguroso control. Según Vedder (1996), la finalidad de la pasteurización es matar los organismos perjudiciales que se encuentran en el compost y en la sala de fructificación: Adultos, larvas y huevecillos de insectos, nemátodos, micelio y esporas de hongos no deseados. Estos organismos dañinos mueren generalmente a temperaturas superiores a los 55° C durante 12-16 horas. En este momento el grado de humedad es importante, la razón de esta condición es que algunos organismos perjudiciales se encuentran en estado de resistencia cuando se desecan, como los nemátodos en anabiosis. Por el mismo motivo es recomendable mojar toda la madera con agua, ya sea en cajas o en estantes, antes del llenado.

El uso de vapor constituye así una solución ideal. Cuanto más elevada es la temperatura, más puede acortarse la duración de la pasteurización. Puede mantenerse la temperatura del ambiente a 62° C durante algunas horas, sin que esto represente grandes inconvenientes. Temperaturas más altas no son necesarias, porque si se prolonga por mucho tiempo la temperatura en el ambiente de la sala por encima de 62° C, la microflora deseada se inactiva e incluso muere. Por encima de 65° C prácticamente no se encuentra ningún hongo o actinomiceto vivo en el compost.

Sobre la base de estos fundamentos teóricos, para proceder a la pasteurización se pone en marcha la calefacción inyectándose vapor. Una vez terminado el llenado, la temperatura del compost es de 30 a 45° C. Como la temperatura es más baja en el estante inferior, es preferible esperar varias horas antes de inyectar el vapor e intentar igualar las temperaturas con un fuerte reciclaje del aire. Luego la temperatura del ambiente se lleva y se mantiene a 57° C por 3-6 horas y es controlada por la circulación del aire. Durante la pasteurización, la diferencia de temperatura entre el aire y la del

compost debe ser aproximadamente de 10 grados, con temperatura más alta en el compost. El aumento gradual de la temperatura del compost se debe por una parte, al aumento de la temperatura ambiente y por otra, al incremento de la actividad de los microorganismos en el compost. Elevar la temperatura del compost espontáneamente, con una temperatura del aire de 57° C, se considera un factor positivo para incrementar el rendimiento de champiñones.

Algunas veces, pasadas varias horas de pasteurización, aparecen sobre el compost y en su interior formas algodonosas de micelio, se trata únicamente de hongos termófilos totalmente inofensivos que desaparecerán como llegaron, al disminuir la temperatura en la fase de acondicionamiento.

b) Acondicionamiento

Durante el acondicionamiento se realiza un proceso biológico por medio de la actividad de bacterias, hongos y actinomicetos termófilos, para lo cual la composta es llevada a condiciones que son óptimas para el desarrollo de este tipo de microflora. El objetivo es hacer el sustrato selectivo al crecimiento de los champiñones. En esta fase de tratamiento, la amonía se convierte a proteína y los carbohidratos fácilmente degradables disminuye a medida que avanza el proceso de fermentación dirigida y controlada.

Durante el acondicionamiento, las condiciones de vida se hacen cada vez más desfavorables para cierto grupo de organismo, y otro grupo va, poco a poco, tomando el relevo. Los organismos se suceden como sigue: bacterias, actinomicetos y hongos termófilos, lo que quiere decir, que esta última fase de la fermentación controlada, se desarrollará mejor a temperaturas del compost que vayan bajando de 57 a 48° C, a razón de 1.5 a 2° C por día. Habitualmente la duración total de la fase de fermentación controlada es de 7 a 10 días.

El compost cambiará rápidamente hacia el final del acondicionamiento, tomando un color blanquecino (figura 39), debido a actinomicetos y hongos termófilos. Cuando el compost esté listo hay que bajar la temperatura de 48 a 25° C lo más rápidamente posible. Conveniente regar la superficie del compost antes de bajar la temperatura para evitar la desecación y favorecer el rápido enfriamiento. Si no puede sembrarse inmediatamente, conviene mantener la temperatura a 45° C. El manejo de la temperatura ambiental dentro de la cámara de fructificación durante esta fase se resume de la siguiente manera:

Día 1: Llenado de las cajas, luego mantener a 45° C.

Día 2: Elevar la temperatura hasta 57 grados centígrados y mantener durante 3 a 6 horas (durante este período se lleva a cabo la pasteurización), luego disminuir a 54° C.

Día 3: Continuar con 54 ° C.

Día 5: Reducir a 52° C

Día 6: Disminuir a 50° C

Día 7: Reducir a 48° C

Día 8: Disminuir rápidamente a 25° C

Día 9: Siembra

Las características requeridas del compost después del proceso de fermentación controlada, justo antes de la siembra del champiñón son: Color cafés oscuro, las fibras se rompen fácilmente y se siente suave al tacto, de 65-68% de humedad, pH de 7.5, sin olor

a amoníaco (1-5 ppm), las manos al contacto se mantienen limpias y secas, se observa una película azulada húmica y manchas blancas de actinomicetos.



Figura 39. Aspecto del compost al final de la fase de fermentación controlada (Muñoz, 2006)

5. Siembra

Después de la fase de fermentación controlada se debe sembrar lo más pronto posible en el compost selectivo. Si ocurre tardanza el compost podría infectarse y perder su selectividad. La dosis de semilla para la siembra es de 5 kilogramos por tonelada (0.5% del peso húmedo de la composta) o 6 litros por tonelada de compost fresco, al usar micelio líquido.

Obviamente, el champiñonista debe tener en su poder el inóculo al momento de sembrar una sala de cultivo. La semilla debe encontrarse almacenada a 4° C para que no sufra alteración alguna, por lo que es conveniente que esta sea retirada de la cámara frigorífica un día antes de la siembra para desencadenar la actividad del micelio. Vedder (1996), recomienda desmenuzar el inóculo cuyos granos estén soldados, unos días antes de la siembra para permitir que las hifas deterioradas tengan tiempo de recuperarse previo a la siembra.

La siembra se debe hacer mezclando homogéneamente la semilla a través de todo el perfil del compost. Esto permite que el micelio del hongo crezca lo más pronto posible. La temperatura de la composta puede oscilar entre 20°-24° C al momento de sembrar. Después de mezclar la semilla con el compost se procede a compactar el compost de manera que quede a 2.5 cm debajo del nivel de la caja. El micelio crece mejor en compost compactado que en compost suelto. Después de la siembra se debe colocar un plástico o papel periódico para que proteja la semilla y conserve la humedad (Muñoz, 2006).

6. Incubación

Durante el crecimiento del micelio la susceptibilidad al ataque de patógenos y el riesgo de proliferación de plagas es alta. La higiene es importante para prevenir las plagas y enfermedades. Durante el crecimiento del micelio la humedad relativa se debe mantener entre 90-95%. Para lograrlo, pueden mojarse el papel periódico de cobertura y el piso de la cámara de producción. Durante el crecimiento del micelio la temperatura deberá oscilar entre 24 y 26° C. Temperatura mayor a 30° C es letal para el micelio. La iluminación es innecesaria, en general se incuba en oscuridad (Argueta, 2004)

Cuando el micelio del hongo esta creciendo aumenta la temperatura del compost debido a su actividad, aunque en parte se disipa debido al vapor de agua, siempre es necesario el monitoreo. Se recomienda mantener 2 grados de diferencia entre la temperatura del aire y del compost. Para favorecer el crecimiento del micelio, se requiere que la concentración CO_2 se incremente a 3%, por ello no debe existir ventilación de aire fresco. Trece a quince días después de la siembra, el compost esta completamente colonizado. El compost esta blanco por el micelio y esto indica que se puede poner la tierra de cobertura (figura 40).



Figura 40. Colonización del micelio a los 5 días de la siembra y cuando ha cubierto completamente el sustrato (Regés, 2004)

6.1 Sustrato de cobertura

Comúnmente se le conoce como cobertura a una combinación de musgo peat moss (2.6 m^3) y carbonato de calcio (800 Kg), para obtener un pH cercano al neutro. El champiñón normalmente no se desarrolla sobre la composta sin capa de cobertura debido a una humedad insuficiente y a una concentración alta de sales solubles (Toovey, 1987). Por otro lado, la función de la cobertura ha sido plenamente definida como el material para inducir una mayor producción de carpóforos (Flegg y Wiley, 1987).

El material a utilizar para cobertura debe de reunir algunos requerimientos. El pH óptimo para el crecimiento del hongo es entre 6.7-7.7. El material de cobertura debe de tener un contenido bajo de carbohidratos de fácil descomposición para evitar el crecimiento de otros microorganismos, alta capacidad de retención de humedad y textura liviana y suelta para prevenir altas concentraciones de CO_2 durante la fructificación y la cosecha (Muñoz, 2006)

El sustrato de cobertura se desinfecta con formalina, aplicando una dosis de 0.5 litros (al 40%) por metro cúbico, disuelta con suficiente agua para humedecerlo hasta tener una estructura grumosa. La mezcla se cubre con plástico y se deja así por dos días. Un día antes de colocar el sustrato de cobertura se destapa y se revuelve para evacuar los vapores de la formalina. En este momento se le agrega el carbonato de calcio para que el sustrato de cobertura alcance el pH requerido. Esta desinfección también puede hacerse con vapor de agua, durante 2 horas, a una temperatura de 60 a 65 grados centígrados (Fernández, 2005).

Para colocar el sustrato de cobertura se usan anillos para nivelar el compost de las cajas. La capa de cobertura debe tener un espesor de 4 cm. Después de colocada, el micelio

empieza a colonizar la capa de cobertura, momento en el cual se inicia con la aplicación de riego. Se aplica a razón de 1 l/m² pero a medida que la colonización avanza, se aumenta hasta 4 l/m².

6.2 Rastrillado de la cobertura

El rastrillado es la práctica de mezclar la capa entera de cobertura junto con el micelio que se encuentra allí. El objetivo de esta práctica es mejorar la estructura haciéndola más grumosa y abierta para aumentar el intercambio de CO₂, consecuentemente promoviendo la formación de primordios (Muñoz, 2006). También se obtiene uniformidad en el crecimiento de carpóforos ya que fragmenta el micelio y se redistribuye en toda el área superficial de las cajas. El resultado de esta práctica también es un incremento en el rendimiento.

El momento oportuno para realizar el rastrillo es cuando el micelio ha colonizado las 3/4 partes del espesor de la capa de cobertura. Para realizar esta práctica se utiliza un artefacto en forma de peine y manufacturado con clavos cuya longitud sea igual al espesor de la capa de cobertura. Luego del rastrillado, la superficie debe quedar nivelada. Agregar 1 l/m² de agua en el caso que haya necesidad.

Desde el momento en que se aplica la capa de cobertura a aquel en el que se realiza la inducción habrán transcurrido de 14 a 16 días. En este intervalo de tiempo, es común que en los últimos cuatro días la temperatura ambiente del cuarto y del sustrato tiendan a elevarse a 28° C. Esta tendencia favorece al siguiente paso a seguir, porque al bajar la temperatura mediante ventilación para inducir la fructificación, la diferencia de temperatura es mayor y el efecto de formación de primordios es mucho mejor (Fernández, 2005).

7. Fructificación

El micelio se recupera al siguiente día después del rastillado, el micelio comienza a crecer otra vez. Dos días después, cuando el micelio se localiza en la superficie de la capa de cobertura, se procede a la inducción. La inducción se refiere al momento en que el micelio pasa de un estado vegetativo a un estado productivo. Es conocido también como “termoshock”, “iniciación” o “Flush”.

Para que esto suceda es necesario disminuir la humedad relativa a razón de 10 puntos porcentuales de 95 a 85% ó de 90 a 80% por ejemplo, la temperatura del cuarto de 28° C a 16° C (15-18° C) y el porcentaje de CO₂ a la mínima concentración. Los cambios registrados en estos tres factores inducen al hongo a formar primordios, que luego se transforman en los champiñones. Proveyendo ventilación se logra disminuir la concentración de CO₂ en cuestión de minutos. Por su parte, la temperatura del compost debe descender gradualmente, lo cual puede demorar de 2-4 días.

Si el micelio continúa creciendo después del descenso en los factores ambientales se recomienda dar un riego con nebulizador para no dañar el micelio. De igual forma habría que proceder en el caso que sea notorio el déficit de humedad en la superficie del sustrato. Los riegos pueden realizarse aplicando de 1-2 l/m² hasta tres días antes de la cosecha (cuando la formación de primordios es dispersa), procurando que se ventile todo el tiempo; de no hacerse así aparecerán enfermedades bacterianas que manchan y merman considerablemente la producción (figura 41).



Figura 41. Pérdida de calidad en los carpóforos debido a manchas provocadas por exceso de riego y deficiente ventilación durante la fructificación (Fernández, 2005)

La respuesta del micelio al cambio de las condiciones ambientales es instantánea, pero los primordios (pequeños nódulos de color blanco) empiezan a observarse sobre la superficie del sustrato a los 4-5 días de la inducción (Figura 42). Al cabo de 11 días podrá tenerse la primera cosecha u “oleada” como se le conoce coloquialmente entre los productores.



Figura 42. Izquierda: primordios. Derecha: carpóforos de champiñón de la primera oleada (Fernández, 2005)

8. Cosecha

8.1 Condiciones ambientales

Mientras dure la cosecha se precisa ventilación para mantener baja la concentración de CO_2 en la sala de fructificación. Altas concentraciones de CO_2 en las salas de fructificación tienen influencia desfavorable sobre la forma de los champiñones que se están desarrollando, se tornan ligeros, flojos, con el estípite más alargado que lo normal y pileo pequeño que se abre rápidamente (Vedder, 1996).

La cantidad de aire fresco depende esencialmente de la cantidad de champiñones en el cultivo y de la temperatura. Según Vedder (1996), la producción de CO_2 aumenta aproximadamente un 20% por cada grado de aumento de la temperatura del compost, por encima de los 16°C . Para ello, dice que una producción óptima, tanto en cantidad como en calidad, necesita un movimiento de aire de 10 a 20 m^3 por m^2 por hora. No se recomienda aplicar riego a champiñones adultos. Es más, el riego en este momento no

tendría que ser necesario, pues demostraría que el efectuado hasta entonces ha sido insuficiente. La falta de humedad también provoca alargamiento del estípite del champiñón, por la producción de CO₂ registrada inmediatamente después de la aplicación de riegos tardíos. Los granos de la segunda oleada ya están formados cuando se cosecha la primera (figura 42) y van a necesitar humedad. Por ello se riega nuevamente tan pronto como la primera oleada haya sido cosechada.

8.2 Distribución de la cosecha

La cosecha se realizará tomando en cuenta factores como madurez, tamaño y calidad. Se cosecha dándole una vuelta, halando y cortando con navaja pequeña filosa. La parte del estípite y micelio que quedan con residuos de sustrato se corta con navaja. Se toma con la mano izquierda y se corta el estípite con la mano derecha. El champiñón debe estar lo más limpio posible (Muñoz, 2006).

Una vez iniciada la primera oleada, se recolectan los champiñones y luego se detiene prácticamente. Entre tanto se van desarrollando nuevos primordios que al cabo de varios días la producción alcanza un nuevo máximo. La primera, segunda y tercera oleadas son las más importantes, después los máximos y la producción total disminuyen poco a poco, de manera que el 70% de la producción total se recoge en las primeras tres oleadas, pudiéndose registrar hasta seis. El número de días que separa dos oleadas es de 7 a 10 días. Durante la cosecha se requieren locales bien iluminados con lámparas fluorescentes verticales distribuidas uniformemente y paredes pintadas de blanco, para facilitar las labores del personal (Vedder, 1996).

La duración de la cosecha más económica está determinada principalmente por la marcha de la producción, dependiendo en parte, del esquema de cultivo, del sistema de producción elegido y las variedades del hongo. Por ello, el comportamiento de la cosecha y de las oleadas, difiere de una explotación a otra. En principio será necesario calcular la duración óptima de la cosecha para cada champiñonera con base a criterios bien definidos entre los cuales podrían estar el momento en el que se alcanza determinado porcentaje de rendimiento total o la incidencia de enfermedades, por citar algunos.

La reducción del período de cosecha tiene la ventaja de disminuir los riesgos de toda clase de enfermedades, que suelen manifestarse con más incidencia y severidad en las últimas semanas de cosecha. La marcha media de las oleadas para una variedad precoz puede distribuirse en el tiempo como se indica en el cuadro 7.

Cuadro 7. Distribución de la cosecha de champiñón en el tiempo

Tiempo		Rendimiento (Kg/m ²)*		Porcentaje	
Semana	Días	Relativo	acumulado	Relativo	Acumulado
Primera	5	3.8	3.8	22.35	22.35
Segunda	7	5.5	9.3	32.35	54.70
Tercera	7	3.2	12.5	18.82	73.52
Cuarta	7	2.2	14.7	12.94	86.46
Quinta	7	1.4	16.1	8.24	94.70
Sexta	7	0.9	17	5.30	100
TOTAL	40	17	-----	100	-----

Fuente: Vedder (1996). (*) Hongos frescos y cortados.

El período de cosecha determina la duración del ciclo del cultivo, pudiendo ser hasta de 13 semanas. Para un total de 40 días de cosecha con el sistema de monozona, el ciclo de cultivo dura alrededor de 84 días (12 semanas). En el cuadro 8 se resume la duración de cada una de las fases que conlleva el cultivo de champiñón.

Cuadro 8. Duración del cultivo de champiñón

Fase del cultivo	Descripción	Tiempo en días
Acondicionamiento de salas	Desinfección y vaciado del ciclo anterior	3
Preparación del sustrato	Fermentación libre	20
	Llenado y fermentación controlada	10
Siembra e incubación	Siembra y colonización	12
	Cobertura y rastrillado	14
Fructificación	Inducción - apareamiento de primordios	5
Cosecha	Primordios - primera cosecha	5
	Hasta la sexta cosecha	35
TOTAL		104

Fuente: Vedder (1996).

Como se puede observar, el total de días corresponde a 104, pero dado que el período de fermentación libre transcurre en forma paralela y sincronizadamente previo a la finalización del ciclo anterior, prácticamente el ciclo de cultivo resulta ser de 84 días (104-20 días). Ante esta situación, para un ciclo de cultivo de 84 días siguiendo el sistema de monozona clásico, se pueden hacer 4.3 ciclos del cultivo al año en la misma sala de fructificación.

8.3 Parámetros de calidad

Para que la presentación de los champiñones frescos expedidos a los consumidores corresponda a su gusto y preferencias, es preciso que reúna ciertas condiciones. Estas difieren mucho entre países. Los champiñones cortados o no cortados del pie pueden ser abiertos o cerrados. Los cerrados son aquellos cuyo sombrero es esférico y el velo está sin desgarrar. Por el contrario, los champiñones abiertos son aquellos cuyo himenio está extendido o plano, pero con cierta curvatura hacia abajo. Normalmente los tamaños del champiñón en Guatemala son: chico, mediano, grande y abierto, mientras que en E.U.A. son: botón, chico, mediano grande, extra-grande y abierto.

En el mercado francés por ejemplo, apenas se tiene predilección por los champiñones abiertos aunque sólo sea ligeramente, mientras que en ciertas regiones de Gran Bretaña son muy apreciados. Según Vedder (1996), en países europeos como Holanda los champiñones abiertos se consideran de primera. La menor preferencia de los hongos abiertos está influenciada por empresas productoras de los Estados Unidos, aunque en realidad, no hay una razón plena del porque considerarlos de segunda clase, al contrario, son mucho mejor para los platillos y para ahorro del bolsillo (Fernández, 2005).

Por experiencia personal dice Fernández (2005), recomendando los hongos abiertos por las siguientes razones:

- El sabor es mucho más fuerte y definido por la maduración de las esporas, por lo tanto rinden mucho más para las cremas, ensaladas o demás platillos
- Al estar abiertos, los hongos pesan menos debido a la pérdida de agua por evaporación y por lo tanto se compran mas champiñones por kilogramo. Considerando

que el champiñón es 89% agua, digamos que compramos menos agua.

- Respecto al color oscuro que va adquiriendo, es solamente oxidación natural y por no estar en recipientes o lugares con las condiciones de temperatura adecuados, pero no pierde ninguna de sus propiedades. Quienes saben esto ahora prefieren hongos abiertos.

Las normas de calidad se refieren a las cualidades que deben presentar los champiñones para su comercialización. En este sentido deben estar:

- Intactos (Los champiñones con el pie cortado se consideran intactos), con aspecto fresco, turgentes y no untuosos o pegajosos.
- Sanos, exentos de daños causados por enfermedades, insectos u otros parásitos.
- Exentos de cuerpos extraños distintos al substrato de cobertura, vestigios visibles de productos químicos, olor y sabor extraños.
- Desprovistos de humedad externa anormal y secos si han sido lavados

Por otro lado el calibre del champiñón se determina con el diámetro del himenio y la longitud del estípite, según las especificaciones mostradas en el cuadro 9.

Cuadro 9. Clasificación del champiñón según el tamaño del himenio y el estípite.

Tipo	Tamaño	Diámetro del himenio	Longitud del estípite
Cerrados	Pequeño	15-35 mm	20 mm
Abierto	Pequeño	20-35 mm	20 mm
Cerrado	Mediano	30-50 mm	25 mm
Abierto	Mediano	30-65 mm	25 mm
Cerrado	Grande	45 ó más	30 mm
Abierto	Grande	60 mm ó más	30 mm

Fuente: Vedder, 1996.

En cuanto al embalaje y la presentación, los champiñones contenidos en cada envase deben ser de la misma categoría, calibre, origen, variedad y sensiblemente del mismo estado de madurez, desarrollo y color. En algunos países es prohibido el camuflaje, es decir, que la parte visible del producto debe representar la medida del contenido del embalaje. El embalaje debe asegurar una protección conveniente del producto. Las etiquetas con la identificación, naturaleza del producto, origen del producto, vencimiento y demás especificaciones comerciales deben estar impresas con tinta y adheridas con pegamento inocuo.

8.4 Manejo de poscosecha

Si no se toman medidas del caso, los champiñones únicamente se conservan algunos días. Cuando la temperatura se eleva, la calidad se deteriora rápidamente; los champiñones se ablandan, oscurecen y se abren. El manejo de poscosecha del champiñón tiene como objetivo eliminar las calorías producidas debido a la respiración, destruir los microorganismos y detener los procesos enzimáticos. Para ello se utiliza la refrigeración y distintos métodos de conservación.

a) Refrigeración

Al momento de estar cosechando los champiñones, es importante que se trasladen rápidamente a la cámara frigorífica para frenar la oxidación del producto debido a los

procesos de respiración del hongo. Para ello las canastas con hongos se colocan en una cámara de enfriamiento al vacío donde la temperatura se disminuye rápidamente a 2° C con el objeto de eliminar la producción de calorías. Una vez logrado esto se trasladan a otro cuarto frío donde se mantendrán almacenados a 4° C. Esta operación garantizará que la vida de anaquel se prolongue y que además soporten más el manipuleo durante el almacenamiento y transportación.

Es importante chequear constantemente la temperatura en los cuartos fríos para evitar el deterioro del producto debido al aumento de la temperatura. El daño más frecuente ocasionado al producto en esta etapa se da cuando los difusores se congelan, provocando goteos y salpicaduras que manchan el tejido superficial del hongo (Fernández, 2001).

Una vez frenada la oxidación del producto por medio de la refrigeración, la cual puede durar algunas horas, se proceda al empaque. Al momento de estar empacando el champiñón, éste se va pesando y seleccionando según los pedidos o requerimientos del mercado. Por tal motivo es de ayuda que al momento de cosecharse se seleccionen y clasifiquen correctamente para que el manipuleo durante el empaque sea mínimo.

Normalmente el embalaje del champiñón para la venta en fresco, consiste en bandejas de poliestireno o unigel (poliestireno expandido), cubierta con film (plástico transparente), cuyo peso neto de producto oscila entre 227 y 454 g para champiñón blanco y de 300-450 g para Crimini, ya sea entero o laminado (tajado).

b) Métodos de conservación

En cualquier método de conservación, el producto sufre un tratamiento para evitar la degradación provocada por microorganismos y enzimas. Según Vedder (1996), para champiñones se utilizan entre otros métodos de conservación, los siguientes: desecación, liofilización, congelación y apertización.

▪ Secado

El desarrollo de los microorganismos necesita cierta cantidad de agua. Si esta cantidad es inferior a cierto mínimo, la multiplicación y consecuente degradación no puede tener lugar. El secado es un método poco empleado para el champiñón. La operación se efectúa aumentando lentamente la temperatura y con fuerte circulación de aire entre 60 y 70° C, hasta que la humedad desciende al 10%.

▪ Liofilización

Industrialmente, la liofilización parece ofrecer actualmente posibilidades mucho más interesantes debido a que los procesos microbianos y enzimáticos son detenidos instantáneamente por la congelación ultrarrápida que precede al secado al vacío. El producto no puede cambiar de color durante el proceso, tiene una calidad excelente y se presta muy bien a cualquier tratamiento posterior con vista a preparar sopa de champiñón en sobres, por ejemplo. Las instalaciones para liofilización son onerosas.

▪ Congelación

En este caso se baja la temperatura a -20 grados centígrados. La multiplicación de los microorganismos se detiene, pero no mueren. Para que los champiñones conserven su color blanco se blanquean con agua hirviendo que contenga de 0.01 al 0.2% de ácido

cítrico, durante 2-5 minutos. El blanqueado previo inactiva las enzimas y destruye los hongos y levaduras. El proceso es simple: los champiñones blanqueados y escurridos se congelan con un chorro o pulverización de nitrógeno líquido. Una vez el producto es descongelado, los microorganismos no destruidos se multiplicarán con rapidez. Este método tiene el inconveniente de implicar elevados gastos de almacenamiento y transporte a baja temperatura.

- **Apertización**

Para la conservación clásica (apertización), los champiñones son separados por calidades y se lavan. Luego se procede al blanqueado. El blanqueado (precocción) se realiza sumergiéndolos durante 4 a 8 minutos en una solución al 0.05% de ácido cítrico y 1% de sal de cocina en estado de ebullición. Con ello se pretende saturar con agua el espacio poroso de los hongos e inactivar las enzimas.

Luego, los champiñones escurridos son clasificados para proceder al envasado, relleno según el peso neto (600 g normalmente) y cierre hermético. El jugo para relleno es una solución de agua con 15 g de sal y 1 g de ácido cítrico por litro. Este se calienta a 90° C y se añade a los champiñones envasados. Inmediatamente después son sometidos a un proceso de esterilización con vapor en autoclave a 116° C, durante 20-40 minutos dependiendo de la presentación del producto. Después de la esterilización, se enfría rápidamente el contenido del autoclave de manera que la temperatura del producto descienda a 35° C antes que los botes sean retirados del autoclave; esto para evitar la germinación de esporas termófilas que puedan aún estar presentes y detener transformaciones químicas indeseables. Cuando los botes han sido esterilizados y enfriados, la condensación del vapor de agua crea un vacío en el bote, de forma que la tapa tiende a curvarse hacia el interior.

8.5 Indicadores del rendimiento

Los indicadores de rendimiento se refieren a los datos cuantitativos del total de masa fúngica obtenida al final de un ciclo de producción, que cumple con los parámetros de calidad establecidos para el champiñón. Los indicadores son una medida de eficiencia de biocorversión alcanzada por el hongo y de la productividad del sistema de producción, en función de los factores como: infraestructura, capital, la calidad del sustrato, la experiencia en el cultivo, nivel tecnológico aplicado, el material genético utilizado, etc. Estos aspectos que en general definen las condiciones en que se lleva a cabo el proceso, pueden variar de una región a otra, sin embargo, lo ideal es producir más con el mínimo de costes monetario, ambiental y social.

Los índices de incidencia y severidad de plagas y enfermedades, el peso de masa fúngica no utilizada debido al corte del estípote (15-18%), por ejemplo, son dos aspectos que merma la cantidad del producto final comerciable por un lado y consumible por otro; que sin duda son resultado de la interrelación de los factores de producción enlistados. Al respecto cabe recordar al lector, que la calidad y la cantidad de ventilación en las salas de fructificación influyen en la longitud del estípote del champiñón y constituye un factor ambiental directamente relacionado con la diseminación y regulación del crecimiento de plagas y enfermedades que se indicarán en la siguiente sección.

Comúnmente, el rendimiento en el cultivo de champiñón se expresa en kilogramos de

producto por unidad de área, análogo al utilizado en la producción de hortalizas; o bien, en kilogramos por bolsa, relativo al Sistema de Producción Francés. De esta cuenta se tienen diversidad de referentes, que van desde 5 hasta 43 kg/m² (peso de champiñones cortados por unidad de área). Si bien esta forma de expresar el rendimiento es la más utilizada, no constituye la mejor forma de hacerlo cuando se trata de evaluar y hacer comparaciones de productividad de un sistema de producción en particular respecto a otros, dada la diversidad de condiciones en la que se puede desarrollar el cultivo. De hecho, el rendimiento por metro cuadrado nos sirve únicamente para comparar resultados de dos explotaciones idénticas, al menos siguiendo el mismo sistema de producción (Vedder, 1996).

Ello no debe causar ninguna sorpresa, porque al expresar en rendimiento de esta manera, se soslayan variables como el peso específico y el porcentaje de humedad del sustrato, la cantidad de compost por metro cuadrado (debido al volumen de los contenedores), el número de oleadas recogidas durante la cosecha y la precocidad de la cepa, que inevitablemente restan precisión para fines comparativos y análisis económicos.

Al respecto Vedder (1996) indica que hay estrecha relación entre el rendimiento y la cantidad de materia seca utilizada, de manera que el rendimiento teórico de 1 Kg de champiñones cortados por kilogramo de materia seca del compost en el llenado, parece ser el máximo que puede esperarse. Un buen cultivador, en la práctica será capaz de alcanzar un rendimiento medio de 0.8 Kg de champiñones cortados por kilogramo de materia seca. Hay que añadir que durante el compostaje se produce pérdida de materia seca (MS) y agua, que se evapora por el calentamiento y los procesos de respiración, el cual puede oscilar aproximadamente entre 15 y 20% del peso de la mezcla previo al compostaje.

Del mismo modo indica Vedder (1996), sobre una capa de compost espesa pueden crecer más champiñones que sobre una delgada. Por ello, la cantidad de metros cuadrados de cultivo que pueden cubrirse por tonelada depende del sistema de producción: capa ligera en plurizona y capa espesa en monozona. El cuadro 10 da una idea de la relación entre el consumo de compost, la materia seca y el rendimiento para 60 metros cuadrados del cultivo.

Cuadro 10. Relación entre el consumo de compost, materia seca y el rendimiento.

Compost húmedo (Kg)	Compost húmedo al llenado (kg/m ²)	Humedad del compost (%)	Pérdida de MS seca (%)	MS después de pasteurizar (kg)	Hongos frescos cortados (kg/m ²)	EB (%)
4200	70.00	75	20	14.00	5.00	35.71
4480	74.67	73	19	16.33	13.00	79.61
6880	114.67	72	18	26.33	21.00	79.76
8730	145.50	70	17	36.23	29.00	80.05
9505	158.42	68	15	43.09	35.00	81.23
11525	192.08	68	14	52.86	43.00	81.34

Fuente: Vedder (1996).

Con base al análisis de los datos del cuadro anterior que representan diferentes escenarios de sustrato-producto, tiene ventaja utilizar la eficiencia biológica (EB) en lugar de la unidad de peso por unidad de área para expresar el rendimiento de masa fúngica en

la producción de champiñón. Al parecer un rendimiento de 5 kg/m² es diferente a 13 kg/m², no obstante una variación de 13 a 29 kg/m², podría reflejar eficiencias biológicas equivalentes.

Otro indicador del rendimiento es la tasa de productividad (Sánchez y Royse, 2002) que relaciona la eficiencia biológica y el tiempo en días para completar un ciclo del cultivo. Sin embargo, a criterio personal, también es ventajoso calcular la razón de producción (Rp) que resulta de dividir el peso de hongos frescos cortados y los días que conlleva un ciclo de cultivo (kg/día), porque permite evaluar la precocidad del material genético, la eficacia del número de oleadas aprovechadas y del sistema en general en función del tiempo. La razón de producción (Rp) se refiere a la cantidad (peso) de biomasa fúngica cosechada por cada unidad de tiempo (día) empleado para producirla. La Rp se calcula dividiendo la cantidad de hongos frescos cosechados y en tiempo transcurrido desde la inoculación del sustrato hasta la finalización del período de cosecha, así:

$$Rp(\text{kg/día}) = \frac{\text{Peso de hongos frescos (kg)}}{\text{Tiempo en días (inoculación - cosecha)}}$$

La Rp junto a la EB son dos características del potencial genético de la cepa, que al compararse con los obtenidos en la explotación, ofrecen criterios de evaluación de la efectividad del proceso productivo. Otros parámetros que si bien no tienen utilidad para estimar el rendimiento, pero que pueden proveer criterios para explicar los niveles de rendimiento alcanzados son: la razón de la biomasa producida respecto a la cantidad de materia seca consumida, el porcentaje de pérdidas por el corte del estípite, porcentajes de incidencia, severidad de plagas y enfermedades u otros asociados a estándares de calidad que afectan la cantidad total de hongos comercializables.

9. Vaciado de las salas de producción

Se vacían las salas de producción al cabo de 5-6 semanas de cosecha, según el programa de cultivo. Antes de vaciarla se trata con todo su contenido con vapor. Debe mantenerse una temperatura de 70° C durante 12 horas por lo menos. Este tratamiento al vapor va dirigido especialmente a inactivar enfermedades, nematodos, ácaros, larvas de moscas, hongos y sus esporas. Para suavizar el desgaste de la infraestructura es recomendable calentar y enfriar gradualmente. Una vez enfriada y vaciada la sala de fructificación, la madera es tratada con pentaclorofenato de sodio u otro producto para conservar la madera en buen estado.

Según Vedder (1996), el compost residual de champiñón contiene una media de 0.6% de nitrógeno, 0.6% de fósforo, 0.80% de potasa y 6% de carbonato cálcico, expresado en porcentaje sobre materia húmeda. El contenido de materia orgánica es de 20% y el de cenizas oscila alrededor de 18 a 25%. Esta composición hace que tenga valor para la agricultura, sobre todo porque es fácilmente desmenuzable, lo que permite su fácil manejo e incorporación al suelo. Hay que recordar que tiene un efecto alcalinizante debido a la adición de caliza al compost y al material de cobertura.

También se ha comprobado que el compost intensamente invadido de micelio puede frenar el crecimiento de las plantas jóvenes cuando se incorpora inmediatamente al suelo antes de la siembra o el trasplante. Este efecto parece estar provocado por los metabolitos

segregados por el micelio de champiñón. Por todo ello es conveniente continuar la degradación del compost durante cierto tiempo. Al aplicar el residual de champiñón al suelo sin previamente haber sido tratado con vapor al final de la cosecha y sin continuar la degradación durante algún tiempo; puede contener nemátodos que aplicado previa a la siembra o el trasplante provocará retraso en el crecimiento de las raíces y un rendimiento inferior en algunas hortalizas.

10. Plagas y enfermedades

Como todo cultivo el champiñón también padece ciertas enfermedades y parásitos. Generalmente las enfermedades están provocadas por hongos y bacterias. Los parásitos pueden ser moscas, ácaros y nemátodos. Respecto a las plagas y enfermedades se espera que en la pasteurización hayan sido eliminadas por completo; sin embargo, los riesgos de contaminación y apareamiento de plagas luego de la pasteurización son altos, particularmente de hongos patógenos, cuyas esporas infinitamente más pequeñas que larvas o nemátodos, favorecen su diseminación. Una forma eficaz de evitar los problemas es prevenirlas.

10.1 Estrategias preventivas generales

Las plagas y enfermedades pueden prevenirse colocando trampas para moscas, ya sea para monitorear la población o contrarrestarla, así como telas o mallas mosquiteros en las ventanillas de los cuartos de cultivo, túnel de pasteurización, sala de siembra, etc. Uso de guantes plásticos en algunas labores, equipo y ropa de trabajo adecuada, desinfección de herramientas y materiales con formol, cloro o alcohol, manejo de residuos de estiércol, compost, champiñones y capa de cobertura, etc.

Realizar desinfección de locales vacíos entre un ciclo de cultivo y el siguiente. Después del vaciado de las salas y una vez limpias, asperjar sobre pisos, paredes, techos y alrededores de las instalaciones; soluciones de formaldehído (40%), glutaraldehído, ortofenilfenol (9%), compuestos de cobre (oxicloruro de cobre, oxinato de cobre, sulfato de cobre) o hipoclorito de cobre. Utilizar 7.5 litros de formaldehído comercial en 100 litros de agua o 2.5 litros de hipoclorito de sodio en 100 litros de agua. En el caso de los demás productos seguir las especificaciones del fabricante (Arzac, 2004).

Ventilar únicamente con aire fresco filtrado durante el período de acondicionamiento y durante el cultivo, intentando mantener cierta sobre-presión en los locales para que no pueda entrar ningún germen por las puertas, aberturas, etc. Esta medida debe observarse rigurosamente, sobre todo en el enfriamiento que sigue a la fermentación controlada y durante la siembra; en estos períodos, las puertas deben mantenerse cerradas en cualquier circunstancia (Vedder, 1996).

10.2 Plagas

- a) Según Regés (2004), los ácaros comúnmente encontrados provocando daño son:
- *Tyrophagus* sp y *Caloglyphus* sp. Son pequeños ácaros blanco-amarillentos que producen cavidades irregulares de consistencia húmeda en el estípite y pileo.
 - *Tarsonemus* sp. Son ácaros de color castaño (Figura 43) que destruyen las uniones del micelio con el estípite.
 - *Laelaptidas* sp. Son ácaros rapaces que se nutren de colémbolos, pequeñas larvas de moscas y otros ácaros que encuentran en el cultivo.

- Pygmefóridos como: *Pygmaeophorus stercoricola*, *Brennandania lambi*, *Brennandania mesembrinae* y *Brennandania sellnicki*. Se nutren del micelio de los hongos competidores del champiñón. No atacan al champiñón, pero deterioran su calidad.

Para evitar ataque de ácaros, deben controlarse las poblaciones de dípteros y la incidencia de *Trichoderma*. El control puede realizarse regando formaldehído (40%) sobre el suelo de cobertura, aplicando 75 cc de producto comercial en un litro de agua (Arzac, 2004).



Figura 43: *Tarsonemus* sp., (Arzac, 2004)

b) En el cultivo de champiñón se conocen las siguientes especies de moscas y mosquitos perjudiciales:

- Fóridos: *Megaselia nigra*, *Megaselia agarici*, *Megaselia halterata*. Esciáridos: *Sciara fenestralis*, *Sciara multiseta*, *Sciara coprophila* y *Lycoriella auripila*. Las larvas de estos dípteros estropean el micelio del hongo, causando fallos en la fructificación. Dañan los hongos ya formados, labrando túneles o galerías en el estípote y en el pileo de los champiñones. Son atraídos por los olores emanados de la champiñonera: olor a estiércol, del compost pasteurizado, micelio de champiñón y de residuos. Ovipositan sobre los montones de residuos de champiñón, de estiércol y el material utilizado como capa de cobertura (Regés, 2004).



Figura 44. Adulto de *Megaselia* sp., larvas de esciáridos y adulto *Lycoriella auripila* (Arzac, 2004)

Además del buen manejo de residuos, pueden emplearse aplicaciones de metopreno (60%) o diazinón (60%), asperjando el compost 5 días después de la siembra, a razón de 10 cc en 10 litros de agua, cuando se detecten 10 fóridos por día en placa amarilla. También se puede aplicar azadiractina (3.2%) a razón de 30 cc de producto comercial

en 120 litros de agua para 100 m² (pH de 5-5.5), humectando la capa de cobertura 5 días después de su colocación, cuando se detecten en placa amarilla más de 25 fíridos por día (Arzac, 2004).

Contra esciáridos aplicar ciromazina (75%) a razón de 10 g de producto comercial en 10 litros de agua, asperjando ligeramente sobre el compost, 5 días después de la siembra, cuando en las salas de cultivo se detecten en placa amarilla más de 5 esciáridos por día. Para el tratamiento de la capa de cobertura aplicar diflubenzurón (25%), humectándola 5 días después de su colocación, a razón de 2 gramos de producto comercial por metro cuadrado, cuando se detecten en placa amarilla más de 15 esciáridos por día, o bien, utilizar azadiractina (3.2%) en la forma indicada para fíridos (Arzac, 2004).

- Los escarabajos (colémbolos) producen pequeños orificios ovales, de aspecto reseco, sobre el pileo. Las poblaciones de estos insectos pueden mantenerse bajo control con los productos indicados para moscas y mosquitos.

c) Nemátodos

Los nemátodos son una de las plagas más dañinas de los cultivos de champiñón. Entre ellos, los de mayor importancia son: *Aphelenchoides composticola* y *Ditylenchus myceliophagus*, los cuales poseen estilete perforante con el que dañan las hifas del micelio. El estiércol toma un color rojizo y al tacto da la sensación de una pasta jabonosa. Su olor se hace acre. Una adecuada esterilización del compost junto al empleo de nematicidas autorizados, el análisis en laboratorio de muestras del estiércol y capa de cobertura; constituyen las mejores medidas preventivas contra esta plaga. Durante el ciclo de cultivo ya no puede lucharse contra los nemátodos, únicamente puede intentarse detener su propagación, manteniendo el compost a temperatura y humedad más bien bajas (Regés, 2004 y Vedder, 1996).

10.3 Enfermedades

a) Bacterias

- *Pseudomonas tolosi*. Mancha bacteriana o gota. Debe su nombre a que, cuando la padece el champiñón presenta unas manchas amarillentas en la superficie del pileo con aspecto pegajoso y en forma de gotitas. En la presentación de esta enfermedad influye sobre todo la mala preparación del estiércol, la mala ventilación de las instalaciones y el riego excesivo. Para combatirla debe mezclarse cloruro cálcico (Cl₂Ca) con el agua de riego con un concentración de 0.3% (Arzac, 2004).

Según Muñoz (2006), para prevenir la enfermedad durante la cosecha se utiliza cloro: Diluir 125 ml de hipoclorito de sodio en 100 litros de agua para 100 m². Para control, mezclar 250 ml hipoclorito de sodio en 100 litros de agua para 100 m², si se observan manchas bacteriales. Al respecto Fernández (2001), sugiere que una acción práctica para prevenir que los hongos se manchen a causa de bacterias al inicio de cada oleada, es aplicar cloro granulado al piso.

- *Pseudomonas aeruginosa*. Esta bacteria y otras especies no determinadas, producen la enfermedad conocida como Momificación. Los champiñones infectados se caracterizan por estípites inclinados con una serie de hinchamientos en la base, que

provocan la apertura prematura del pileo. La momificación parece ser endémica en ciertas granjas, lo que sugiere ciertas prácticas culturales indebidas.

Debido a la naturaleza de esta enfermedad, prácticamente no hay control alguno contra ella. Sin embargo, se recomienda desechar contenedores contaminados o separar zonas contaminadas de las sanas. Tomar las mismas medidas que en el caso anterior, junto a una limpieza minuciosa de la explotación y un control más riguroso del material de cobertura (Arzac, 2004).

b) Hongos

- *Verticillium fungicola*. Conocida comúnmente burbuja seca o mole seca. Es la micosis producida por hongos Hifomicetos del género *Verticillium* sobre el micelio agregado de los carpóforos de *Agaricus bisporus*. Esta enfermedad puede llegar a destruir una cosecha en dos o tres semanas, lo que representa un grave problema económico dentro del sector al producirse anualmente en el mundo pérdidas millonarias (Regés, 2004).

Se caracteriza por el apareamiento de puntos necróticos en la superficie del pileo, los cuales son manchas de color cafés, distintas a la mancha bacteriana que tienen color más claro y amarillento (Figura 45). Este síntoma usualmente se desarrolla cuando la infección ocurre más tarde en el desarrollo del hongo. Provoca también deformaciones como el encurvamiento y ruptura del estípite.

El síntoma más conspicuo encontrado ha sido descrito como una masa de tejido putrefacto en forma de globo o burbuja seca que emana un olor desagradable. El control de este hongo se hace aplicando procloraz (46%) en el agua de riego, 7-9 días después de colocar la capa de cobertura, a razón de 1 gramo de producto comercial disuelto en un litro de agua por cada metro cuadrado de superficie de cultivo (Arzac, 2004).



Figura 45. Carpóforos infectados con *Verticillium* exhibiendo puntos necróticos, estípite destruido y el síntoma de la masa de tejido o burbuja seca (Arzac, 2004)

- *Trichoderma harzianum*. La enfermedad que produce este organismo y la diversidad de especies de este género, se conoce comúnmente como Trichoderma o mohó verde (Figura 46). Esta especie ha sido la causa de una de las enfermedades más serias del cultivo de champiñones en el mundo entero. Es común en el compost y en la cobertura con pH ácido. Se propaga durante la cosecha y el riego. Es un mohó algodonado que crece en colonias sectorizadas. Al principio es grisáceo creciendo rápidamente y pronto

tornará a verde por la producción de esporas. Los hongos parasitados también pueden presentar puntos marrones sobre el sombrero (Regés, 2004).

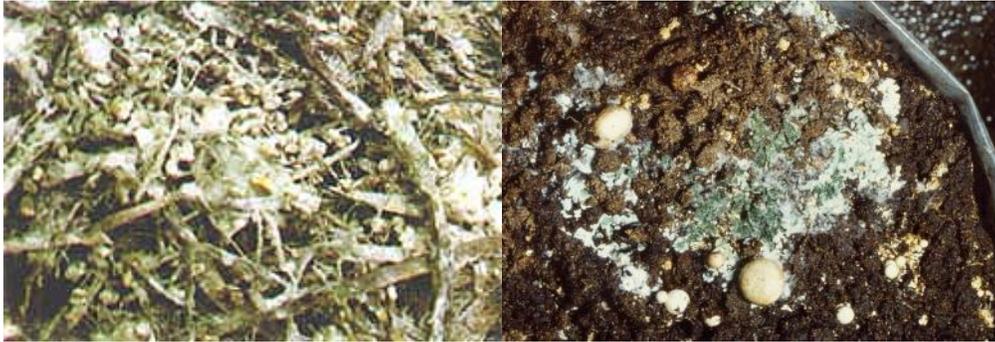


Figura 46. Hongo parásito del género *Trichoderma* infectando compost y capa de cobertura (Arzac, 2004)

En general, *Trichoderma* prospera en compost con exceso de carbohidratos disponibles y cuando el compost no es suplido con suficiente nitrógeno. Para ejercer control, mezclar 0.5 gramos de benomil con 22 gramos de yeso para un kilogramo de semilla. Luego cubrir completamente la semilla con esta mezcla (Arzac, 2004).

- *Mycogone perniciososa*. Nombres comunes: burbuja húmeda, mole húmeda. Muy común infectando los champiñones y causando significativas pérdidas en las cosechas. Está en forma natural en los suelos. No crece bien a temperaturas inferiores a 15° C. Se propaga principalmente a través de la cobertura. Los trabajadores son el principal medio de dispersión de las esporas. El riego sobre áreas infectadas favorece la diseminación de este contaminante. Aparece como un moho blanco afectando al primordio y tornándolo una masa suave blanca de micelio. Del interior putrefacto de esas masas, brota un líquido ámbar conteniendo esporas (Figura 47).

El aislamiento de los contenedores contaminados, el incremento de la ventilación, bajar la temperatura y una apropiada técnica de limpieza limitará la propagación del mycogone. Como medida de control, utilizar benomil (50%) aplicado en el agua de riego, a razón de 1.5 a 2 gramos de producto comercial por litro para un metro cuadrado de superficie. También se puede utilizar procloraz (46%) en la forma indicada para mole seca (Regés y Arzac, 2004).



Figura 47. *Mycogone perniciosus* en tres estadios de severidad (Arzac, 2004)

Otras enfermedades del champiñón menos importantes son la enfermedad de la telaraña (*Dactylium dendroides*), Yeso blanco (*Oospora fimicola*), Yeso pardo (*Papulospora bysina*), Falsa trufa (*Diehliomyces mocrosporus*).

11. Aspectos económicos

El cultivo de champiñón se puede clasificar entre los más rentables cuando se realiza en una champiñonera bien dirigida. Hay que considerar que la competencia es cada vez más importante, sobre todo por parte de algunos países de Europa del Este y Asia. Sin embargo, al mismo tiempo se va creando un mercado cada vez más importante. Es de esperar, que en el futuro y en condiciones normales, únicamente las champiñoneras bien acondicionadas y dirigidas podrán obtener beneficios de una forma continua (Vedder, 1996).

Como en Guatemala, en la mayoría de países del mundo el cultivo de champiñón es libre, pudiendo realizarlo cualquiera que tenga los conocimientos técnicos necesarios y el capital por cierto. Dicho cultivo no necesita gran extensión de terreno; puede utilizarse una superficie relativamente reducida de 0.5 has, por ejemplo; y construir los edificios de cualquier calidad siempre y cuando estén acondicionadas apropiadamente.

En este sentido, un emprendedor querrá saber, ante todo, en qué medida va a ser posible obtener beneficios, y cuáles serán las inversiones a realizar. Aunque sea difícil dar con precisión elementos para calcular el monto de la inversión inicial y el coste de producción, si es posible ofrecer algunas directrices.

Al respecto, Vedder (1996), [...]Se estima que las dimensiones mínimas de una explotación para un emprendedor en la región europea, son de 12 salas de cultivo en sistema monozona, con 200 metros cuadrados de superficie de cosecha cada una, con posibilidades de ampliación[...]. Si se toma como ejemplo un rendimiento por ciclo de cultivo de 16 Kg de champiñones cortados por metro cuadrado, de 12 semanas de duración (84 días) se obtendría: $12 \times 200 \times 4.3 \times 16 = 165,120$ Kg aproximadamente de producción anual.

La inversión inicial consiste en una cámara o sala de producción debidamente construida y con materiales aislantes para conservar las temperaturas que se necesitan. También es necesaria una caldera para generar vapor y poder realizar la pasteurización y termómetros

a larga distancia para monitorear las temperaturas durante el ciclo. Para preparar el compost se requiere de una galera con piso de cemento y techo. Cajas de madera o metal para mantener el compost. Un sistema de ventilación y de aire frío, un cuarto frío para conservar temporalmente los champiñones cosechados y selladora de producto.

Un referente afín a las características de nuestro país, parece ser el monto de infraestructura y costes de producción citados por Muñoz (2006), a raíz de sus experiencias en la producción de champiñón en la Escuela Zamorano, ubicada en Tegucigalpa, Honduras. En esas circunstancias, los costes asociados a un ciclo productivo de 84 días y 43 metros cuadrados de cultivo son los que se indican en el cuadro 11. En el anexo 5 se presentan con detalle los rubros de inversión, insumos y de mano de obra.

Cuadro 11. Costos, ingresos y análisis de rentabilidad para el cultivo de champiñón

Rubro	Tipo	Monto		Observaciones
		USD\$	Quetzales (Q)	
Inversión inicial	Costo fijo	24,337.00	194,696.00	Tasa de cambio Q8.00 por 1 USD\$
Mano de obra	Costo variable	298	2,340	
Insumos	Costo variable	1,160	9,280	
Depreciaciones	Costo variable	250	2,000	
TOTAL (C. Variables)	Egresos	1,708	13,620	
Ingreso Bruto	Beneficios	3,096	24,768	688 Kg a Q36.00/Kg
Diferencia	Utilidad	1,388	11,148	$R = \frac{11,148}{13,620} \times 100 = 81\%$
Rentabilidad	Indicador económico en porcentaje			

Fuente: Muñoz (2006)

Sin pretender hacer un análisis económico exhaustivo del presente caso, dado que no viene al caso por tratarse simplemente de un ejemplo circunstancial, difícilmente reproducible; si es oportuno comentar que con Q 11,148.00 de utilidad, el capital invertido se recuperaría al final del 4 año de funcionamiento continuo de la explotación, considerando 4.3 ciclos de cultivo por año. Según los datos mostrados en el anexo 5, se aprecia que no se tomaron en cuenta para el cálculo de los costos variables, aquellos relativos al embalaje del champiñón, así como la inversión en la compra de la selladora. Posiblemente ello responda a las condiciones propias relacionadas con la comercialización del producto.

Con el análisis de la cantidad de compost húmedo utilizado para 43 metros cuadrados de cultivo, se estima una capa espesa de sustrato debida a 203.53 kilogramos de compost húmedo por metro cuadrado utilizados para el llenado de contenedores. Asumiendo un 75% de humedad del sustrato previo a la fermentación y un 20% de pérdida de materia seca durante la pasteurización del sustrato, la eficiencia biológica calculada corresponde a 39.3%, baja por cierto, pero que en términos de área por metro cuadrado (16 kg/m²), parece ser atractiva, lo cual se explica por la densidad del llenado previo a la pasteurización. Finalmente, para un período de 71 días contados a partir de la inoculación, la Rp resulta ser de 9.69 kg/día.

CAPÍTULO IV TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr) Kummer)

1. Caracterización

Los hongos del género *Pleurotus* son saprofitos, descomponedores de madera. Estos hongos se alimentan de la materia orgánica en la que están creciendo, degradando las sustancias con enzimas que liberan al medio húmedo que les rodea, por ello la importancia de suministrar un substrato adecuado cuando se le intente cultivar. La diversidad del género *Pleurotus* abarca al menos 30 especies, entre ellas, *P. djamor*, *P. eryngii*, *P. smithii*, *P. levis*, *P. pulmonarius*, *P. sajor-cajou*, *P. citrinopileatus* y *P. ostreatus* (Belt, 1998).

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* ha tenido un desarrollo rápido y amplia aceptación en el mercado por sus propiedades nutricionales, sabor, consistencia, la variedad de residuos orgánicos en los que es capaz de crecer y adaptación a un amplio intervalo de temperatura.

Comúnmente *Pleurotus ostreatus* es conocido como Hongo ostra, aunque también suele llamarsele: Champiñón ostra, Gírgola, Orellana, Seta de chopo o simplemente Seta. *Pleurotus* viene del griego “*pleuro*” que significa formado lateralmente o en posición lateral, refiriéndose a la posición del estípite respecto al pileo; *ostreatus* en latín quiere decir en forma de ostra y en este caso se refiere a la apariencia y al color del cuerpo fructífero. Para su desarrollo, el hongo ostra requiere de condiciones ambientales como temperatura, humedad, oxígeno y cierta cantidad de luz. Todos estos factores tienen que satisfacer las necesidades de este hongo y el conocimiento de los mismos permitirá manipularlo y producirlo en condiciones artificiales.

1.1 Características morfológicas

Los carpóforos de *Pleurotus ostreatus*, no presentan anillo ni volva. El pileo es de 5-25 centímetros de diámetro, ampliamente convexo y algunas veces casi plano en la madurez; de margen lobulado a ondulado, cuando joven; la superficie es lisa, presenta color variable según la intensidad de la luz, con tonos entre blanquecinos, grises o azulados; la carnosidad es blanca y con olor a anís. Lamela formada por agallas decurrentes de color blanco, amarillentas en estado avanzado de desarrollo, no pubescentes. El estípite es corto y grueso, de 0.5 a 3.0 centímetros de longitud, 0.5 a 2.0 centímetros de espesor, excéntrico o lateral con pubescencia densa de color blanco en la base.

En estado natural crece sobre troncos y ramas de latifoliadas, bien en árboles en pie o más frecuentemente en tocones, árboles derribados o sobre rastrojos de algodón. En zonas de producción de cereales emerge de los montones de pacas de paja cuando las condiciones ambientales son favorables. Fructifica en grupos o racimos en forma de repisas de considerable tamaño. La mayoría de recolectores de hongos prefieren los especímenes grandes de carnosidad gruesa (Wood, 1996). Los carpóforos típicos de *Pleurotus ostreatus* se observan en la figura 48.



Figura 48. Setas de *Pleurotus ostreatus* ECS-112 sobre pulpa de café

1.2 Composición nutricional

Pleurotus ostreatus se caracteriza por sus propiedades organolépticas, reflejada en su aspecto, aroma agradable, utilización para la elaboración de numerosos platillos. El hongo ostra presenta variaciones significativas en cuanto a su composición química proximal. Dichas variaciones se ven afectadas por el sustrato, el método de cultivo, así como el origen geográfico de la cepa (Rodríguez *et al.*, 2005). Los minerales se concentran fuertemente en los cuerpos fructíferos. Por ejemplo, el potasio 3.2 veces, el sodio 1.64, el fósforo 1.7 y el cadmio 2.75, en comparación con la concentración de estos minerales en el sustrato (Kawai *et al.*, 1994). Así mismo, el contenido de proteína de *P. ostreatus* se relaciona significativamente con el contenido de nitrógeno del sustrato. La figura 49 ilustra las variaciones en el contenido de proteína cruda (base seca) en los cuerpos fructíferos, según el sustrato utilizado para el cultivo.

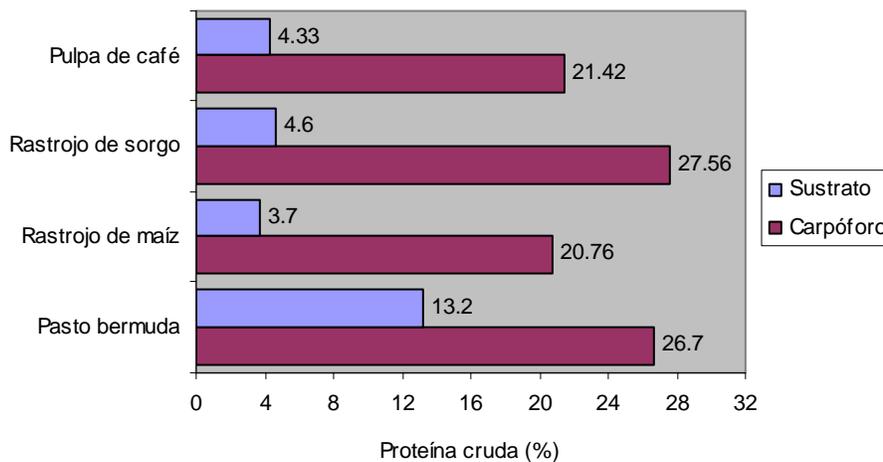


Figura 49. Porcentaje de proteína de los sustratos y los carpóforos de *Pleurotus ostreatus* IBUG-8 (Rodríguez *et al.*, 2005)

Crisan & Sands (1978), citados por Miles & Shu-Tig (1997), realizaron a partir de varias fuentes bibliográficas, un perfil de aminoácidos a una serie de hongos entre los que se encuentra *P. ostreatus*; estos autores concluyeron que las setas contienen todos los aminoácidos esenciales que comprenden del 25 al 40 por ciento del total. Las setas de este hongo contienen lisina, leucina, valina y triptófano, con 72.09, 71.57, 51.28 y 19.61 miligramos por gramo de proteína cruda (N×4.38), respectivamente. La corrección de la proteína: N×4.38, en lugar de N×6.25, es consecuencia del nitrógeno no proteico contenido en la pared celular de los hongos (Miles & Shu-Ting 1997), el cual es digerido y detectado en el método de determinación del contenido de nitrógeno proteico por el método Kjeldahl.

El contenido de vitaminas como tiamina (B₁), riboflavina (B₂), ácido ascórbico, ácido nicotínico, ácido pantoténico; ácido fólico, tocoferol, pirodoxina, cobalamina; provitaminas como la ergosterina, carotenos; de minerales (Calcio, fósforo, potasio, hierro) y su bajo contenido en grasas y carbohidratos, lo hacen valioso en la alimentación y contra padecimientos cardiovasculares e hipertensión (UM, 1998).

Hiroi (1982), citado por Breene (1990), encontró poca diferencia en el contenido de lípidos totales entre cepas silvestres de *Pleurotus* y las cepas de *P. ostreatus* cultivadas; ambas presentaron de 3 a 5 por ciento de lípidos totales en base seca, predominando un mayor contenido en el pileo. Del total de lípidos, el 70-80% corresponde al ácido linoleico. Los principales fosfolípidos de *P. ostreatus* son fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina. A partir de la recopilación de reportes de varios autores la composición de la seta del hongo ostra, es la que se indica en el cuadro 12.

Cuadro 12. Composición bromatológica del carpóforo de *Pleurotus ostreatus*

Componente	Cardona, 2001	Cisterna, 2002	Rodríguez <i>et al.</i> , 2005	Promedio
Agua	87-93%	88-91%	90%	89.83%
Proteína	24.64-30.40	14.40-19.90	15.70-30.0	22.51
Grasas	3.1-9.25	0.8-2.0	1.5-5.0	3.61
Carbohidratos	26.33-30.46	51.6-62	50-57	46.23
Minerales	7.66-8.79	0.83-13.3	7.90-8.0	7.75
Fibra	32.14-36.81	13.70-15.60	8.5-14	20.13
Calorías	345	300	150-350	298.33

Referencia: A excepción de las calorías que están expresadas en kilocalorías por cien gramos de peso seco del hongo, los restantes componentes corresponden a gramos por cien gramos de hongo seco.

1.3 Importancia del recurso genético de *Pleurotus ostreatus*

Además del valor nutritivo, *Pleurotus ostreatus* se encuentra en la lista de 37 especies de hongos descritas por Guzmán (1994), utilizadas en la medicina tradicional de Mesoamérica y México. Se describe como uno de los hongos que producen retardo en el crecimiento de tumores. Okuda *et al.* (1972) afirman que se han aislado polisacáridos antitumorales tanto de *Flammulina velutipes* como de *P. ostreatus*; en éste último, el componente antitumoral activo consiste en un esqueleto formado por un polímero 1,3 b-glucano, probablemente con ramificaciones de residuos de galactosa y manosa

Se ha encontrado experimentalmente que los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus* contienen un inhibidor competitivo de la enzima 3-hidroxi-3 metil-glutonnil coenzima A reductasa, que baja el colesterol de la sangre. La sustancia denominada Lovastatín se encontró

principalmente en las lamelas de basidiocarpos de 10 cm de diámetro, a razón de 5991 mg/g (Gunde & Cinerman 1995). Además, los hongos de la pudrición blanca, entre los que se encuentra *P. ostreatus*, poseen en su micelio sustancias con propiedades antioxidantes, por lo que pueden constituir una fuente potencial de bioantioxidantes (Cardona, 2001).

Por otro lado, *Pleurotus ostreatus* como recurso genético, presenta interés para la agricultura y la economía, ya que se pueden desarrollar sobre una gran cantidad de sustratos lignocelulósicos útiles no sólo para la alimentación humana, sino también para otros aspectos como la alimentación animal, la medicina, la farmacia, la industria química, el control biológico, la descontaminación de suelos, etcétera (Sánchez y Royse, 2002).

El sustrato degradado puede ser reciclado y su proteína recuperada para alimentación animal, siempre y cuando el sustrato esté libre de patógenos y micotoxinas (Zadrazil, 1984). Ello porque el sustrato degradado tiene un mayor contenido proteico comparado con el sustrato original, debido a que la lignina del sustrato es degradada por el hongo y convertida en una sustancia más digerible y enriquecida.

Los hongos de pudrición blanca como *P. ostreatus*, *P. cornucopiae*, *P. cystidiosus*, *P. strigosus*, *P. subareolatus*, han sido descritos por atacar y consumir nemátodos, probablemente porque utilizan los nutrientes de su presa como suplo, dados los niveles bajos de N disponible en la madera (Thorn y Barron, 1984). Las especies de *Pleurotus* producen pequeñas gotitas de toxinas provenientes de sus glándulas secretoras espatuladas. Los nemátodos que tocan dichas gotas muestran una inmediata respuesta y se vuelven más o menos inmóviles. Estimuladas por productos provenientes excretados por el huésped inmóvil, algunas hifas direccionales convergen en los orificios del cuerpo del nemátodo, lo colonizan y lo digieren (Barron y Thorn, 1987).

Asimismo, los hongos de pudrición blanca son capaces de degradar pesticidas altamente tóxicos y químicos xenobióticos. *P. ostreatus* tiene la habilidad para degradar herbicidas como la atrazina (Masaphy *et al.* 1993) y de mineralizar gran cantidad de hidrocarburos poliaromáticos como el fenantreno, más eficientemente que *Phanerochaete chrysosporium* (Novotny *et al.*, 1999).

Las paredes de las células de las plantas contienen grandes cantidades de compuestos de carbono de alto peso molecular, como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Entre los mamíferos, sólo los rumiantes pueden utilizar la celulosa, con la ayuda de los microorganismos simbióticos presentes en el tracto intestinal. *P. ostreatus*, también tiene la habilidad de colonizar el rastrojo y degradar los compuestos lignocelulósicos de la madera, considerado así un agente primario de descomposición porque es capaz de utilizar los desechos de las plantas en su forma original sin que hayan sido sujetas a algún proceso de degradación bioquímica o microbiológica. En este sentido, el cultivo de este hongo sobre desechos agrícolas es una alternativa para producir alimentos ricos en proteína en condiciones de tecnología poco sofisticadas, en un período corto de tiempo y a bajo costo. Finalmente, después de cultivar y cosechar los hongos, la relación C/N del sustrato es disminuida y puede ser utilizado como abono para el suelo (Sánchez y Royse, 2002).

2. Sistemas de producción

La habilidad del *Pleurotus ostreatus* para crecer en una amplia variedad de substratos lignocelulósicos residuales y en un amplio rango de temperaturas, hacen que su cultivo sea el más sencillo de todos los hongos cultivados comercialmente (Sánchez y Royse, 2002). Sin embargo, tales medios deben contener las sustancias nutritivas necesarias y sobre todo, reunir condiciones de asepsia que en otros casos resulta laborioso y oneroso, tal como ocurre en la preparación del substrato para el cultivo del champiñón.

Independientemente del nivel de producción, la planeación de un proyecto de producción de setas requiere, sin lugar a duda, entre sus prioridades de la previa calendarización de actividades tanto en la construcción o adaptación de las instalaciones, así como la pronta y oportuna adquisición de maquinaria, equipo, herramientas y las materias primas. Por tal motivo el abastecimiento previo de la suficiente materia prima cada seis meses o anualmente según la región, es vital para lograr cumplir con los calendarios de producción previamente programados y/o los compromisos acordados con el mercado. La coordinación en los tiempos y movimientos que agilicen y eficienten cada fase del proyecto es muy significativa para evitar contratiempos. Por tal razón las actividades a realizar requieren de la participación sincronizada de todas las personas y empresas proveedoras de bienes y servicios que están involucrados en este cultivo.

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* puede llevarse a cabo ya sea a escala artesanal o industrial. La diferencia entre uno y otro estriba en el nivel de producción, el capital invertido, la complejidad de la organización de la empresa y sobre todo la productividad del sistema de producción.

Para el caso del cultivo de *Pleurotus ostreatus* en condiciones artesanales, el ingenio del cultivador será necesario para emprender el proyecto, acondicionar instalaciones y resolver las situaciones del cultivo. La experiencia será la base del mejoramiento del proceso de producción, esa es la aventura y la motivación que conlleva a la superación. Para iniciar con la producción, se puede utilizar alguna instalación agropecuaria en desuso como: gallineros, establos, casas o bodegas abandonadas, etc. Hasta pueden darse casos en los cuales algunas personas utilizan pequeños módulos de plástico en los patios o en las azoteas de sus casas para producción de hongos (López, 1995).

Cuales quiera de estas instalaciones rústicas pueden ser salas de incubación o producción de setas. La rusticidad no dependerá de la apariencia solamente, sino básicamente de los equipos que puedan adaptarse a estas instalaciones. Esto quiere decir que bien se pueden tener instalaciones rústicas muy bien equipadas y adaptadas para la producción de hongos o instalaciones modernas rústicamente equipadas, que para efectos de responder a los requerimientos del hongo, lo importante es proveer las condiciones ambientales y biológicas más que estructurales (Fernández, 2004).

El cultivo de hongos de manera artesanal, a bajo costo (por sus características de austeridad) por lo general ejerce poco control sobre las condiciones del ambiente (temperatura, humedad, ventilación, iluminación, etc.). Entre más factores del medio se puedan controlar, más costos se tendrán que incorporar a la inversión para el cultivo. Los cultivos son más estables y más productivos cuando el lugar de cultivo posee aire

acondicionado. Sin embargo, las condiciones de cultivo caseras son baratas, dependientes de las condiciones del ambiente natural y son productivas a bajo nivel, suficiente para autoconsumo y comercialización del excedente.

Haciendo un análisis prudente de éste sistema se puede decir que el sistema de producción artesanal es el más conocido y que comúnmente se lleva a cabo en la mayoría de las comunidades tanto urbanas como rurales y son en parte el resultado de la difusión que inicia principalmente por parte de las universidades e instituciones gubernamentales. Este sistema de producción ha sido prolifero por tener como mayor atracción y ventaja la baja inversión que se requiere para la producción, sin embargo, han sido varios factores los que han hecho que los productores cesen la producción de setas aún con los bajos costos que se tienen. Entre estos factores adversos se pueden mencionar los siguientes:

- Falta de formación de unidades integrales de producción. Quiere decir que quien se dedica a este cultivo aprende y supervisa todos los procesos al estilo más costoso: El de prueba y error.
- La falta de asesoría adecuada y profesional.
- Dificultad para conseguir semilla de calidad.
- Deficiencias o carencias en la adaptación y manejo de las instalaciones
- Baja cantidad y calidad de producto
- Falta de organización en la distribución y venta del producto
- Lento o casi nulo crecimiento de la producción.

Estos factores han provocado que la producción de setas no llegue a considerarse aún como una empresa seria, aún cuando ha existido particular interés por parte de algunas instituciones como la Universidad de San Carlos de Guatemala, en desarrollar el cultivo en el área rural.

3. Criterios para selección y preparación del sustrato

La selección del material lignocelulósico a utilizar para el cultivo del hongo ostra debe hacerse en función al lugar geográfico en el que se pretende producir, la disponibilidad del mismo, los costos de su transportación y el tratamiento para obtener medios selectivos que permitan el crecimiento rápido y seguro del hongo. La selectividad de un sustrato depende de los nutrientes disponibles en él principalmente, la relación carbono-nitrógeno, su acidez, la actividad microbiana que soporta, la capacidad de aireación y retención de humedad, entre otros. Pero también de los métodos para desinfectar y esterilizar, a efecto de que los nutrientes del sustrato estén fácilmente accesibles para el hongo. Un sustrato selectivo es aquel que satisface las demandas nutricionales de un tipo de hongo específico y no satisface las de otros. Para el caso de *Pleurotus ostreatus*, la paja de gramíneas y la pulpa de café constituyen ejemplos de lo anterior (López, 1995).

3.1 Factores que afectan el crecimiento y la fructificación

El desarrollo de *Pleurotus ostreatus* es afectado por varios factores. A continuación se comentan los más importantes:

a) La temperatura

La temperatura afecta el metabolismo de las células. Influye tanto en la capacidad enzimática del organismo, como en la fluidez de los lípidos de la membrana celular. Zadrazil (1974) reportó que *P. ostreatus* crece en un rango entre 0 y 32° C con temperaturas óptimas de 26-28° C. Este mismo autor demostró que esta especie podía

soportar 35° C durante 24 horas (pero no 72 h) y después reiniciar su crecimiento. Por regla general, las temperaturas óptimas para fructificación son ligeramente inferiores que las temperaturas óptimas para crecimiento micelial. La sensibilidad a la temperatura no solo varía entre cepas sino también para una misma cepa según su etapa de desarrollo, por lo que el rango de temperatura mencionado debe ser considerado solo como indicativo.

b) El pH

El potencial de hidrógeno (pH) del sustrato donde crece un hongo tiene una influencia directa sobre éste, porque influye directamente sobre las proteínas de la membrana. Para el crecimiento de *Pleurotus* se han citado rangos de crecimiento entre 4 y 7 de pH. Con un óptimo entre 5 y 6. Así, Zadrazil (1974) cita que los sustratos ácidos (pH 4) inhiben el desarrollo de *P. ostreatus* y que este hongo encuentra un pH óptimo en un rango entre 5.5 y 6.5. Dado que la mayoría de los contaminantes que se encuentran durante el proceso de cultivo son más sensibles a los valores altos de pH que las especies de *Pleurotus*, actualmente al preparar el sustrato se prefieren valores más elevados que los señalados como óptimos. Stölzer y Grabbe (1991) por ejemplo, demostraron que *Trichoderma hamatum* reduce notablemente su crecimiento a pH 7 y es totalmente inhibida a pH 8.5.

c) Carbono

El carbono es necesario para los hongos porque es la fuente directa de energía para su metabolismo; así mismo, es necesario para la formación de las diferentes partes y estructuras celulares. Dada la importancia que tiene para la vida de la célula, este elemento es el que requiere en mayores cantidades. El carbono puede ser utilizado por el hongo a partir de diferentes fuentes como polímeros, carbohidratos, lípidos, etc. Zadrazil (1974), observó que después de cosechar los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*, las cantidades finales de hemicelulosa, celulosa y lignina se reducían en un 80% y concluyó diciendo que todos los materiales que contengan celulosa y lignina (con excepción de los tóxicos y con metales pesados) pobres en nitrógeno, pueden ser usados como sustratos.

d) Nitrógeno

Los sustratos sobre los que suelen fructificar las especies de *Pleurotus* pueden contener valores bajos de nitrógeno por lo que se ha llegado a pensar que este género es capaz de fijar nitrógeno atmosférico. Sin que esto haya sido demostrado, sí es notorio que la concentración en nitrógeno en el cuerpo fructífero en algunos casos es mayor que la del sustrato sobre el cual crece (Sánchez y Royse, 2002). Hong en 1978, indicó que la peptona es una fuente de nitrógeno que da un rápido crecimiento micelial y formación de cuerpos fructíferos. Así mismo, Voltz (1972) determinó que el citrato de amonio era una buena fuente para *P. ostreatus*.

e) Relación C/N

Como ya se mencionó, el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición de cualquier organismo. Manu-Tawiah y Martin (1988), determinaron que la relación óptima para el crecimiento en medio líquido de *P. ostreatus* era 40:1. Por su parte, Hong en 1978, encontró que para la misma especie, una relación de 15.23 permitía una rápida formación de cuerpos fructíferos con bajos rendimientos, que una relación de 11.42 incrementaba los rendimientos pero que disminuía la formación de cuerpos fructíferos y que tomando en cuenta los dos aspectos (rendimiento y velocidad de formación), la

relación óptima debía ser 30.46. En un estudio sobre selección de sustratos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, se obtuvo una eficiencia biológica de 147.87% sobre pulpa de café con relación C/N de 79.31, de 107.40% sobre Pasto estrella africana con relación C/N de 107 y de 67.8% sobre pericarpio de jacaranda con relación C/N de 326.65.

f) La humedad en el sustrato

El contenido de humedad influye directamente sobre el desarrollo del hongo ostra porque afecta la disponibilidad de nutrientes. Así, los contenidos de humedad inferiores al 50% no serán propicios y una humedad superior al 80% tendrá un efecto negativo en el crecimiento por la escasez de oxígeno. Cada sustrato tiene una capacidad de retención de agua diferente, pero lo ideal en el cultivo es que posean alta capacidad de almacenamiento y retención de humedad.

g) La humedad del aire

Este es un factor de suma importancia para la adecuada fructificación de *Pleurotus ostreatus*. Dado que los cuerpos fructíferos están formados por un alto contenido de agua y su estructura hifal no les permite retener la humedad en condiciones adversas, un balance adecuado entre la humedad ambiental y el contenido de humedad del hongo es necesario. Debido a esto, la humedad relativa del ambiente donde crece el hongo debe ser suficiente para evitar que tanto el sustrato como los cuerpos fructíferos se deshidraten.

h) Aireación y luz

El oxígeno es un elemento importancia para el crecimiento de los basidiomicetos porque son organismos aerobios. Para el caso de *Pleurotus*, se ha notado que la concentración alta en CO₂ estimula la germinación de las esporas y el crecimiento micelial pero inhibe la fructificación. Según Eger (1974), *P. ostreatus* requiere de oscuridad para crecimiento micelial, pero no puede fructificar en oscuridad continua. Para poder hacerlo requiere ser expuesto a longitudes de onda inferiores a 600 nm, sin embargo la sensibilidad tanto de la cantidad como de la calidad de la luz depende de la cepa.

3.2 Fuentes de aprovisionamiento de sustrato

Las cepas de *Pleurotus ostreatus* crecen de manera aceptable en diversos sustratos lignocelulósicos, por lo que pudiera pensarse que una cepa dada crecerá bien en cualquier sustrato. Esto no es cierto; existe una interrelación cepa-sustrato que debe respetarse para obtener rendimientos óptimos. Cada cepa tiene sus capacidades y requerimientos propios por lo que una vez que se han definido los componentes óptimos del sustrato, deben evitarse los cambios, a menos que hayan sido investigados previamente.

Una acertada definición del binomio cepa-sustrato influirá de manera determinante en las actividades desarrolladas durante el cultivo del hongo. Por ejemplo, las características fisicoquímicas del sustrato (capacidad de retención de agua, tamaño de partícula, disipación de calor) influirán en la periodicidad de los riegos y en la ventilación. Un sustrato selectivo permitirá una pasteurización menos rigurosa; por otra parte, la cepa elegida determinará los parámetros ambientales que deben existir en el cultivo.

Durante el desarrollo de actividades productivas de la mayoría de cultivos agrícolas e industrias basadas en algunos de esos cultivos, se generan grandes cantidades de

materiales que tienen la consideración de subproductos de la actividad central y carecen de importancia económica. Dentro de esos subproductos agrícolas o agroindustriales predominan los de naturaleza lignocelulósica. Los materiales elegibles en la preparación de sustratos para cultivo de *Pleurotus ostreatus* deben poseer de partida, el mayor y mejor número posible de propiedades positivas tales como buena disponibilidad en cantidad y continuidad, conocimiento de sus características fisicoquímicas, regularidad en su composición físico-química, precio ventajoso de adquisición, localización fácil y cercana, y facilidad de transporte y manejo (Sánchez y Royse, 2002).

El sustrato para el cultivo de champiñón por ejemplo, es una composta obtenida a través de un proceso fermentativo de materiales lignocelulósicos; activado con fuente de nitrógeno que proporciona al hongo una selectividad química (C/N=16-19) y una selectividad biológica (bacterias, actinomicetos y hongos termófilos). Por analogía con este proceso, se ha intentado producir sustratos para el cultivo de *P. ostreatus*, el cual puede crecer en medios nutritivos con una relación C/N comprendida entre 30 y 300, pero también necesita una selectividad biológica (microbiota protectora y no competidora). Por lo indicado anteriormente, se comprende que con una relación C/N tan versátil, amplia gama de producto vegetales o combinaciones de dos o más de ellos, pueden ser utilizados para el cultivo de *P. ostreatus* (Sánchez y Royse, 2002).

Dentro de la variedad de sustratos que pueden utilizarse para producir el hongo ostra están: la pulpa de café, pasto jaragua, pasto estrella africana, pasto bermuda, olote de maíz, desechos de algodón, bagazo de caña de azúcar, paja de cereales de trigo y arroz, rastrojo de maíz, rastrojo y vainas de frijol, semilla de algodón, mazorcas de cacao, pulpa de coco etc. El siguiente cuadro contiene la composición química y la eficiencia biológica reportada para algunos de los materiales vegetales evaluados en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

Cuadro 13: Composición química y eficiencia biológica de algunos sustratos, en porcentaje sobre materia seca.

Material	MO	N	GB	FB	ELN	Cen	C/N	EB
Pulpa de café	84.70	0.59	-----	-----	-----	15.30	83.26	175.80
Cáscara de Cacahuete	92.40	2.44	9.70	26.30	41.20	7.60	22.00	100.00
Paja de trigo y broza de encino	93.75	0.86	1.49	-----	17.59	6.25	63.05	91.07
Paja de arroz	84.30	0.69	1.90	35.70	42.40	15.70	70.80	79.20
Magüey tequilero	91.10	0.36	2.80	32.40	53.60	8.90	146.80	65.00
Cascarilla de arroz	82.50	0.63	1.30	48.10	29.20	17.50	75.90	56.10
Jacinto de agua	83.40	1.74	-----	18.00	-----	16.60	27.80	52.00

Fuente: Sánchez y Royse (2002)

Referencia: MO: Materia orgánica, N: Nitrógeno, GB: Grasa bruta, FB: Fibra bruta, ELN: Extracto libre de nitrógeno, Cen: Cenizas, C/N: Relación carbono nitrógeno, EB: Eficiencia biológica.

Como es de esperar, tanto la composición de los sustratos como la eficiencia biológica pueden variar de un lugar a otro, ya sea por las condiciones en que se hayan generado y almacenado los residuales lignocelulósicos, el tratamiento de los sustratos previo a la inoculación o por aspectos relacionados con el manejo del cultivo de hongos.

3.3 Tratamiento para obtener un sustrato selectivo

Para cultivar *Pleurotus ostreatus* se requiere en primer lugar seleccionar una cepa de buena calidad y productividad que esté bien adaptada a las condiciones ambientales del lugar y que crezca muy bien en el sustrato sobre el que se piensa cultivar. El sustrato deberá estar preparado de tal manera que permita el crecimiento selectivo, rápido y robusto, de la cepa en cuestión y retarde el de sus competidores. Esta selectividad del sustrato se facilita al dejar accesible el complejo lignina-celulosa, y mantener un pH relativamente elevado, así como al mantener concentraciones bajas en azúcares solubles y sales de amonio (Stölzer y Grabbe, 1991).

Las indicaciones que se darán en esta sección están orientadas a la utilización de pajas de gramíneas como sustratos para la producción de *Pleurotus ostreatus*, dado que es el material lignocelulósico más utilizado para dicho fin (de trigo, cebada, centeno, avena, maíz, arroz, jaragua, bermuda, pasto estrella etc.) Para permitir que el hongo invada el sustrato en forma homogénea es indispensable que tenga una densidad que no impida el intercambio gaseoso entre éste y el medio. Para lograr esto, las pajas de cereales deben ser picadas con la ayuda de un machete, picadora estacionaria o molino de martillo hasta lograr fragmentos de entre 4 y 6 cm.

En algunos casos se acostumbra utilizar con éxito cortadoras de césped especialmente adaptadas para picar el material (Figura 50). Un tamaño de partícula mayor, sobre todo a partir de 15 cm, no favorecerá humectación, mientras que si las partículas son finas, se corre el riesgo de compactar de manera excesiva el sustrato. La operación de troceado o picado resulta más eficaz, y se ejecuta con mayor rapidez, con materiales fisiológicamente secos y físicamente deshidratados.



Figura 50. Picadora de paja construida a partir de una cortadora de césped (Cisterna, 2002).

Todos los desechos agroforestales tienen considerable carga de agentes contaminantes, especialmente bacterias y hongos inferiores, esto se debe a que estos organismos comienzan a colonizar estos sustratos para degradarlos y volver sus componentes al medio ambiente. Por lo tanto es indispensable que estos sustratos sean tratados

previamente para eliminar estos microorganismos o para disminuir las sustancias de las cuales se alimentan.

Luego del picado, la paja debe ser remojada durante 24 a 48 horas para permitir que el agua re-hidrate el sustrato y este alcance una humedad de 70-75%, utilizando para ello, recipientes de tamaño adecuado a la cantidad de material a manejar. Otra opción es sumergir la paja picada en estanques con agua (un poco de cloro no perjudica) de poca profundidad, removiéndola, dos o tres veces por día, para facilitar la absorción del agua. Se debe realizar un par de lavados o aclarados más con agua, hasta que los líquidos terminen saliendo claros y con ello se arrastran algunos materiales solubles que impiden el desarrollo de microorganismos competidos habituales. Finalmente se drena el exceso de agua. Tiempos de remojo menores al indicado no permiten buena humectación debido a la resistencia natural que tienen las pajas de gramíneas a absorber agua (debido a su gruesa cutícula), tampoco es recomendable tiempos mayores ya que la paja luego comienza a descomponerse (Cisterna, 2002).

Complementariamente, el tratamiento con agua caliente es un procedimiento sencillo y práctico que asegura la eliminación total o parcial de agentes contaminantes. En este caso la paja se somete a un remojo en agua caliente (80-90 grados centígrados) y limpia, durante 10 a 20 minutos. Existe un efecto de lavado de nutrientes durante la inmersión que puede resultar negativo en rastrojos viejos por pérdida de nutrientes para *Pleurotus ostreatus*, pero puede resultar benéfico en rastrojos recientes porque al disminuir el contenido de azúcares solubles previenen la competencia de otros hongos y da mejores rendimientos.

Al pasteurizar por inmersión en agua caliente se debe sumergir el sustrato únicamente cuando el agua haya alcanzado la temperatura indicada para provocar un choque térmico que difícilmente soportarán los organismos que se encuentren en el sustrato. Las temperaturas inferiores a 55 grados centígrados suelen ser insuficientes para destruir otros organismos y las temperaturas mayores a 90 grados centígrados pueden provocar la ruptura parcial de puentes de hidrógeno del complejo lignina celulosa y contribuir a la solubilización de azúcares simples.

Este es un procedimiento aplicable a niveles artesanales y ha sido ampliamente recomendado y puede considerarse como la forma más sencilla de pasteurización, por los bajos costos de instalación y lo rudimentario que puede ser el acondicionamiento del método (Sánchez y Royse, 2002).

Para este proceso se requieren paja picada en buen estado, bolsas de malla plástica, recipientes para calentar agua, leña o tanque de gas y quemadores. Se lleva a cabo depositando la paja en los contenedores de malla atadas a una cuerda, a efecto de bajar y subirla a través de una polea fija a un travesaño, como se ilustra en la figura 51. Si no se cuenta con contenedores de malla, la paja puede sumergirse directamente en el agua.



Figura 51. Enseres y proceso de desinfección del sustrato utilizando agua caliente (López, 1995; Cisterna, 2002; Velasco y Vargas, 2004)

La producción de café, así como la obtención de azúcar de caña son, entre otros, algunos ejemplos destacados de agroindustrias que se establecen con gran frecuencia en varios países del área tropical y subtropical americana. Estas agroindustrias generan de forma colateral grandes cantidades de subproductos derivados del objetivo central de la actividad. Tales subproductos son, respectivamente, la pulpa de la cereza del café y el bagazo de caña de azúcar agotado (Milla, 2007).

Las circunstancias comunes que tienen estos subproductos son que en estado fresco, contienen cantidades apreciables de materiales fácilmente fermentables, susceptibles de contaminaciones bacterianas y fúngicas, invasión de insectos, etc. Siendo así, necesitan ser homogeneizados y estabilizados para ser utilizados como sustratos. La solución general para materiales con estas características, así como en aquellos que poseen baja capacidad de retención de humedad es la fermentación natural.

El proceso de fermentación natural de la pulpa comienza con apilar el material (70-80% de humedad), en montones piramidales de 1-1.20 m de alto. El material se voltea al segundo o tercer día de haberse iniciado la fermentación aerobia. Después de 5 ó 6 días la pulpa de café estará lista para ser inoculada (hasta 40 días en el caso de bagazo de caña). Este proceso de fermentación reduce sensiblemente el volumen de la pulpa de café y la transforma en un material física y químicamente homogéneo, con buena estructura y consistencia. Según Sánchez y Royse (2002), con este procedimiento se han logrado excelentes rendimientos en *P. ostreatus*, con eficiencia biológica media de 175%.

La variante de secado al sol y almacenado posterior de la pulpa de café está motivada por la disponibilidad variable y dispersa de este material en las regiones productoras. Además, la pulpa fresca sólo está disponible 5-6 meses al año. Por estos motivos, tras obtenerse del beneficio de café, la pulpa de café puede ser secada al sol, de manera uniforme, durante un período de 4-6 días. Luego se lava y deshidrata nuevamente al sol. Una vez físicamente seca, puede almacenarse en sacos de plástico y usada incluso después varios años (hasta 7 años por experiencia propia). No obstante, antes del almacenado debe quedar completamente libre de mohos para evitar posteriores contaminaciones.

Al ser utilizada para la elaboración del sustrato, la pulpa desecada debe ser re-hidratada por medio de una inmersión en agua. Tras esta operación, el material está apto para el tratamiento de desinfección ya que no precisa una fermentación. La desinfección de la pulpa de café fermentada o re-hidratada se hace por inmersión en agua caliente, en la forma indicada para el caso de pajas de gramíneas (Sánchez y Royse, 2002).

En Guatemala es común la utilización del olote de maíz para producción de hongo ostra. En este caso, el olote es fragmentado haciendo cortes transversales y luego se trata mediante inmersión durante 2-3 días y a temperatura ambiente en una mezcla de agua con cal (carbonato de calcio) a razón de 20 g de cal por litro de agua. Tras el escurrido con una humedad final en torno al 70%, el sustrato debe ser inoculado lo antes posible.

4. Inoculación del sustrato

Para realizar la siembra se recomienda acondicionar un lugar, fácil de limpiar, que tenga una temperatura agradable, que esté aislado y sin corrientes de aire. La siembra se puede realizar manualmente en condiciones de asepsia rigurosa sobre una mesa adaptada para el caso (figura 52) o con un mezclador mecánico si se cuenta con el equipo. La semilla se agrega y distribuye de la manera más homogénea posible con el sustrato, ya mezclados, ambos se colocan dentro de la bolsa o contenedor que se emplee para tal fin. Una vez terminada la siembra, se debe cerrar el recipiente para evitar contaminaciones y la pérdida de humedad del sustrato, así como para permitir que se incremente la concentración de CO₂ en el recipiente; ya sea con un amarre propio (nudo) o con una cuerda delgada. Estas condiciones son necesarias para favorecer rápido crecimiento y la colonización del sustrato por el hongo. Se recomienda que entre el sustrato y el amarre quede un espacio suficiente para permitir que cuando se haga el picado del plástico no se toque el sustrato. Al bloque hongo-sustrato así formado se le denomina *tronco sintético* o *pastel*. La temperatura del sustrato al momento de la siembra debe ser de 24 a 25° C (cuando todavía está tibio), no se debe sembrar con paja caliente porque se muere el micelio, por otra parte si se siembra con paja fría se retrasa el crecimiento (Velasco y Vargas, 2004).



Figura 52. Inoculación del sustrato y llenado de contenedores (Velasco y Vargas, 2004)

La inoculación del sustrato con el micelio se puede llevar a cabo también colocando capas alternas de sustrato y micelio, hasta cubrir la capacidad deseada de la bolsa. La semilla en grano (maicillo o trigo) es la más común en la actualidad porque permite

obtener un micelio vigoroso, con buenos puntos de crecimiento por kilogramo de grano.

La tasa de inoculación es la cantidad de semilla que se usa en función de la cantidad de sustrato que se pretende inocular. En el caso de especies de *Pleurotus* se han usado tasas de inoculación que varían entre 2 y 15 por ciento del peso húmedo del sustrato. Por ejemplo, para una tasa de inoculación del 5%, por cada 100 Kg de paja húmeda se deben usar 5 Kg de semilla. La definición de este valor depende de las características tanto de la cepa y del inóculo, como del sustrato donde se siembra. Mientras más baja sea la tasa de inoculación, menor será el costo por compra del inóculo, pero mayor el tiempo requerido para que el hongo colonice el sustrato. Además, a mayor tiempo para colonización mayor será el riesgo de contaminación. De lo anterior, la cantidad de semilla utilizada no afecta directamente el rendimiento; sin embargo, el uso de más semilla acelera la colonización del sustrato (Sánchez, 2004).

Debido al hábito de crecimiento que presenta *Pleurotus ostreatus* en general, para su cultivo se utilizan recipientes que presentan mayor superficie lateral que transversal. Lo ideal sería maximizar el área superficial para determinado volumen del contenedor. El material más utilizado como contenedor son las bolsas plásticas de polietileno blanco para poder observar el crecimiento del micelio y detectar de manera oportuna aquellos que presentan contaminantes. Las dimensiones de las bolsas que se usan pueden ser de 35x60 cm o de 60x90 cm, con una resistencia de hasta 15 Kg.

Es importante destacar que la densidad con que son sembradas las bolsas es un factor determinante en el buen desarrollo vegetativo del hongo que se lleva a cabo en esta etapa del cultivo. Si las bolsas son llenadas con paja muy compactada lograremos incorporar más sustrato al ciclo de cultivo pero las bolsas tendrán un intercambio gaseoso muy deficiente produciéndose al centro una fermentación anaeróbica que elevará la temperatura del sustrato por sobre el óptimo y evitará el crecimiento del hongo en ésta área. Si por el contrario la compactación es muy laxa quedarán muchas zonas con aire y se incorporará menos sustrato al ciclo de cultivo disminuyendo los rendimientos. Estas indicaciones sobre inoculación y las que continúan son totalmente aplicables también, al menos y con toda probabilidad de éxito, al utilizar pulpa de café como sustrato.

5. Incubación

La incubación se refiere al período necesario para que el hongo colonice completamente el sustrato. Tras la inoculación los contenedores se colocan en un lugar oscuro o poco iluminado, durante 12 a 18 días, a una temperatura de 24 y 28 grados centígrados y humedad relativa de 75-80%. Cuando la temperatura excede los 30° C el ritmo de crecimiento se vuelve lento llegando a la detención total. Si la temperatura baja, el riesgo de contaminación por hongos competidores es mayor y cuando es de 4° C o menos el micelio sufre daños graves y puede incluso morir (Velasco y Vargas, 2004).

En la sala de incubación las bolsas se apilan una sobre otra a dos niveles con tablas de madera entre cada nivel (figura 53). El monitoreo debe efectuarse en esta etapa diariamente, levantando las bolsas para chequear la incidencia de plagas y enfermedades (López, 1995).



Figura 53. Disposición de las bolsas en pila, durante la fase de incubación (López, 1995)

Cuando el mismo ambiente físico funge a la vez como sala de incubación y de fructificación, los contenedores suelen colocarse durante la incubación sobre blocks sujetas con rafia (pita) a una armazón aérea de alambre de amarre, o en estantes como se observa en la figura 54.



Figura 54. Izquierda: Bolsas sujetas a una armazón aérea de alambre de amarre (Cisterna, 2002) Derecha: Bolsas colocadas en estantes (López, 1995)

Una vez sembrado el hongo inicia su crecimiento sobre el sustrato, durante las primeras 24 horas el micelio crecerá poco debido a que debe adaptarse al cambio del medio y por la manipulación que se hace es dañado un poco y debe recuperarse. El crecimiento acelerado inicia aproximadamente a las 48 horas, dependiendo de las condiciones ambientales. Durante este período se observará que el micelio invade desde los granos hacia el sustrato produciendo un recubrimiento gradual (Figura 55). Durante la incubación, tres o cuatro días después de haber efectuado la siembra, se hacen perforaciones en la parte superior de la bolsa de polietileno con una aguja de disección perfectamente distribuidas a 2 cm una de la otra; y de preferencia, sin tocar el sustrato. Esto se hace porque inicialmente se requiere una concentración alta en CO_2 para estimular el crecimiento micelial, pero pasados estos niveles, el CO_2 limita el desarrollo y es necesario facilitar el intercambio con aire fresco (López, 1995).



Figura 55. Invasión del sustrato durante el período de incubación. Izquierda paja de cereal (Cisterna, 2002). Derecha pulpa de café a los 5 días de la inoculación.

Cuando finaliza el período de incubación algunos productores proceden a retirar completamente la bolsa. Al hacerlo es necesario ejercer mayor control sobre la humedad del sustrato dado que tiende a disminuir con facilidad. En condiciones artesanales de producción se acostumbra colocar sobre el piso, ladrillos con alta capacidad de retención de humedad para mantener condiciones de alta humedad ambiental y con ello, evitar la pérdida de humedad del sustrato. Esta opción es utilizada al disponer los contenedores en estantes.

Cuando se elige por no retirar completamente la bolsa al final del período de incubación, a los 8-14 días de la siembra, además de las perforaciones mencionadas; se procede a realizar cortes verticales de 5 cm de longitud con navaja estéril o bisturí, separados uno del otro verticalmente 5 cm y distribuidos en hileras cada 10 cm hasta cubrir toda el área lateral de las bolsas con sustrato (Figura 56). Por éstas ranuras emergerán los carpóforos en la fase de fructificación.

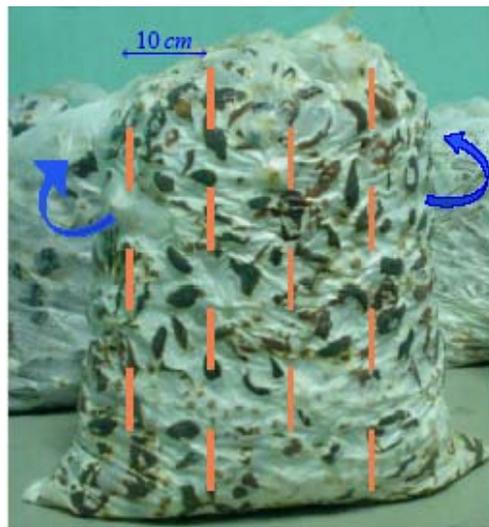


Figura 56. Distribución de los cortes sobre la bolsa con sustrato, por donde emergerán los carpóforos

6. Inducción y fructificación

Cuando el micelio ha colonizado el sustrato de tal manera que ya no se distingue el aspecto ni la coloración del sustrato inicial, sino que al contrario éste se ve como una masa compacta de superficie homogénea blanco-algodonosa (figura 77a); se realizan ajustes ambientales para inducir al micelio a formar cuerpos fructíferos. Dependiendo del sistema de producción, las bolsas pueden ser trasladadas de la sala de inducción a la sala de fructificación, o bien, simplemente proceder a modificar las condiciones ambientales de la sala de incubación. Con esto, está claro que la formación de carpóforos requiere de una modificación del comportamiento normal invasivo del micelio vegetativo (López, 1995).

Para inducir la formación de primordios se requiere una temperatura de 18-26° C, humedad relativa de 85-95% y ventilación continua para que la circulación de aire fresco favorezca el descenso de la temperatura y la concentración de CO₂ ambiental. La iluminación también debe modificarse de total oscuridad a 8-12 horas de iluminación por día. Cuando se producen setas de manera artesanal, la modificación de las condiciones ambientales puede lograrse por ejemplo:

- Abriendo puertas y ventanas, para permitir la ventilación, el descenso de la temperatura al interior de la sala de fructificación y brindar iluminación con la luz del día. Aunque la infección por hongos patógenos en esta fase es poco probable, es necesario colocar algún tipo de malla o cedazo de 16 mesh (16 orificios por pulgada lineal) en puertas y ventanas para evitar el ingreso y la proliferación de insectos.
- Aplicando riego para aumentar la humedad y regular la temperatura utilizando manguera o regadera para humedecer los ladrillos colocados sobre el piso, o bien, una bomba manual de mochilla para asperjar directamente sobre los pasteles.

En otras condiciones de producción, las salas de fructificación suelen tener sistema de aire acondicionado, ventiladores y extractores para controlar la temperatura y ventilación. Lámparas fluorescentes (150-200 lux) para proveer iluminación y sistema de riego de gota fina (nebulización) para controlar la humedad del sustrato y la humedad relativa (Milla, 2007). Dos o tres días después de la inducción, se forman pequeñas protuberancias aglomeradas llamadas primordios (Figura 77 b), los cuales crecen y expanden durante 5 a 6 días hasta formar los carpóforos como se ve en la figura 57.

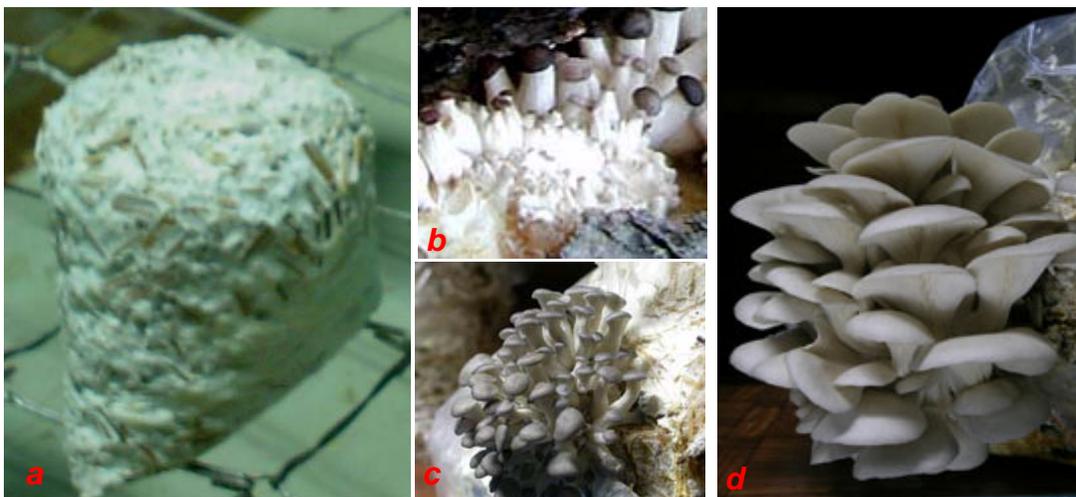


Figura 57. Desarrollo de los carpóforos a partir de la inducción (Milla, 2007)

7. Cosecha

7.1 Condiciones ambientales y distribución

La cosecha se inicia a los 5 ó 6 días después de la aparición de los primordios mientras que las subsiguientes oleadas se obtienen a intervalos de 8 a 10 días. Con la cepa ECS-112 de *Pleurotus ostreatus* por ejemplo, la cosecha de carpóforo comienza a 17-21 después de haber mezclado la semilla con el substrato (inoculación). Aun cuando las condiciones ambientales se mantienen invariables respecto a aquellas requeridas para inducción, la frecuencia de riego debe incrementarse luego de la primera oleada, cuando las fructificaciones de la siguiente están en pleno proceso de formación. Otro factor climático que no debe descuidarse durante la cosecha es la ventilación, porque las altas concentraciones de bióxido de carbono junto a situaciones de iluminación insuficiente, repercuten en un desarrollo anormal de los carpóforos, generalmente caracterizado por el alargamiento excesivo de estípite como se observa en la figura 58.



Figura 58. Crecimiento excesivo del estípite (Cisterna, 2002)

La cosecha se hace con una navaja desde la base del pie, cuando el sombrero tiene una consistencia compacta y está totalmente extendido, pero sin tener el margen enrollado hacia arriba como se observa en las figuras 57d y 59. Los hongos producidos deben tener apariencia robusta y con un pie lo más corto posible. Los Carpóforos del hongo ostra se desarrollan en grupos o en forma solitaria. Cuando el desarrollo es en grupos es muy común que los más pequeños sufran un fenómeno de regresión, que se caracteriza por un marchitamiento progresivo en las primeras etapas de desarrollo. Esto es inevitable y ocurre incluso en la naturaleza por lo que el fungicultor no debe modificar factores ambientales cuando observe éste fenómeno (Cisterna, 2002).



Figura 59. Cosecha de carpóforos maduros y vestimenta de los operarios: gorro, mascarilla y cuchillo (Cisterna, 2002)

El hongo ostra como la mayoría de los hongos comestibles cultivados, presentan varias oleadas de fructificación cuando las condiciones ambientales son constantes por un período prolongado de tiempo. Se recomienda aprovechar la producción hasta la tercera oleada, ya que el 80 por ciento de la producción se obtiene durante las primeras 2 oleadas. Los hongos de cada oleada deben ser cosechados en su totalidad, sin importar si algunos de los carpóforos del grupo son de tamaño reducido, ya que al sacar uno o más el resto de los carpóforos rápidamente se secan o se descomponen dependiendo de la humedad ambiental.

En un estudio de evaluación de varios sustratos y sus correspondientes mezclas para la producción de *Pleurotus ostreatus* ECS-112 en condiciones artesanales, el mayor rendimiento en peso fresco se obtuvo en la primera oleada y disminuyó en las subsiguientes cosechas. En promedio, en la segunda oleada se obtuvo el 85.52 por ciento de la producción total obtenida hasta la tercera oleada. En la figura 60 se muestra el peso, en gramos, registrada por oleada en cada uno de los sustratos.

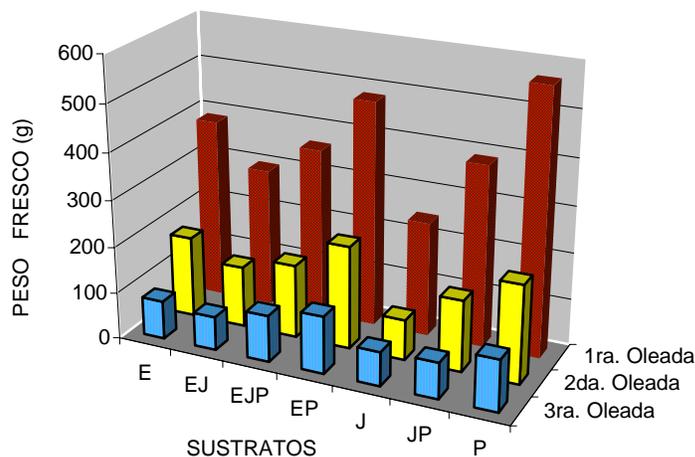


Figura 60. Comportamiento de la producción de carpóforos de *Pleurotus ostreatus* ECS-112 en tres oleadas sobre diferentes sustratos.

7.2 Indicadores de rendimiento y calidad

El objetivo de todo proceso de producción es alcanzar los mayores rendimientos. Para esto es necesario contar con parámetros tanto cuantitativos como cualitativos que permitan evaluar los resultados obtenidos, para tomar decisiones oportunas en torno a las condiciones en las que se está llevando a cabo el proceso. En el presente apartado se presentarán algunos criterios que facilitarán tomar idea de la eficacia del sistema productivo.

a) Eficiencia biológica (EB)

Para expresar el grado de producción de biomasa fúngica a partir de la biodegradación del sustrato, el concepto generalmente aceptado es la eficiencia biológica; que es la relación en porcentaje, entre el peso fresco de hongos producidos y el peso seco de sustrato empleado. La eficiencia biológica depende esencialmente de las características físico-químicas del sustrato a utilizar. Según Salmones *et al.* (1997), la calidad productiva de un sustrato se percibe como aceptable a partir de eficiencias biológicas del 100 por ciento. Una eficiencia biológica del 100 por ciento es equivalente a decir que de un sustrato con un contenido de agua de 75 por ciento, el 25 por ciento de su peso húmedo será recogido en carpóforos frescos, cuyo contenido de agua es en promedio 90 por ciento (Duque, 1999). En términos sencillos, cada bolsa de un kilogramo de sustrato seco deberá producir 1 kilogramo de hongo fresco en total.

Según Sánchez *et al.* (2007), al cultivar *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café se han reportado eficiencias biológicas de 34.03 hasta 176 por ciento, de 19.9-142.6% en paja de trigo y de 14.15-146.77% en bagazo de caña de azúcar. Esto significa que con el mismo sustrato se pueden obtener rendimientos tanto arriba como abajo del 100% que constituye el referente aceptable. Ante esto, no cabe duda que la principal tarea del fungicultor deba ser sin más, determinar la mejor forma de preparar el sustrato y lograr las condiciones ambientales óptimas de cultivo, a fin de alcanzar cada vez mayores rendimientos para aprovechar al máximo el potencial productivo del sustrato y la cepa utilizada.

b) Período productivo y razón de producción

Por otra parte, debido a los problemas del desarrollo de plagas en contenedores con mayor tiempo en la sala de fructificación y el número máximo de ciclos productivos anuales, un aspecto importante para la selección de sustratos apropiados y selección de cepas para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* es la cinética de fructificación.

Previo a analizar el período productivo y la razón de producción, es necesario hacer un resumen del ciclo del cultivo de *Pleurotus ostreatus*. El cuadro 14 contiene el tiempo promedio requerido para cada una de las etapas del proceso de cultivo en condiciones artesanales de producción, asumiendo una capacidad instalada para 100 bolsas de 4.4 kilogramos de paja de gramíneas con 70% de humedad.

Cuadro 14: Duración media de un ciclo de cultivo de *Pleurotus ostreatus*

Fase del cultivo	Descripción	Tiempo en días
Acondicionamiento de salas	Desinfección y vaciado del ciclo anterior	4
Preparación del sustrato	Picado	1
	Humectación	2
Siembra e incubación	Siembra	1
	Incubación	15
Fructificación	Inducción - aparecimiento de primordios	3
Cosecha	Primordios - primera cosecha	5
	Hasta la tercera cosecha	18
TOTAL		49

Con base a la información del cuadro anterior, en promedio el ciclo de cultivo de *Pleurotus ostreatus* comprende un total de 49 días. Dado que el período de preparación del sustrato transcurre en forma paralela y sincronizadamente previo a la finalización del ciclo anterior, prácticamente el ciclo de cultivo resulta ser de 46 días (49-3 días). Ante esta situación, para un ciclo de cultivo de 46 días siguiendo el sistema de producción artesanal, se pueden hacer 7.93 ciclos del cultivo al año en la misma sala de fructificación.

Si a los 46 días le restamos el tiempo requerido para acondicionar las salas de fructificación, resulta un período productivo de 42 días contados a partir de la inoculación. Tomando como base una eficiencia biológica de 100%, la razón de producción (Rp) resulta ser de 3.14 kg/día. Siendo este un referente teórico de la razón de cambio de la producción de carpóforos respecto al tiempo y un indicador de la capacidad instalada, el objetivo para todo productor sería entonces superar este valor, seleccionando una cepa y un sustrato que de manera integral con el manejo del cultivo permita aumentar la eficiencia biológica o reducir el período productivo, pero sobre todo aprovechar al máximo el espacio físico de la sala de fructificación a fin de introducir al sistema productivo de bioconversión ecológica, la mayor cantidad de sustrato posible.

c) Razón y tasa de bioconversión

Considerando que la producción de hongos comestibles constituye un proceso de bioconversión ecológica, el objetivo de la planta productora de ostra también es la transformación de la mayor cantidad del material lignocelulósico residual incorporado al proceso como materia prima, en alimento proteico.

Al respecto se ha encontrado que finalizada la cosecha de *Pleurotus ostreatus*, el contenido de celulosa y la lignina del sustrato se reduce en un 80% (tasa de bioconversión). Si bien esto es equivalente al consumo de la Fibra Neutro Detergente (FND) contenida en el sustrato (Danelón, 2001), alto contenido de FND en la composición de los sustratos iniciales no siempre garantiza una eficiencia biológica igualmente mayor, dado que aún estando presente la fibra en el sustrato, puede ocurrir que el hongo no pueda ser capaz de utilizarlo. Un estudio de la producción de carpóforos de *Pleurotus ostreatus* ECS-112 en diferentes sustratos reveló que independientemente de la cantidad total de fibra utilizada por el hongo, la razón de bioconversión es constante y corresponde a 2.40 gramos de hongos fresco producidos por gramo de FND consumida; de manera que a mayor eficiencia biológica mayor consumo de FND y a menor eficiencia biológica menor consumo de FND.

Si bien este indicador de producción propio de cada cepa, no está al alcance del productor debido a los análisis de la composición de los sustratos, estadístico y de cálculo diferencial implícitos en su determinación; resulta de utilidad en los casos que se requiera estudiar el potencial productivo de nuevos materiales genéticos. Además de lo práctico de la noción clave, de que a mayor tasa de bioconversión, necesariamente mayor tendrá que ser la diferencia entre peso del sustrato inicial y el peso final del sustrato residual.

d) Parámetros de calidad

La calidad de los carpóforos de *Pleurotus ostreatus*, radica básicamente en hacer la cosecha a tiempo y mantener control en la iluminación y ventilación para evitar estípite largos. Siendo así, los indicadores para juzgar la calidad de los carpóforos son: Estípite corto, pileo convexo con margen liso, himenio con lamillas absolutamente blancas, consistencia dura y seco al tacto, sin restos de sustrato, daños mecánicos o provocados por insectos. Los carpóforos con características de calidad disminuida presentan aspecto blando, traslúcidos y amarillentos. En cuanto al tamaño tanto grandes como pequeños son igualmente aceptables (Cardona, 2001).



Figura 61. Izquierda: Carpóforos que reúnen parámetros de calidad, Derecha: Carpóforos deteriorados y estípite alargado.

7.3 Manejo de poscosecha

La conservación del carpóforos de hongo ostra, como la de cualquier otro alimento, se realiza con el fin de mantener durante un tiempo más o menos prolongado sus capacidades nutricionales y organolépticas, así como de proporcionar una apariencia general del producto que sea aceptable por el consumidor. La vida de anaquel de *Pleurotus ostreatus* se puede prolongar y su pérdida de humedad se reduce al mantener dichos cuerpos en lugares a concentraciones de CO₂ del 25% en bolsas de plástico o en cámaras de almacenamiento con hielo y temperaturas de 1.5-5° C (Sánchez, 1994). Los métodos de conservación son: refrigeración, congelado, secado o deshidratación, conservas y enlatado, los cuales fueron discutidos en el capítulo anterior.

8. Contaminantes, plagas y enfermedades

Aunque se pueda proporcionar cierta protección durante el proceso de elaboración del sustrato, el cultivo de *Pleurotus ostreatus* está expuesto, como cualquier otro cultivo, a alteraciones que pueden ocasionar descensos en el rendimiento o bien depreciar la calidad comercial del producto y pueden presentarse en cualquier fase del ciclo de cultivo, afectando de manera adversa la cosecha final. Por esto es aconsejable reconocerlas en

un estadio temprano con el fin de limitar la extensión de los daños.

El cultivo de setas y de champiñón, comparten la mayoría de las plagas y enfermedades. Esta situación puede originar problemas adicionales en algunas regiones en las que las explotaciones de champiñón y de especies de *Pleurotus* (setas) se encuentran entremezcladas. Por ello, ante un fuerte ataque de cualquier patógeno en champiñón, los cultivos más próximos al hongo ostra se pueden ver afectados.

8.1 Plagas

a) Colémbolos

Son insectos diminutos sin alas 1.5 mm de longitud, que forman pequeñas galerías secas y de sección oval en el contexto de los hongos. Se encuentran en gran cantidad entre las laminillas del himenio que hay bajo el pileo del carpóforo. También pueden atacar al micelio si el sustrato está demasiado húmedo. Destaca la especie *Hypogastrura armata*, que también se alimenta de las esporas del hongo (figura 62).



Figura 62. *Hypogastrura armata* (Sánchez, 1994)

b) Dípteros

Como en el caso del champiñón, los cultivos de *Pleurotus ostreatus* pueden ser afectados por Esciáridos, Fóridos y Cecidómidos. El daño lo causan sus larvas que se comen las hifas del micelio, hacen pequeñas galerías en los estípites de las setas y luego en los pileos. En el caso de los Cécidos destacan algunas especies de moscas de los géneros *Heteropeza* y *Mycophyla*. Las larvas de estos insectos frecuentemente aparecen después de cosechados los carpóforos, durante el almacenamiento o transporte a los centros de acopio.

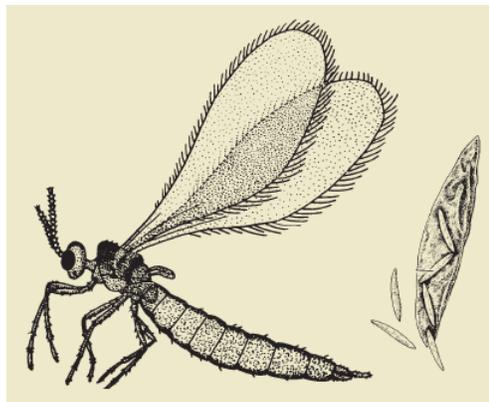


Figura 63. Adulto y larvas de un Cecidómido (Sánchez, 1994)

Para el control de colémbolos y de dípteros se recomiendan medidas preventivas como colocación de filtros junto a los ventiladores, eliminación de residuos, tratamiento térmico de los sustratos para eliminar huevos y larvas, etc. También pueden emplearse distintos insecticidas: diazinón o malatión en polvo mezclados con el sustrato, nebulizaciones con endosulfán o diclorvos (Sanches y Royse, 2002).

8.2 Enfermedades

a) Telaraña (*Dactylium dandroides*)

Los filamentos de este hongo crecen rápidamente y se extienden sobre la superficie del sustrato y de las setas, cubriéndolas con un moho blanquecino, primero ralo y luego denso y harinoso. En las partes viejas las formas perfectas forman puntos rojizos. Los ejemplares atacados se vuelven blandos, amarillento-parduscos y se acelera su descomposición. Puede atacar a las setas recolectadas. Esta enfermedad aparece con humedad excesiva, el calor y la escasa ventilación. Para su control se deben cubrir con cal viva en polvo, sal, formalina 2% o soluciones de benomyl las zonas afectadas. También se puede emplear zineb, mancozeb, carbendazin o thiabendazol (Sánchez y Royse, 2002).

b) Hongos verdes

Esta denominación engloba a numerosos hongos pertenecientes a los géneros *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Gliocladium*, fundamentalmente, que se caracterizan por tener en común la coloración verdosa de las fructificaciones conídicas y por desarrollarse preferentemente en el sustrato durante el curso de la incubación. Aunque también, representan problema en el laboratorio durante la producción de semilla.

A diferencia de la mayoría de hongos competidores, las especies de *Trichoderma* no dependen exclusivamente de los nutrientes solubles fácilmente disponibles, ya que también son capaces de descomponer la celulosa del sustrato (Stolzer y Grabbe, 1991). Esta característica junto a su capacidad para funcionar eficazmente como saprófitos o parásitos y su elevada tasa de crecimiento, les convierte en los hongos más dañinos del cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

Trichoderma invade rápidamente el sustrato y obstaculiza el crecimiento del micelio de *Pleurotus* mediante la producción de toxinas y antibióticos, al tiempo que ocasiona un descenso del nivel de pH hasta valores de 4-5, que son más favorables para su desarrollo. Inicialmente se puede observar en el sustrato un moho de color blanco que vira a verde, adquiriendo posteriormente color gris verde-azulado debido a la abundante producción de conidios. Para evitar la aparición de *Trichoderma* puede intentarse ajustar el pH del sustrato a valores alrededor de 7.5, utilizando para ello caliza o procesos de fermentación cortos (Stölzer y Grabbe, 1991).

Penicillium, es otro competidor de coloración verde. Su manifestación se ve favorecida por la aplicación de tratamientos térmicos insuficientes y por la falta de medidas higiénicas en las áreas de siembra e incubación. Se ha detectado en sustrato recién elaborado y a lo largo de las fases de incubación y fructificación. Suele aparecer en las aberturas de paquetes en los que se produce condensación de la humedad, impidiendo así la fructificación normal de los carpóforos. La figura 64 muestra el complejo de hongos verdes contaminantes.

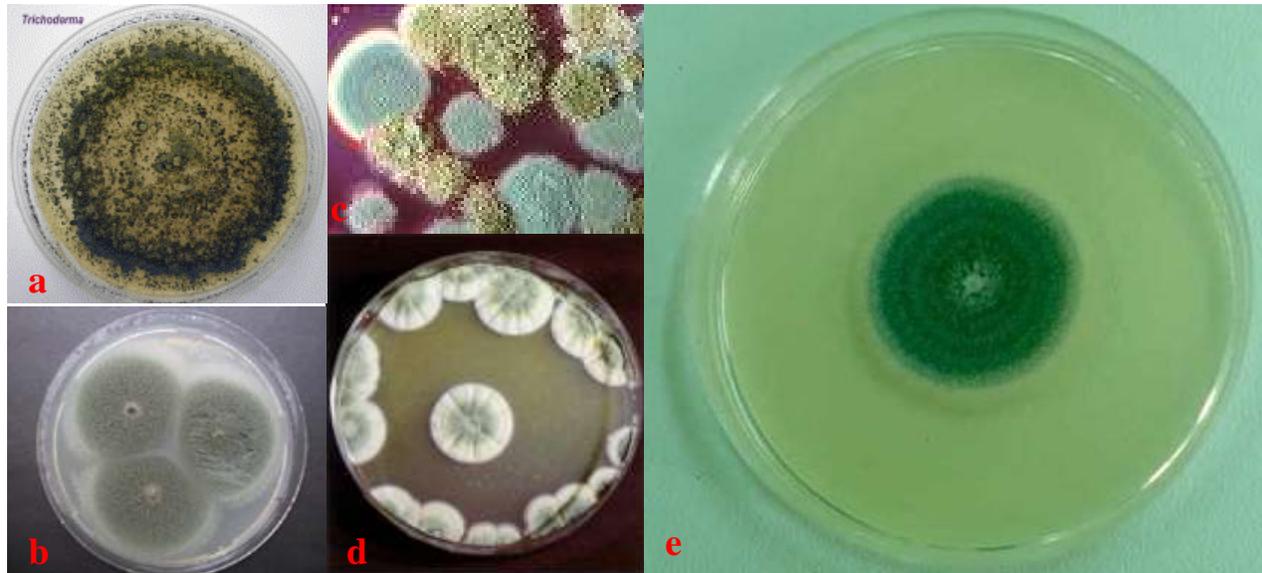


Figura 64. Contaminantes comunes en el laboratorio y durante el cultivo de *Pleurotus ostreatus*: (a) *Trichoderma*, (b) *Aspergillus fumigatus*, (c) *Aspergillus* y *Penicillium*, (d) *Aspergillus* y (e) *Penicillium* (Milla, 2007)

Una vez finalizado el ciclo del cultivo, es necesario lavar la sala de fructificación con bastante agua y cloro, aplicar a las superficies y alrededores Sulfato de Cobre y encalar las paredes para evitar la incidencia hongos contaminantes. La figura 65 muestra una sala de fructificación lista para ser utilizada nuevamente. También es necesario limpiar y desinfectar con formol al 2% las superficies contaminadas y eliminar rápidamente del área de la explotación todo sustrato infectado, ya que la abundante producción de esporas puede contaminar otros sustratos hasta entonces sanos.



Figura 65. Sala de fructificación acondicionada para el siguiente ciclo de cultivo (Fernández, 2004)

9. Aspectos económicos

La estimación del costo de producción y la rentabilidad del cultivo del hongo ostra puede hacerse por medio del cálculo de los gastos en las dos etapas de su producción: Microbiológica u obtención de semilla y producción de carpóforos. Según la situación

prevaleciente, un cultivador puede comprar semilla o sustrato de otra empresa y solamente ocuparse de la producción de setas y del mercadeo, o bien, puede establecer una empresa integrada que tenga todas las facilidades necesarias para producir semilla, el sustrato, cultivar, procesar y vender los hongos. Según el caso, la inversión (equipo, maquinaria), los gastos de establecimiento de la empresa y acondicionamiento de instalaciones en desuso (infraestructura), así como otros costos fijos y los costos variables diferirán en los dos casos.

En términos generales los costos fijos incluyen: sueldos; gastos administrativos, depreciación de la infraestructura, equipo y maquinaria; interés sobre el capital prestado. Por otra parte, los costos variables incluyen los costos del sustrato, semilla, material de empaque, mano de obra, agua, electricidad y otros gastos incurridos de naturaleza similar, así como el interés de mantener el capital trabajando. Es obvio que el costo variable es determinado por la cantidad de inversión hecha, o en otras palabras, por la magnitud de la capacidad instalada y las capacidades técnicas de la empresa. Para fines ilustrativos de aspectos económicos relacionados con el cultivo, en esta sección se analizan los costes y la relación beneficio-costos en la producción de *Pleurotus ostreatus* en condiciones artesanales, según experiencias en la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA) con los Proyectos Productivos Estudiantiles.

Para el caso específico de producción de carpóforos, se han aprovechado instalaciones construidas con fines docentes, lo que ha permitido acondicionar un ambiente físico de 25 metros cuadrados como sala de siembra, incubación y fructificación a la vez. Por la disponibilidad y capacidad de almacenamiento de materia prima, como sustrato se ha empleado el pasto Jaragua (*Hyparrhenia rufa*), con el cual se obtiene en promedio una eficiencia biológica de 110%. Partiendo de estos preceptos y para un nivel de producción de 50 contenedores de 4.4 kilogramos de sustrato húmedo cada uno, los costos, beneficios y relación beneficio-costos, al final del séptimo ciclo de producción, son los que se indican el cuadro 15.

Cuadro 15. Costos, beneficios y relación beneficio-costos en el cultivo de *P. ostreatus*

Período	Costo	Costo actual	Beneficio actual	Beneficio Neto	B. Neto Acumulado
Período 0	286.50	286.50	0.00	-286.50	
Período 1	327.57	321.04	470.08	149.04	-137.46
Período 2	327.57	314.64	460.71	146.07	8.62
Período 3	327.57	308.36	451.52	143.16	151.78
Período 4	327.57	302.21	442.52	140.30	292.08
Período 5	327.57	296.18	433.69	137.51	429.59
Período 6	327.57	290.28	425.04	134.76	564.35
Período 7	327.57	284.49	416.56	132.08	696.42
TOTALES	2579.51	2403.70	3100.13	696.42	
Rendimiento:		1,492 bolsas	$B/C = \frac{3,100.13}{2403.70} = 1.29$		
Costo unitario:		\$1.73			

Observación: cantidades en USD\$, para una tasa de cambio de Q8.00 por \$1.00 (Tasas de descuento:2.04% por ciclo)

Con base a los costos de acondicionamiento del local, depreciaciones, de inversión, insumos, mano de obra y la proyección de ingresos para un nivel productivo por período

(ciclo productivo) de 50 contenedores que producen en total 213 bolsas de 340.5 g (12 onz) de peso fresco de hongos por bolsa; se obtiene que la relación beneficio costo de 1.29, lo cual significa que se recupera el quetzal invertido y se obtienen 29 centavos de ganancia. El costo unitario asciende a Q13.84 (\$1.73) y el capital de inversión se recupera en el segundo ciclo de producción. Consecuentemente, dada la eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* sobre pasto Jaraguá, con un período productivo de 44 días (40 desde la inoculación), para un precio de venta de Q18.00 (\$2.25) por bolsa, es rentable en condiciones artesanales de producción.

Además del indicador económico favorable a partir de una eficiencia biológica aceptable, cabe analizar algunos otros indicadores de rendimiento que caracterizan al este sistema de producción. Al respecto, la razón de producción corresponde a 1.82 kg/día, por debajo de la asumida como media de 3.14 kg/día en condiciones artesanales, lo cual es razonable debido a la menor cantidad de sustrato incorporado al sistema. Ante esto cabría estudiar la posibilidad de incrementar la cantidad de sustrato utilizado por ciclo.

Con relación a la tasa de bioconversión, de los 1.32 Kg de sustrato seco por bolsa, están siendo retornados al ambiente como sustrato residual sin ser transformados a biomasa fúngica un total de 0.715 Kg (54.17%), de acuerdo con la razón de bioconversión citada anteriormente para la cepa ECS-112 de *Pleurotus ostreatus* de 2.40 gramos de hongos frescos producidos por gramo de sustrato seco consumido. De ello se deduce que la tasa de bioconversión corresponde a 45.83%. En estas condiciones la necesidad de mejorar la bioconversión es obvia, que todo caso podría lograrse haciendo cambios en la preparación del sustrato para mejorar la disponibilidad de los componentes lignocelulósicos presentes en el mismo o realizar análisis bromatológico del sustrato para determinar si la composición del sustrato en lo que respecta a la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina representa un factor limitante para alcanzar una tasa de bioconversión cercana al 80%.

Por otro lado, es claro que tratándose de niveles productivos en condiciones artesanales, existe dependencia del suministro oportuno de semilla de calidad a precios razonables, por lo que constituye un aspecto que merece especial atención, puesto que puede convertirse en un factor limitante de cualquier esfuerzo de producción. Por lo tanto, cualquier aventura comercial debe preferir tener sus propias instalaciones para producción de semilla para que el ciclo de crecimiento y los compromisos del mercado puedan ser mantenidos de manera armónica. La dependencia a determinado laboratorio del suministro de semilla trae consigo riesgos de no disponer de ella en momentos cruciales, incertidumbre en la cantidad, calidad, precios altos y consecuente incremento de los costos de producción, deterioro de la semilla durante el transporte etcétera.

Para la producción de semilla de calidad, se requiere un laboratorio equipado y operado por técnicos bien entrenados y trabajadores calificados. Esto significa inversión pero vale la pena, ya que puede convertirse en un proceso auto sostenible, por medio de la producción de: 1) Cantidades extras de semilla a cultivadores pequeños, 2) Cultivos puros de varios hongos para venta a otros laboratorios y 3) *Rhizobium* o micorrizas que se están volviendo populares como agentes de control biológico o biofertilizantes en una diversidad de cultivos agronómicos. En el anexo 1 y 2 se muestra parte del equipo, materiales y análisis económico de un laboratorio de producción de inóculo.

En años recientes, la producción mundial de hongos comestibles se ha incrementado rápidamente (Royse, 1996). Uno de los géneros más sobresalientes es *Pleurotus* el cual se cultiva en muchos países, especialmente en las naciones en desarrollo. Es previsible que continúe incrementándose en todo el mundo debido al aumento sostenido del consumo en el orden del 13% anual (Rodríguez, 2007). Aunque los sustratos utilizados para el cultivo de las variedades de *Pleurotus* spp., no incluyen estiércoles como en el caso del champiñón, se deben considerar cuidadosamente los aspectos ambientales de esta actividad productiva para evitar problemas de diversa índole.

Las consideraciones ambientales deben tomar en cuenta el ciclo entero de cultivo y de utilización completa del sustrato. Solamente un esquema de producción basado en este criterio puede asegurar que el producto será el resultado de un sistema integrado de producción ambientalmente amigable; por lo que debe involucrar el manejo del sustrato degradado por los hongos (SDH), sustrato remanente o residual como también suele llamársele. Por ejemplo, en áreas productivas donde el pasto Jaraguá es considerado una maleza (Porque no constituye el bien principal de aprovechamiento), se convierte en un material lignocelulósico que dificulta utilizarlo como heno para alimentación del ganado. Usualmente se pica e incorpora al suelo o en algunos casos se quema, con lo que causa contaminación ambiental. Sin embargo, en este capítulo se ha planteado utilizarlo como sustrato económicamente viable para la producción de hongo ostra.

Al respecto, estudios recientes han confirmado que luego del ciclo productivo de *Pleurotus ostreatus*, la composición del sustrato remanente muestra disminución significativa de la fibra neutro detergente y en el contenido de cenizas, mientras que el contenido de proteína aumenta. Este hecho brinda la posibilidad de biotransformación como suplo en la alimentación de rumiantes (Vacas, ovejas y cabras) y sus excretas a la vez puede proveer abono orgánico para uso en agricultura.

Otra posibilidad para establecer sistemas de producción integral partiendo del sustrato remanente de *Pleurotus* es someterlo a procesos de vermicompostaje y consecuente producción de abonos orgánicos para cultivos agrícolas, o bien, para producción de biomasa de lombriz como fuente de proteína para elaboración de alimentos para animales: Aves, porcinos y peces fundamentalmente. Esta práctica de reciclaje aprovecha varias de las ventajas derivadas de la actividad de algunas especies de lombrices (*Eisenia foetida* y *Eisenia andre*), las cuales aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica. El proceso de vermicompostaje se considera una ecotecnología limpia, sin impacto ambiental y cuyos costes de inversión, energéticos y de mantenimiento son moderadamente bajos (Rodríguez, 2007).

Abordadas las distintas fases que conlleva el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, es oportuno finalizar el presente capítulo indicando que el sistema de producción artesanal se diferencia en varios aspectos con el sistema industrial, destacando aquellas asociadas con los métodos utilizados para preparar el sustrato, la tasa de inoculación durante la siembra y el nivel de producción de la empresa. En el cuadro 16 se plantean éstas y otras diferencias que eventualmente pueden observarse.

Cuadro 16. Análisis comparativo entre niveles de producción artesanal e industrial

Respecto a:	Artesanal	Industrial
Sustrato	Un solo material lignocelulósico	Formulaciones enriquecidas con aditivos
Picado de la paja	Aperos agrícolas	Picadora estacionaria
Humectación	Recipientes de metal o plástico	Estanques de concreto y sistemas automatizados de humectación
Esterilización	Tratamiento con agua caliente, o con cal (CaCO_3)	Calor húmedo (túneles de pasteurización y autoclaves)
Siembra o inoculación	Manual, tasa de inoculación mayor al 2%	Mecanizada, tasa de inoculación menor al 2%
Control de factores ambientales	Abriendo puertas y ventanas, riego manual.	Sistema de aire acondicionado, sistemas de riego por nebulización
Fuente de la semilla	Externa y dependiente del suministro por parte de otra empresa	Interna e independiente: la producción de semilla es parte del sistema productivo
Infraestructura	Siembra, incubación y fructificación en un solo espacio físico	Sala de siembra, incubación y fructificación en diferente espacio físico.
Capacidad instalada	A lo sumo 440 Kg de paja húmeda por ciclo*	Mayor a 440 Kg de paja húmeda por ciclo

*100 bolsas de 35×60 cm con capacidad de 4.4 Kg de sustrato húmedo por bolsa.

Al respecto Sánchez y Royse (2002), [...]El nivel en el cultivo del hongo ostra también difiere ampliamente, desde nivel casero hasta un cultivo comercial pero aún en estos casos su tamaño y su capacidad son mucho más pequeñas en relación con las plantas productoras de champiñón[...]Se pueden distinguir y agrupar tres escalas diferentes de cultivo: Plantas pequeñas con menos de 400 bolsas por ciclo de cosecha, plantas medianas con 401-800 bolsas por ciclo de cosecha y plantas grandes con más de 800 bolsas por ciclo de cosecha. Generalmente se realizan ocho ciclos por año, con 34-45 días por ciclo[...].

CAPÍTULO V TECNOLOGÍA PARA OTROS HONGOS COMESTIBLES

1. *Lentinus edodes* (Berk.) Pegler

Comúnmente es conocido como: Shiitake, seta dorada del roble, seta negra del bosque, seta de madera de roble, seta china, seta fragante, konku. Entre las especies cultivadas industrialmente, el popular shiitake es la segunda seta más importante después del champiñón. Es un hongo de la pudrición blanca que se cultiva alrededor del mundo en trozos y sobre mezclas de subproductos agrícolas y forestales. Es una especie milenaria cultivada en Japón y China de donde se extendió a todo el Lejano Oriente y hace poco tiempo se inició el cultivo en Occidente (Stamets, 1993). *Lentinus edodes* crece naturalmente en clima subtropical húmedo, sobre maderas duras caducas de árboles de hoja ancha muertas o en decadencia, principalmente de la familia Fagaceae y particularmente en el árbol Shii (*Castanopsis cuspidata*) del cual toma su nombre. Dichas condiciones ambientales promueven el crecimiento rápido del micelio del Shiitake, sin embargo para inducir la fructificación se requiere de una temperatura alrededor de los 17° C (Davis, 1995).

1.1 Descripción

Pileo de 5-25 cm, amplio, de convexo a plano en la madurez; de color pardo oscuro a casi negro al principio, llegando a ser pardo claro con la edad. La superficie se encuentra cubierta por escamas blanquecinas especialmente a lo largo del margen (Figura 66). En algunas cepas el pileo es hemisférico y presenta una pequeña protuberancia central. Márgenes del pileo liso a irregular, enrollado al principio, luego encorvado, aplanándose y a menudo ondulado con la edad. Himenio de color blanco, láminas lisas al principio y luego, a medida que el hongo madura; con bordes irregulares y cistidios (cheilocistidios). El estípite fibroso unido central o excéntricamente al pileo y correoso en textura.

El género *Lentinus* es monomítico, esto es, el contexto del carpóforo carece de hifas esqueléticas y posee sólo hifas generativas. Las esporas son blancas, de 5 a 6-5 por 3 a 3.5 mm, ovoides a oblongas elipsoideas. El micelio es blanco al principio, llegando a ser lineal longitudinalmente y algodonoso aéreo, con conexiones en grapa con la edad. A medida que envejece o en respuesta a cambios ambientales el micelio se torna pardo oscuro. Algunas cepas desarrollan agregados hifales como una bola algodonosa blanda, que puede desarrollarse o no en primordios (Cardona, 2001).



Figura 66. Setas representativas de *Lentinus edodes* (Bratkovich, 2001)

El Shiitake es consumido en diversas formas. En primer lugar, como hongo fresco, condición en la cual alcanza mayor demanda; deshidratado, lo que permite acentuar más el sabor y aroma; molido para saborizante, extractos líquidos; como un tipo de vino que producen los japoneses e incluso galletas y dulces. Su consumo no sólo se debe a sus cualidades alimenticias y gastronómicas, sino también por sus propiedades medicinales que resultan excepcionales.

1.2 Composición nutricional

El contenido de humedad es de 88.81-91.65%. Cada 100 gramos en base seca contienen: 386.44-383.15 Kcal, 14.72-16.12% de proteína, 76.30-78.84% de carbohidratos, de 1.95-2.20% de grasa, de 4.33-5.44% de minerales (Gutiérrez, 2006). Según Crisand y Sands (1978) citados por Miles y Chang (1997), el shiitake no posee más de 17% de proteína cruda factor de conversión (N x 4.38); si bien esta cantidad de proteína es baja comparada con la carne, en él se encuentran todos los aminoácidos esenciales para el hombre, incluidos leucina y lisina, ausentes en la mayoría de los cereales. La glutamina es el aminoácido con más alta concentración en el shiitake. Contiene vitaminas B1, B2, B6, B12 y D2, con altas cantidades de riboflavina y niacina. Definitivamente constituye una comida excelente con propiedades medicinales, capaz de incrementar la energía corporal, promover la longevidad, realzar la vitalidad y la virilidad.

Según Aoyagi *et al.* (1993), los contenidos de humedad, calcio, potasio, fósforo y cinc de los cuerpos fructíferos de shiitake son superiores cuando se cultivan en sustratos de aserrín de madera que cuando se cultivan en trozos. El contenido de nitrógeno de la seta shiitake está íntimamente relacionado con el contenido de nitrógeno del sustrato.

En Japón se han desarrollado varios productos farmacéuticos a partir de setas de shiitake, entre ellos el Lentinano, un polisacárido que se administra por inyección contra el cáncer. Ha sido probado con éxito para prolongar la supervivencia de pacientes con cáncer, especialmente aquellos con carcinoma colorrectal y gástrico. Entre los efectos del Lentinano destacan la estimulación de la producción de linfocitos T, que a la vez promueven la producción de prostaglandina E1; así como el control de células muertas en infecciones cancerosas.

Se ha demostrado en Japón que la Eritadenina conjuntamente con la parte fibrosa del hongo que contiene quitina, reducen el nivel de colesterol en sangre en seres humanos. Los experimentos realizados muestran un decremento entre el 5% y un 10% de la tasa de colesterol después de comer shiitake. La Eritadenina es un polisacárido con capacidad de prevenir ataques cardíacos y crisis diabética, dado que regula la presión arterial, previene la trombosis en las arterias coronarias y disminuye la viscosidad de la sangre.

El Interferón es una proteína presente en la composición del shiitake y es descargada por los leucocitos de la sangre para defenderlo contra la invasión de los virus, pues aumentan la actividad de los macrófagos y de los linfocitos T (glóbulos blancos encargados de fabricar defensas inmunitarias). Esta sustancia química hace inmunes a las células frente a infecciones víricas como la rubéola, sarampión, herpes, hepatitis A, B, y C. Es decir, es un activador inmunitario capaz de impedir la reproducción del virus VIH, con mayor eficacia que la droga AZT utilizada contra el SIDA, debido a que bloquea los fases iniciales de la infección (Steinberg, 2004).

El Ergosterol contenido en las setas de shiitake es convertido en vitamina D cuando las setas se deshidratan bajo la luz del sol; esta vitamina es necesaria para la absorción de calcio y fósforo. Investigaciones húngaras han demostrado que una de las enzimas que contiene el shiitake: el superóxido dismutasa, disminuye la peroxidación de lípidos. Este es un factor importante en la prevención de las enfermedades como el cáncer de arteria coronaria y es teóricamente una de las causas de la longevidad ya que actúa como antioxidante. El ácido linoleico que está presente en este hongo es transformado dentro del cuerpo en diferentes tipos de prostaglandinas. En shiitake también se encuentran enzimas digestivas como la celulasa y asparaginasa, esta última, utilizada en el tratamiento de algunas leucemias infantiles (Steinberg, 2004).

1.3 Sistema de cultivo en trozos

El método tradicional de cultivo de *Lentinus edodes* ha sido la siembra del micelio (semilla) en troncos de árboles de hoja ancha, principalmente de las familias Fagaceae y Betulaceae. De la familia Fagaceae, los robles y encinos (*Quercus* spp) son especies con las que se pueden obtener producciones de alta calidad, pero también pueden emplearse: Sauce (*Salix* spp), duraznillo (*Carpinus caroliniana*), Haya (*Fagus mexicana*), Castaña (*Castanea* spp), *Eucalyptus* spp, abedul (*Betula alleghaniensis*), Álamo (*Populus* spp), Olmo (*Ulmus* spp) y Alisos (*Alnus* spp) (Stamets, 1993, citado por Cardona). Según Bratkovich (2001), especies como *Liquidambar styraciflua* y *Platanus occidentalis* han superado a las especies de roble y encino en ensayos de productividad realizados en Carolina del Norte, USA.

Las maderas más densas llevan más tiempo para que el hongo las colonice, pero producen mayor rendimiento y por más tiempo. La técnica de cultivo en madera consiste en la utilización de troncos de 6 a 20 cm de diámetro y 0.95-1.20 metros de largo, los cuales se obtienen de trozas de árboles talados de preferencia cuando la actividad fisiológica es mínima, o bien, cuando comienzan a almacenar los productos de la fotosíntesis para la época seca por dos razones importantes. Primero, porque el micelio del shiitake requiere carbohidratos para su crecimiento y estos están en sus niveles más altos en la madera cuando el árbol es inactivo. En segundo lugar, la corteza debe estar intacta y estar adherida fuertemente a los trozos. Si se cortan los árboles después de que la savia comience a fluir, la corteza tenderá a deslizarse y a dañarse fácilmente.

Los trozos deben obtenerse de árboles vivos, sanos, libres de pudriciones, rectos y uniformes. Importante es mantener intacta la corteza, la cual permite mantener aislada la colonización del hongo de posibles contaminantes externos y permite la fructificación de los hongos. Los trozos con corteza fina pierden la humedad más fácilmente que los trozos de corteza gruesa, por lo que exige especial atención el monitoreo de la humedad.

Una vez que se hayan cortado los árboles, la madera debe mantener alto contenido de humedad y la corteza conservarse seca hasta que los trozos sean inoculados con el micelio. Si los trozos no se pueden inocular dentro de algunas semanas después de talados, no es conveniente cortar las trozas. En este caso, las trozas deben cortarse en trozos justamente al momento de la inoculación de manera que el porcentaje de humedad sea entre 40 y 55%. Mediante un taladro eléctrico de mano y broca con tope, al trozo se le realizan perforaciones de 8 mm de diámetro y 3 cm de profundidad a cada 25 cm a lo largo y a 6 cm entre filas para un total de 3 a 10 hileras (Figura 67), dependiendo del

grosor del tronco.

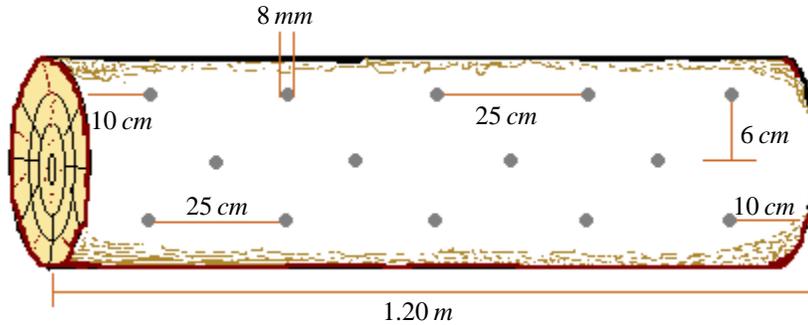


Figura 67. Una opción para distribuir los agujeros alrededor de los trozos, previo a la inoculación

Con base a la figura anterior, la perforación de los trozos puede efectuarse siguiendo un esquema diamante. Consecuentemente es posible calcular el número de orificios a realizar sobre la base del diámetro de los troncos y el número de filas. La idea de escalonar los agujeros en un patrón de diamante es asegurar el crecimiento rápido y homogéneo del hongo a través del trozo. Espaciamientos más cercanos disminuyen el tiempo de colonización y obtención de setas, sin embargo, los costos también aumentan. Las indicaciones del cuadro 17 corresponden a trozos de 1.20 m de longitud.

Cuadro 17. Número ideal de orificios y tarugos en función del diámetro del trozo.

Diámetro	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm	16 cm	18 cm	20 cm
No. de filas	3	4	5	6	7	8	9	10
No. de agujeros	14	18	23	27	32	36	41	45

Fuente: Albertó (2003)

En estos orificios se inserta la semilla del hongo (Figura 68), la que puede estar constituida por granos de cereales, aserrín o tarugos de madera, que han sido esterilizados y colonizados previamente por el hongo. Posteriormente los agujeros son cubiertos con cera de abeja o parafina para mantener la humedad y proteger de los contaminantes, utilizando una brocha con cerdas naturales (France y Cortez, 2001).



Figura 68. Tipos de tarugos de madera con micelio del hongo e inserción en los agujeros de los trozos (Albertó, 2003)

La semilla se debe colocar en los agujeros en condiciones de asepsia total, inmediatamente después que han sido perforados para prevenir la contaminación por otros hongos. Los resultados de algunos estudios sugieren que la semilla de aserrín produce setas más rápidamente que los pasadores (tarugos) y es en general de menor precio; pero encuentran que los tarugos son más fáciles de utilizar y garantizan mayor probabilidad de éxito por razones de conservación de humedad (Davis, 2001).

Tras la inoculación, los trozos se colocan en pilas formando una empalizada vertical con el mínimo de contacto entre ellos, de tal manera que se creen las condiciones para que el micelio colonice la madera: Humedad relativa de 60 a 75% y temperatura entre 22-25° C. La corrida o incubación del micelio puede ocurrir naturalmente en el bosque o bajo condiciones controladas utilizando umbráculos y sistema de irrigación. Dependiendo de las condiciones del ambiente se pueden cubrir los troncos con polietileno y regar esporádicamente (6-12 hr, cada 7-30 días). El crecimiento del micelio y fructificación no deben darse en condiciones de oscuridad total, cierto grado de iluminación es necesario. Demasiada iluminación tampoco es deseable porque favorece el desarrollo de hongos competidores. Los troncos se pueden apilar de diferentes maneras para la incubación (Figura 69). Cada una de ellas presenta ventajas y desventajas, las cuales se indican en el cuadro 18.

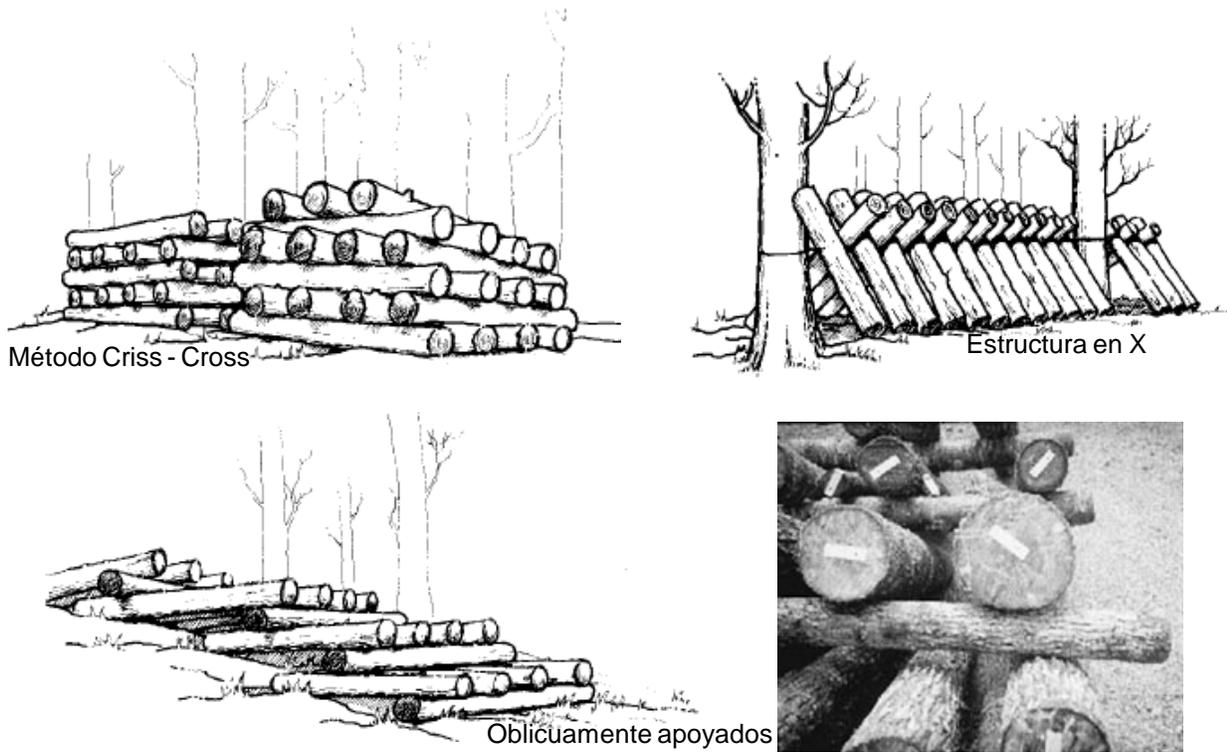


Figura 69. Métodos comunes para disponer los trozos a la intemperie durante la fase de incubación (Anderson y Marcouiller, 2000; Davis,1995)

Cuadro 18. Ventajas y desventajas de los tipos de arreglo de los trozos en la incubación.

Método	Ventaja	Desventaja
Criss-cross	Es un método simple y se utiliza el espacio disponible eficientemente y permiten buena aireación.	Los troncos de la parte superior se secan más que los de la base, por ello es necesario rotarlos.
Estructura en X	Circulación del aire uniforme en terrenos con aireación pobre y facilita la labor de cosecha	Los troncos se secan más rápidamente en áreas con movimientos de aire fuerte.
Oblicuamente apoyados	Posibilita ajustes para hacer frente a variaciones de terreno y de las condiciones climáticas.	Dificulta la labor de cosecha

Fuente: Albertó (2003)

El control de la humedad en la fase de inoculación constituye un factor crítico. El micelio de shiitake morirá si el contenido de humedad desciende más allá del 25%. Por ello el agua debe estar fácilmente disponible en el sitio de la producción para poder irrigar los trozos en caso que sea necesario prevenir la sequedad. Debe aplicarse riego cuando el porcentaje de humedad de los trozos descienda a 40%. Es preferible irrigar por períodos de tiempo largos, que hacerlos con mayor frecuencia, esto permitirá mantener seca la corteza de los trozos, creando condiciones desfavorables para el desarrollo de hongos competidores comunes. En tales condiciones, el proceso toma de 6 a 18 meses dependiendo de la cantidad de inóculo y la cepa utilizada, la variedad de shiitake, el tamaño del trozo y las condiciones durante la incubación (Przybylowicz y Donoghue, 1988). Este período finaliza cuando en ambos extremos de los trozos se observa el micelio del hongo, como se muestra en la figura 70.



Figura 70. Crecimiento conspicuo del micelio en el extremo del trozo al final de la fase de incubación (Davis, 1995)

Una vez colonizados los troncos, se realiza la inducción mediante inmersión de éstos en agua fría (10-17° C) durante 24 a 72 horas. Luego se colocan en posición vertical o semi-inclinada para iniciar la fructificación, el área de producción debe estar bien ventilada y recibiendo un fotoperíodo de 9-12 hr. El período de formación de primordios dura 3-10 días, el de cosecha de 14-21 días. Los carpóforos deben cosecharse justo antes de que se expanda el borde del sombrero (figura 71). La producción ocurre por oleadas, por eso,

después de este período es necesario dejar recuperar a los troncos para juntar energía para la próxima oleada e iniciar entonces un nuevo período de inducción con el tratamiento de agua fría indicado anteriormente. Según Albertó (2003), el cultivo al aire libre produce 2 cosechas por año, obteniendo de 1.5 a 2 kilogramos de hongos frescos por trozo al final del sexto año. Según Anderson y Marcouiller (2000), el rendimiento asciende a 1.4 kilogramos por trozo al final de cuarto año.



Figura 71. Condición del margen del carpóforo al momento de la cosecha (Royse, 2001)

El número de oleadas y el tiempo en que están productivos los troncos son variables y dependen del tipo de madera, grosor y temperatura de incubación. Los troncos más gruesos demoran más en incubarse y requieren más tiempo entre las oleadas, pero producen mejor calidad, hasta por 3 a 6 años (Davis, 1995). Las maderas con densidad media tienen aproximadamente la mitad de la vida útil, mientras que las maderas de frutales son notoriamente pobres para el crecimiento.

1.4 Sistema de cultivo en trozos sintéticos

El cultivo de shiitake se inició utilizando trozos de especies arbóreas, principalmente de encino para la obtención de cuerpos fructíferos para consumo humano. Sin embargo, este sistema de cultivo representa una limitante y un peligro potencial para el medio ambiente, debido al sobre-aprovechamiento del que pueden ser objeto el encino y otras especies forestales. Por ello, los esfuerzos en desarrollar un sistema más eficiente, rápido y confiable para la producción se han enfocado hacia la utilización de sustratos artificiales enriquecidos. En consecuencia, ahora también se siembra en bolsas que algunas veces imitan un trozo de madera, elaborados a partir de desechos agroforestales y suplementos. Los métodos modernos de cultivo de Shiitake usan como sustratos virutas y aserrín de encinos y robles más un suplemento rico en nitrógeno, como el afrecho o salvado de trigo, arroz, avena, cebada, soya, etc. Otros suplementos, agregados en menor cantidad son el carbonato de calcio (el CaCO_3), yeso y algún tipo de azúcar.

Otra especie de la cual se puede utilizar el aserrín o la viruta es el eucalipto, el cual también produce hongos de buena calidad y se evita tener que usar árboles nativos. En el caso del pino es posible utilizar viruta hasta cierta proporción, complementada con el de otras especies latifoliadas; de esta manera se evitará impartir olores y sabores a resina en los hongos. Para evitar que el contenido de resina y taninos presente en algunas especies

arbóreas mengue el crecimiento del hongo, se recomienda utilizar aserrín de maderas de por lo menos un año de asentamiento (Cardona, 2003).

Algunos sustratos diferentes al aserrín y viruta de madera, utilizados para el cultivo de shiitake son: residuos de frijol, maíz, hojas y bagazo de caña, residuos de algodón, hojas de té usadas, brácteas de la corona de banano. Cardona (2003), indica que la eficiencia biológica en bagazo de caña de azúcar es 130%; en hojas de caña de azúcar entre 83-98% y de 36-37% en brácteas de piña. Así mismo, indica que en estudios recientes se ha observado que el aserrín o la viruta de Eucalipto en combinación con harina de arroz es uno de los mejores sustratos. En este caso, la harina de arroz tiende a incrementar el crecimiento del micelio, el número de carpóforos de mayor tamaño y de mejor calidad. Por su parte Gutiérrez (2006), reportó haber obtenido una tasa de bioconversión promedio de 33.08, 38.51 y 41.74% en madera de vid, paja de cebada y paja de trigo, respectivamente; mientras que la eficiencia biológica fue de 37.02% en paja de trigo y de 93.25% en madera de vid.

En general, se puede establecer que no existe una receta única y que el productor debe experimentar la producción con los recursos disponibles y que resulten más económicos. Una fórmula general, basada en volúmenes y que sirve para comenzar en este tipo de cultivo, es la que proporciona France y Cortez (2001): 1 parte de yeso, 8 partes de afrecho de trigo, 32 partes de viruta y 64 partes de aserrín.

Jaramillo (2004) por su parte, indica que en Colombia hasta hace muy poco solo se había cultivado *Lentinus edodes* sobre granos de cereales pero sin pasar de su etapa vegetativa. Recientemente se ensayó con mejores resultados, usando 44% de pulpa café combinado con 40% de aserrín de cafeto, 14% de salvado de trigo, 1% de carbonato de calcio y 1% de sacarosa.

Además de la fibra contenida en los residuos lignocelulósicos, shiitake requiere para su crecimiento nitrógeno en forma orgánica, magnesio, sulfuro, potasio, fósforo y oxígeno. Su crecimiento se promueve con cantidades pequeñas de elementos menores como manganeso, cobre, hierro y cinc; la deficiencia de manganeso puede conducir a la no apertura del carpóforo. En General, la adición de aceites vegetales y surfactantes a los sustratos de cultivo estimulan el crecimiento micelial y la producción de las setas

Una vez que se haya seleccionado una fórmula apropiada (pH de 5.5-6.0), los ingredientes se mezclan y se les agrega agua para alcanzar un porcentaje de humedad entre 60-65 por ciento. Luego se llenan las bolsas con 2.5 kilogramos del sustrato húmedo. Para ello se utilizan bolsas polipropileno termoresistentes (20×45 cm) con un parche especial que sirve como respiradero. Los microporos del parche permiten la evacuación del bióxido de carbono y la aireación al interior del sustrato evitando la entrada de agentes contaminantes bacteriológicos o fúngicos. Al no contar con dichas bolsas, puede optarse por utilizar bolsas sin parche, colocándoles en la parte superior, en el punto de amarre, algún tipo de filtro con esponja fina o simplemente algodón.

Luego las bolsas son esterilizadas en autoclave por 2 horas a 121° C y 15 psi; se dejan enfriar (25° C) y son inoculadas con la semilla del hongo, la cual puede provenir de granos de cereales o aserrín impregnados con el micelio del hongo. Las dosis de inóculo

generalmente son del 2 al 5% del peso húmedo del sustrato, en el cual se agrega a las bolsas dentro de un ambiente aséptico o al interior de una cámara de flujo laminar. Las bolsas son cerradas y agitadas para dispersar la semilla dentro de la bolsa y dejadas en incubación a temperatura de 21°-24° C y en oscuridad. De 18 a 25 días son suficientes para que el micelio colonice todo el contenido de cada bolsa. En el caso de bolsas compactas y que imitan un trozo (16×50 cm calibre 3), la inoculación se realiza a través de perforaciones a los costados, de manera similar como se indicó para el caso de producción en trozos (France y Cortez, 2001).

Al finalizar la fase de incubación, las bolsas son removidas (Figura 72). Es entonces cuando los bloques de sustrato se exponen a otras condiciones ambientales a efecto de broncear la superficie del bloque, es decir, para que la cubierta exterior se vuelva caríacea y cambie de color blanco a color café oscuro, como producto de la oxidación del micelio. Durante esta fase que conlleva alrededor de 4 semanas, los bloques se mantienen a temperatura de 19° C, los niveles de CO₂ se mantienen de 2,200 a 3,000 partes por millón y los requerimientos de iluminación de 500 Lux a 370-420 nm.



Figura 72. Bolsas con parche para aireación y bloques compactos totalmente colonizados por el micelio ya sin la bolsa, 3 semanas después de iniciada la incubación (Royse, 2001).

En estas condiciones las bolsas pueden ser regadas ligeramente una vez por día para mantener humedad superficial, la cual favorece el proceso de bronceado. El riego excesivo, sin embargo, causará que el micelio superficial se torne color negro, lo que puede reducir el rendimiento a la cosecha. Dada esta situación, algunos cultivadores logran broncear correctamente la superficie de los bloques monitoreando correctamente la humedad relativa de la sala (85%). Cuando la fase de bronceado está llegando a su final, comienzan a formarse los primordios en los sectores bronceados, en forma de pequeñas protuberancias de 1 a 2 milímetros, lo cual indica que los bloques están listos para producir setas. Si la semilla no fue mezclada uniformemente con el sustrato, el proceso puede requerir de 55 a 90 días contados a partir de la inoculación (Cardona 2003).

Una vez que los trozos sintéticos (bloques) están listos para fructificar, el desarrollo del primordio es estimulado sumergiéndolos en agua fría (12° C), durante 3 a 4 horas. Esto permite que el agua desplace rápidamente el CO₂ contenido en espacios porosos del bloque y proporciona suficiente humedad para la producción de setas (Figura 73). De 7 a 11 días después de humedecer, las setas estarán listas para cosechar. En el caso que se elija no retirar las bolsas durante el bronceado, no es necesario humedecer los bloques

para la primera oleada, dado que la humedad contenida en ellos es suficiente. Sin embargo, si debe hacerse previo a las subsiguientes oleadas (Royse, 2001).

La acción de retirar las bolsas durante el bronceado tiene ventajas comparado con la elección de no hacerlo. Broncear sin la bolsa produce bloques sintéticos más firmes que soportarán el sumergimiento en agua, la cosecha y la manipulación sin romperse. Además, bronceando fuera del bolso se adapta a la mayor parte de cepas de shiitake. Llevar a cabo el proceso de bronceado sin quitar las bolsas puede provocar cámaras de aire en la superficie del crecimiento micelial, las cuales se rompen y desprenden secciones del micelio en forma de escamas al quitar las bolsas. Finalmente, la cantidad y la calidad de las setas aumentan cuando los bloques son bronceados sin la bolsa.



Figura 73. Contenedores donde el bronceado se ha llevado a cabo con la bolsa. Aspecto del bloque al inicio de la fructificación luego del sumergimiento en agua (Gutiérrez, 2006)

Durante la cosecha la temperatura deberá oscilar entre 16 y 23° C, mientras que la iluminación de 500-2000 Lux. Niveles de iluminación por debajo de 500 Lux causan elongación considerable del estípite de muchas cepas. La humedad relativa debe ser de 85-93% y la concentración de CO₂ menor a 1000 ppm. Después de que todas las setas de la primera oleada son cosechadas, es necesario un período de crecimiento y formación de nuevos primordios, luego, los bloques deben ser sumergidos en agua nuevamente. El segundo humedecimiento puede requerir hasta 12 horas y el tercero hasta 18 horas, a fin de restituir la pérdida de agua utilizada en la formación de las setas y la evaporación. En promedio, el tiempo entre una oleada y la siguiente es de 18 a 25 días (Albertó, 2003).

Según Royse (2001), las ventajas principales de usar un sustrato sintético son: El tiempo para cada ciclo de cultivo y la eficiencia biológica alcanzada. El ciclo de la producción al utilizar sustratos sintéticos requiere aproximadamente de 3 a 4 meses desde la inoculación a la limpieza de las salas de fructificación, lo que hace posible 3.48 ciclos productivos por año. La eficiencia biológica que se puede alcanzar oscila entre 75 a 125 por ciento. En contraste a éstos excelentes resultados, el ciclo de producción en trozos naturales generalmente toma alrededor de 6 años con una eficiencia biológica máxima alrededor de 33 por ciento. El cultivo en sustratos artificiales permite una producción continua pero con un mayor costo e inversión inicial. La producción en troncos es más barata, salvo por la demanda de maquinaria para el continuo traslado de los trozos.

1.5 Aspectos económicos y comercialización

A pesar de las cualidades gastronómicas, organolépticas y medicinales que caracterizan al shiitake, el cultivo de este hongo en Guatemala es aún escaso. Incluso no se encuentra fácilmente disponible en el mercado nacional, lo que puede corroborarse al intentar comprarlo en mercados o supermercados. Lo más común en los supermercados es la disponibilidad de champiñón, hongo ostra y champiñón crimini; sin olvidar la presencia temporal del Anacate, hongo de San Juan o Sharas en los mercados municipales, particularmente el día de plaza. Con suerte se podrá encontrar en algunos negocios exclusivos y especializados en la venta de verduras de la ciudad capital, pero con precios que pueden alcanzar hasta los Q60.00 (\$7.5) bandeja de 350 g de hongos frescos y Q36.00 (\$4.5) por 50 g del hongo deshidratado.

Son varios los factores que deberán tomarse en cuenta para hacer del cultivo de shiitake una actividad técnica y económicamente viable. Entre estos, la experiencia del productor, los rendimientos alcanzados y la comercialización del producto. Sin duda, la inexperiencia del cultivador a lo largo de funcionamiento de la empresa afectará los beneficios. De ahí la importancia de contar con los conocimientos suficientes previo a iniciar con el proyecto.

Davis (1995) indica que una cuerda de 125 trozos, rendirá alrededor de 500 libras (227.27 Kg) de setas a razón de 4 libras (1.81 Kg) por trozo, que con un precio de venta de \$4 por libra generarán \$2,000. El costo inicial de los trozos por corte o compra es aproximadamente de \$100. La semilla para la inoculación es aproximadamente de \$100. Los costos de mano de obra, los insumos, la comercialización y de amortización de refrigeración y de irrigación representan entre \$800 a \$1,300 adicionales; por lo que el beneficio al cultivador, por su trabajo, capital invertido y gerencia deberá ser aproximadamente entre \$500 a \$1,000 (B/C=1.3-2.0), para un ciclo productivo de 5 años. Considerando la introducción de 125 trozos anualmente, un promedio de \$1,250.00 para el rubro de costos y captación de ingresos a partir del segundo año; se requeriría un capital inicial de aproximadamente \$2,250.00 (Q18.000.00) para un ciclo productivo de 7 años.

Al respecto, Anderson y Marcouiller (2000) indican que en un proyecto previsto a 15 años plazo, inoculando 4,000 trozos anualmente y considerando ciclos productivos de 4 años, la rentabilidad sería de 72% después de descontar el impuesto; con beneficios netos a partir del 5 año. Así mismo, agregan que para obtener beneficios netos razonables son necesarios 3000 trozos. Sin embargo, recomiendan comenzar con 100-500 trozos e ir aumentando la cantidad según las expectativas del mercado y las ganancias que se pretenden obtener.

En cuanto a la comercialización, el shiitake puede venderse tanto deshidratado como en estado fresco, en presentación de bandejas de 12 onzas o en cajas de 5 libras. La relación de hongo fresco al secarse es aproximadamente de 7:1. La forma más simple para deshidratarlo es colocarlos en una secadora de aire forzado a 49° C. El precio de shiitake puede variar según su tamaño y la época del año. En época de mayor producción donde las condiciones climáticas favorecen el crecimiento a la intemperie, el precio puede ser de \$4.00 por libra, mientras que en la época de menor producción (invierno y verano) puede alcanzar hasta \$7.00 por libra de hongos frescos. En condiciones de mayor oferta, los precios por libra en el mercado estadounidense en función del tamaño de pileo del carpóforo son los que se muestran en el cuadro 19.

Cuadro 19. Clasificación de la seta de shiitake y precio al consumidor

Clasificación	Tamaño (pulgadas)	Precio (US\$/lb)
Extra largo	Más de 4.5 pulgadas	6.00
Largo	3.5 a 4.5 pulgadas	5.50
Medio	2.5 a 3.5 pulgadas	5.00
Pequeño	2.0 a 2.5 pulgadas	4.00

Fuente: CCD shiitake mushrooms (<http://www.ccd-inc.com/shiitake.htm>)

Finalmente, el conocimiento y el consumo de shiitake en Guatemala contrastan con la demanda que en el mercado internacional posee este hongo, dado que ocupa en segundo lugar en la lista de los hongos más cultivados, representando el 25.4% de la producción mundial (Chang, 1999). En este sentido, para nuestro país el cultivo de shiitake representa una oportunidad para diversificar la producción y de exportación de productos no tradicionales que amerita desarrollarse con miras al futuro. El bagazo de caña como subproducto de la industria azucarera, las especies exóticas como: *Liquidambar styraciflua* ampliamente distribuida en el área de las verapaces, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urograndis* (híbrido) que se caracterizan por su rápido crecimiento (12 m en 3 años) y adaptabilidad a regiones tanto tropicales como subtropicales; constituyen algunos de los sustratos potenciales disponibles en nuestro medio.

2. *Auricularia auricula* (Hook.) Underw

Esta seta es conocida comúnmente como hongo oreja de palo, oreja de Judas, hongo de saúco y oído de madera. Según Chang (1999), representa alrededor del 7.90% del total de hongos comestibles cultivados en el mundo.

2.1 Caracterización

Es una especie que por su morfología es fácil de identificar. Vive como saprófita sobre ramas caídas y puede aparecer formando grupos durante todo el año después de las lluvias. El nombre común de este hongo: “oreja de Judas”, deriva de que en los bosques de Europa es común encontrarlo creciendo sobre troncos viejos de saúco (*Sambucus* sp), arbusto del cual se colgó Judas después de traicionar a Jesús. En forma silvestre también crece sobre troncos de árboles de mango (*Mangifera indica* L.), Cacao (*Theobroma cacao* Linn.), cafeto (*Coffea arabica* L.), Madre cacao (*Glyricidia sepium* Jacq. Steud), *Inga* spp, *Leucaena leucocephala* Lam de Wit, entre otros (Quimio, 1989 citado por Sánchez, 1994)

A. auricula es un hongo cuyo aspecto recuerda al oído humano por su forma y pliegues que en estado de hidratación son cartilaginosos con apariencia de concha marina o de oreja. La superficie externa está cubierta por diminutos pelos que le dan un aspecto aterciopelado, es de color parduzco con tonalidades rojizas (Figura 74). De color negro al envejecer. Es bastante blando y flexible, pero si se deja secar se vuelve duro y quebradizo aunque vuelve a recobrar su aspecto anterior al humedecerlo de nuevo. En algunos ejemplares el estípite presenta un pequeño estrechamiento que lo sujeta al sustrato.

En China y Japón se cultiva a escala industrial para alimentación y se acostumbra comerlo tanto crudo en ensaladas como cocinado de varias formas. En la medicina tradicional china se ha usado para tratar hemorroides y como tónico estomacal. Se emplea para ablandar partes inflamadas, especialmente en anginas y garganta irritada e incluso en inflamaciones oculares. En definitiva, esta especie es considerada como buen antibiótico y

antiinflamatorio. Hobbs (1986), advierte de posibles efectos de infertilidad, no se recomienda su consumo en el caso de mujeres embarazadas, en estado de lactancia o que planeen quedar embarazadas. Al respecto Cardona (2003), indica que también se le atribuyen propiedades antitumorales, regula la presión sanguínea y desordenes cardiovasculares, así como efectos contra bronquitis crónica.

Según Stamets (1993), citado por Cardona (2003), la composición de *A. auricula* es: 8-10% de proteína en base húmeda; 0.8-1.2% de grasa; 84-87% de carbohidratos (base seca); 9-14% de fibra y 4-7% de cenizas. El contenido de humedad de las setas frescas es de aproximadamente 90%.



Figura 74. Setas características de *Auricularia auricula* (Gelpi, 2005)

2.2 Tecnología del cultivo

Auricularia auricula crece sobre subproductos agrícolas y agroindustriales como el bagazo de caña azúcar, olote de maíz, pajas de arroz, fibra de coco, aserrín de madera, lirio acuático, paja de trigo, pulpa de café combinado con aserrín. En muchos de los casos se emplean suplementos tales como el salvado de arroz, salvado de trigo, azúcar, cáscaras de frutas. Según Sharma y Jandaik (1992), con la mezcla la pulpa de café y aserrín composteado se obtiene una eficiencia biológica del 75%. Con paja de trigo y salvado de trigo al 5%, se logra 101% de eficiencia biológica (Vilela y Silveri, 1989).

Para el caso de la producción de *Auricularia* en medio sintético, Royse (1996) indica que debe prepararse una mezcla con el 78% de aserrín, 20% de salvado, 1% de CaCO_3 y 1% de sucrosa, la cual debe humedecerse y dejar compostear en pila durante 5 días aproximadamente, previo a proceder al llenado de las bolsas y la inoculación del sustrato. Durante el composteo habrá que re-mezclar dos veces a intervalos de dos días. Indica también que al utilizar la mezcla de cascarilla de algodón (93%), salvado del trigo (5%), sucrosa (1%), CaCO_3 (1%) y 60% de humedad, no es necesario realizar compostaje.

La siembra se realiza mezclando el inóculo manualmente y en condiciones de asepsia. Según Sánchez (1994), los factores que se deben controlar durante la incubación son: El rango de temperatura entre 10-36° C con un óptimo de 25° C \pm 2° C, pH del sustrato entre 4.5-7.5 y humedad relativa de 60%. La incubación debe darse en la oscuridad y toma de

28 a 30 días. La intensidad de luz de más de 500 lux durante la incubación puede dar lugar a la formación prematura de primordios.

La producción de los carpóforos se da en condiciones de 12-30° C de temperatura y a 85% de humedad relativa, con circulación de aire fresco e iluminación normal. Las fructificaciones aparecen después de 12 a 14 días de finalizada la incubación y la cosecha tarda entre 60-70 días (Royse, 1996).

3. *Volvariella volvacea* (Bull. ex Fr) Sing.

Al género *Volvariella* se adscriben diversas especies de hongos comestibles que se cultivan comercialmente en el Sureste de Asia, entre ellas *Volvariella volvacea*. Esta especie, a diferencia de otras de interés comercial como *Agaricus bisporus*, se puede desarrollar a temperaturas cálidas y en condiciones artesanales, por lo que representan una alternativa productiva para las regiones tropicales y subtropicales, considerándose su cultivo idóneo para las zonas rurales, ya que requieren bajos costos de inversión (Salmones, 2006).

3.1 Caracterización

Volvariella volvacea es conocida comúnmente con el nombre de Hongo de la paja. El cultivo de este hongo comenzó en China desde 1822, luego en las Filipinas, Malasia y otros países asiáticos sur orientales (Chang, 1982). *Volvariella volvacea* constituye aproximadamente 2.9% del total de la producción mundial de hongos comestibles cultivados (Chang, 1999).

Crece en forma silvestre sobre ramas y troncos muertos. Pileo con tonalidad gris claro cuando joven, girando a café claro hacia centro al madurar y más claro hacia el margen, con láminas libres, de color blanco que se tornan rosa salmón con la madurez debido a las esporas. Tiene volva y anillo. Los frutos tienen que recolectarse antes de abrir la volva. No debe ser ingerida cruda pues tiene una toxina termolábil.



Figura 75. Fructificaciones de *Volvariella volvacea* en pseudotallo de plátano y paja de cebada (Salmones, 2006).

3.2 Tecnología de cultivo

Muchos subproductos agrícolas y materiales de desecho se han utilizado para producir seta de la paja. Éstos incluyen la paja de arroz paddy, jacinto del agua, desechos de la palma de aceite, rastrojos del plátano, y rastrojos de la caña de azúcar (Chang, 1982). *Volvariella* está adaptada para ser cultivada en zonas tropicales debido al requerimiento de temperaturas más altas durante el proceso de producción. Además, esta seta puede ser crecida sobre sustratos no pasteurizados.

En los últimos años, subproductos del algodón se han hecho populares como los sustratos para la producción de la seta de la paja, con los cuales se han reportado las eficiencias biológicas más altas y estables (del 30% a 45%). En Indonesia y Taiwán, por ejemplo; el cultivo sobre la paja de arroz paddy ha disminuido como resultado del uso de los residuos de algodón. Sobre paja de cebada se han obtenidos eficiencias biológicas de 25.6%-29.3% (Vela y Martínez, 1989). Otros autores citan eficiencias biológicas de 8.4 a 28.3% en paja de arroz y 33.8% en paja de cebada mezclada con pulpa de café. Salmones (2006) ha reportado eficiencias biológicas en pseudotallo degradado de plátano entre 15.0-19.50%

Como todo microorganismo, requiere de ciertas condiciones para el crecimiento. El rango de temperatura para el crecimiento micelial de *Volvariella volvacea* es de 30-35° C (óptimo de 32° C); el crecimiento se ve inhibido cuando la temperatura está por arriba de 40° C y por debajo de 15° C.

El cultivo puede realizarse tanto en condiciones naturales como en condiciones controladas. La producción bajo condiciones naturales se realiza preparando camas sobre el suelo, con una altura de 12 cm, 45 cm de ancho y 1 metro de largo o más, rodeadas por un canal de 30 cm de ancho y 15 cm de profundidad. Como cimiento de las camas se puede utilizar suelo, madera o concreto. En caso de usar paja, esta debe ser empacada en rollos de 8 cm de diámetro, amarrados a la mitad y cortados en paquetes de manera uniforme (30 cm) y remojados por 3 horas. La paja ya en paquetes, es colocada sobre los cimientos formando capas (4 a 6).

Posteriormente se humedece y siembra con la semilla (micelio propagado en granos de trigo o sorgo), utilizando una tasa de inoculación equivalente al 10% del peso húmedo del sustrato. Las camas se deberán cubrir con plástico transparente por cinco días y también protegerse de la lluvia con cobertizos. La primera oleada se obtiene a los 10-14 días después de la siembra. La producción promedio es de 0.42 Kg por cama, equivalente a una eficiencia biológica de 10.5%. Las ventajas de este método son: adaptabilidad técnica y económica para familias de áreas rurales, además de que los cambios repentinos en las condiciones climáticas no afectan fácilmente la producción. Las desventajas incluyen: rápida infestación con insectos y baja producción de setas (Royse, 1996).

El cultivo de *Volvariella volvacea* bajo condiciones controladas se realiza en cajas. Este método se muestra fácil a escala comercial. Hay un aumento de la eficiencia biológica de 10.5 a 25% respecto al cultivo tradicional en camas. Las cajas de madera para el cultivo son de 60 m de largo, 45 cm de ancho y 20 cm de altura (las regletas para formar el esqueleto de las cajas deben ser de 2.5 × 5 cm). Los materiales a usar como sustratos se remojan por tres horas y deberán ser cortados uniformemente (30 cm de longitud). Las

cajas se llenan con el sustrato verticalmente a la profundidad de la caja. Este debe ser acomodado de tal manera que se evite obstruir el paso del agua. Para la siembra, el inóculo es esparcido por sobre toda la superficie del sustrato a 5 cm de profundidad, posteriormente, se compacta suavemente a fin de eliminar los macroporos.

La incubación se realiza en oscuridad a 32-34° C por aproximadamente 5-7 días o hasta que el micelio haya invadido todo el sustrato. La temperatura de fructificación es de 28-35° C, 80-85% de humedad relativa (70-75% de humedad en el sustrato) y con suficiente aireación. La primera cosecha se obtiene a 10 días después de la inoculación, con un rendimiento de 1 Kg de hongos frescos por caja en 18 a 22 días. Las ventajas son: mayor eficiencia biológica y optimización en la utilización del espacio físico disponible. Las desventajas incluyen mayor costo de producción y se necesita mayor adiestramiento en las técnicas de cultivo (Sánchez, 1994).

Tanto en condiciones artesanales de producción como en cultivos comerciales es frecuente la presencia de *Trichoderma* sp., *Arcyria cinerea*, *Stemonitis axifera* y *Coprinus* sp; así como moscas del género *Lycoriella*; siendo así las principales enfermedades y plagas del cultivo (Salmones, 2006).

A manera de conclusión, el cultivo de *Volvariella volvacea* puede ser una alternativa de aprovechamiento de los residuos del algodón y de plátano para proporcionar un alimento de aceptable valor nutrimental. Esta biotecnología podría adaptarse a las necesidades rurales mediante la conformación de grupos de producción o sistemas rurales familiares, pudiéndose guardar un equilibrio apropiado con las actividades agrícolas y extra-agrícolas, proporcionando ingresos, oportunidades de trabajo y modificación de hábitos alimenticios (ingesta de proteína) a la población rural. Sin embargo, para lograr esto es necesario evaluar otros sustratos o mejorar la preparación de estos a fin de maximizar los rendimientos.

4. *Flammulina velutipes* (Curtis.: Fr.) Singer

Hongo comúnmente conocido como: Enoki, hongo dorado, Colibia aterciopelada o Enokitake. Es una seta muy apreciada en China y Japón por sus características organolépticas y medicinales. Se le atribuyen propiedades: antifúngica, antiinflamatoria, antitumoral, antiviral e inmunomodulatorio. Según Chang (1999), *Flammulina velutipes* representa aproximadamente el 4.6% del total de la producción mundial de hongos comestibles.

4.1 Descripción

Se presenta cespitosa, con muchos individuos unidos por la base del pie. El pileo es de color rojo-ladrillo o amarillento, más oscuro en el centro, tiene forma convexa, generalmente muy regular, la superficie es brillante y viscosa con la humedad. El margen es ligeramente estriado. No es muy carnoso. Las laminillas son blancuzcas u ocre muy claro, más bien ralas, pero bastante anchas, redondeadas junto al pie. La esporada es de color blanco.

El estípite es cilíndrico y de forma regular. De color negruzco en la parte inferior, fina y aterciopelada. La Parte superior, se decolora presentándose generalmente más clara, esfumada desde el amarillento al blancuzco. La carne es poco consistente. Al igual que la

superficie del pileo; aristas y caras de las láminas presentan cistidios que le dan ese aspecto aterciopelado característico. La carne es pálida, con olor afrutado y sabor dulce.

Hay diferencia importante de aspecto entre las setas silvestres y cultivadas (Figura 76). Las setas cultivadas no se exponen a la luz, lo que da lugar a un color blanco grisáceo, mientras que las setas silvestres crecen generalmente con un color marrón claro a oscuro. Las setas cultivadas también crecen para producir estípites finos y largos, mientras que las setas salvajes producen un estípite mucho más corto y más grueso (Sánchez, 1994).



Figura 76. Carpóforos característicos de *Flammulina velutipes*. Izquierda: Cuando crece naturalmente sobre rastrojos. Derecha: Crecimiento en condiciones artificiales sobre una mezcla de aserrín. (Shank, 2004)

4.2 Tecnología de cultivo

Según Royse (2001), la producción de la mayoría del enokitake en Japón se basa en la utilización de sustrato sintético contenido en botellas del polipropileno, el cual es una mezcla de aserrín de especies arbóreas latifoliadas con salvado de arroz, en proporción 4:1. Ya elaborada la mezcla, se llenan mecánicamente las botellas de polipropileno cuya capacidad es de 800 a 1,000 ml. El aserrín puede ser de *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* o bien de especies de pino con 9 a 12 meses de asentamiento, que al parecer ofrecen rendimientos más altos.

Después de llenar las botellas, estas se esterilizan durante 4 horas a 95° C ó durante 1 hora a 120° C. Se inoculan mecánicamente y se incuba el sustrato a una temperatura entre 15° y 20° C, con humedad relativa de 70% durante 20 a 25 días. Cuando el sustrato se coloniza completamente, la capa de superficial del micelio formada en la parte superior de la botella se elimina en condiciones asépticas (rascado) y se procede a colocar las botellas al revés por 2 días. Al hacer el rascado del micelio, la temperatura se disminuye a 10°-12° C por 10 a 14 días (Royse, 1996).

Para mejorar la calidad de los carpóforos, las temperaturas se pueden bajar a 3°-8° C hasta la cosecha. Una vez las setas comienzan a aparecer sobre el borde de la botella, se sujeta con un anillo de hule o masking tape alrededor del cuello, un bolso del vinilo que servirá para sostener las setas de modo que los estípites crezcan largos, finos y rectos (Figura 77). Cuando las setas alcancen de 13 a 14 centímetros de largo, se procede a

quitar el bolso de vinilo y las setas son arrancadas como manojos del sustrato. Finalmente las setas son empaquetadas al vacío y colocadas en las cajas para el envío al mercado. La seta disponible en el supermercado a menudo todavía muestra la forma de la botella alrededor de la base de la seta. En estas condiciones el ciclo de cultivo tiene una duración de 60 días.



Figura 77. Fases de crecimiento de *Flammulina velutipes* en botellas de polipropileno con aserrín enriquecido. Wilson (2003) y Wuilbout (2005)

5. Tecnología aplicada a los hongos micorrícicos

5.1 Relación hongo-planta

Los hongos son seres vivos heterótrofos y para nutrirse necesitan utilizar material orgánico producido por otros organismos. Esta dependencia alimentaria hace que se generen lazos ecológicos tan estrechos con otros seres, que pueden dar lugar a la formación de relaciones tróficas y morfológicas de orden superior: hongos saprófitos, parásitos y micorrícicos. A diferencia de los hongos saprófitos como los que hemos descrito hasta ahora, los hongos micorrícicos dependen de los árboles para fructificar. Estos se desarrollan conjuntamente con las plantas a través de un tipo de asociación simbiótica, en la cual la planta se beneficia porque las hifas del micelio actúan como extensión del sistema radicular que le permite absorber los nutrientes del suelo. A cambio de ello, el hongo recibe de la planta sustancias elaboradas, principalmente carbohidratos. Aunque los tipos de simbiosis son variados, los hongos micorrícicos constituyen un tipo de asociación particularmente interesante que tiene lugar entre las hifas del hongo y la porción terminal del aparato radical de la planta.

En un mismo sistema radical, existe una sucesión fúngica donde diferentes especies de hongos conviven y se desplazan a lo largo del tiempo, dependiendo de la evolución del sistema radicular, del ambiente o de las posibles intervenciones humanas (micorrización dirigida). Si bien los hongos micorrícicos dependen del árbol huésped para producir

carpóforos, es posible obtener cultivos axénicos en ausencia de aquel para producir fuentes de inóculo.

Aproximadamente unas 5,000 especies de hongos con carpóforos, principalmente Basidiomicetos, están asociadas a árboles forestales estableciendo algún tipo de micorriza. Algunas raíces de árboles del bosque, árboles frutales y demás plantas verdes están asociadas a hongos inferiores, la mayoría microscópica, que no producen carpóforos macroscópicos típicos. Estos hongos aunque presentes en casi todo el planeta, forman otros tipos de micorrizas que no pertenecen más que a 6 géneros, incluyendo alrededor de un centenar de especies. La figura 78 ilustra de manera magnificada la relación hongo-planta, en donde se aprecian los distintos componentes que dan lugar a la formación de los carpóforos que observamos en bosques y plantaciones forestales.

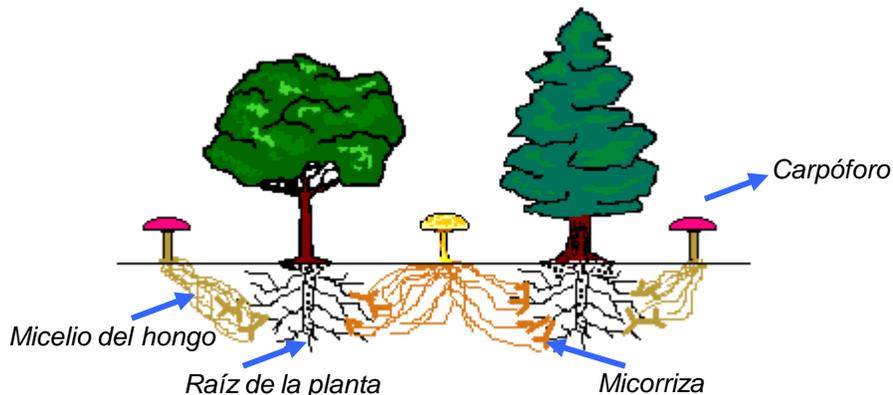


Figura 78. Estructura de la interrelación típica entre hongos micorrícicos macroscópicos y especies forestales

5.2 Tipificación e implicaciones prácticas

Con base a las características morfológicas y de la taxonomía de los organismos que constituyen la asociación hongo-planta, se definen los siguientes tipos de micorrizas: ectomicorrizas (ECM), vesículo-arbusculares (MVA) y endomicorrizas (Arbutoides, Monotropoides, Ericoides y Orquideoides).

En comparación con otras micorrizas como las MVA, las ectomicorrizas constituyen un tipo de simbiosis presente en un número mucho más reducido de especies vegetales, ya que sólo de un 5% de las especies vegetales superiores forman ectomicorrizas. Sin embargo este hecho no implica menor importancia ecológica y/o económica, dado que incluye especies fúngicas comestibles más apreciadas en el mercado internacional como *Tricholoma matsutake* (matsutake), *tuber melanosporum* (trufa), *Boletus edulis* (porcini), *Cantharellus cibarius* (revozuelo), *Lactarius deliciosus* (níscalo), *Amanita caesarea* (oronja) entre otras, relacionadas a diversas especies arbóreas pertenecientes a las familias Betulaceae, Fagaceae, Pinaceae o Juglandaceae; todas ellas con interés forestal. Algunos géneros como *Cupressus*, *Juniperus*, *Salix*, *Alnus*, *Acacia*, *Glicicidia*, *Cedrela*, *Inga*, *Persea*, *Coffea*, *Prunus*, *Citrus*, *Malus* y *Asparagus* forman endomicorrizas. Además, el género *Eucalyptus* se caracteriza por formar tanto ectomicorrizas como endomicorrizas (*E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. robustus*, *E. citriadora*, *E. cinerea*).

Respecto al componente fúngico, los hongos integrantes de la asociación son generalmente un Basidiomiceto o un Ascomiceto (*Tuber melanosporum*), sin embargo también puede formar este tipo de simbiosis un Zygomycete perteneciente al género *Endogone*, así como un hongo imperfecto del género *Cenococcum* (Rodríguez, 2007).

Las ectomicorrizas se desarrollan en las raíces cortas y activas en vez de las raíces laterales estructurales, largas y de consistencia leñosa. Una vez que la raíz desarrolla un meristemo lateral y se inicia la formación de tejido leñoso, las micorrizas pueden no seguirse formando. Las ectomicorrizas pueden ser fácilmente reconocidas por la cubierta fúngica o manto que envuelve a las raíces activas. A menudo el micelio fúngico que crece en forma de fibra, puede ser visto emergiendo directamente del manto (figura 79) y colonizando el suelo o el sustrato de enraizamiento. Cuando una ectomicorriza es seccionada y su anatomía interna es examinada bajo el microscopio, es posible ver la segunda característica principal de las ectomicorrizas: El crecimiento intercelular del hongo entre las células epidérmicas y corticales, que forma la red de Hartig. En el interior de esta extensiva zona de contacto entre hongo y células radiculares, es donde se realiza el intercambio de los nutrientes absorbidos por el hongo y los productos de la fotosíntesis generados por la planta (Rodríguez, 2007).

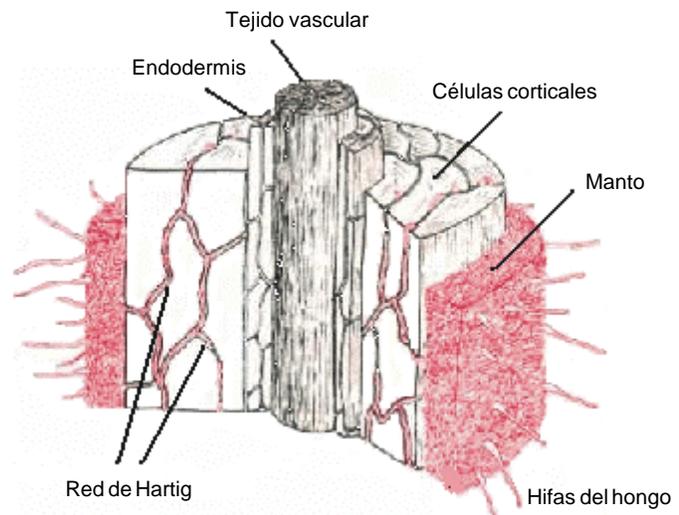


Figura 79. Izquierda: Ectomicorriza de *Cantharellus cibarius* sobre raíces cortas de *Picea abies* (Chevalier, 1995). Derecha: Esquema general de la distribución del hongo en las raíces cortas del sistema radicular del árbol (Regés, 2005)

Aunque la acción beneficiosa que desarrollan los hongos micorrícicos con respecto a las plantas infectadas se refleja en muchos sentidos, los aspectos más destacados, por la importancia y trascendencia de sus efectos, son: Eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, producción de reguladores de crecimiento y la protección del sistema radical contra agentes patógenos.

En más de 80 países los hongos silvestres son recolectados como comida y/o para ganar dinero. Aunque son centenares las especies de hongos que se consumen, sólo unos pocos presentan importancia económica en el ámbito mundial, es decir, que figuren en las

estadísticas de importaciones y exportaciones de los países. De todos modos la importancia es enorme, sobre todo para comunidades rurales de países en desarrollo como Guatemala, cuya recolección y venta en los mercados representa una oportunidad para generar ingresos en áreas donde las opciones para hacerlo son limitadas.

Aunque el 28% del territorio Guatemalteco está protegido (Sánchez, 2006), la deforestación es un problema grave y la selva está siendo arrasada a un ritmo alarmante para conseguir madera, para cocinar y como fuente de calor, pero especialmente para sembrar nuevos campos de maíz mediante el típico sistema de roza, tumba y quema. Con el objetivo de hacer eficaz los procesos de reforestación, conseguir un uso múltiple de nuestros bosques, a la vez que aportamos alternativas a los cultivos tradicionales en zonas rurales; el cultivo de hongos micorrícicos representa una opción para la producción de planta micorrizada y/o de setas comestibles con importancia comercial, proceso que da lugar a partir del inóculo.

5.3 Aislamiento y producción de inóculo

Los medios de cultivo para hongos micorrícicos deben realizarse de modo ajustado para que los resultados de los experimentos puedan ser replicados posteriormente. El medio adecuado dependerá del hongo que deseemos aislar y en algunos casos de la fuente de inóculo. Dos de los medios más empleados y que ofrecen buenos resultados son MNM (Melin Norkrans modificado) y PDA.

Para la preparar el medio MNM (Acedo, 2004), se añaden con una pipeta en un vaso de precipitados los seis primeros componentes en el orden en el que aparecen reflejados en el cuadro 20 y la disolución se mantiene en un agitador para una correcta homogeneización de la mezcla. A continuación se añade la tiamina. Posteriormente se incorporan la glucosa y el extracto de malta y se añaden en orden a la disolución, siempre manteniéndola en el agitador. Se toma el pH de la disolución que ha de ser de 5.5. Si no es así se debe corregir con una disolución ácida o básica según proceda. Una vez corregido el pH, se procede a añadir el agar. La disolución así obtenida se vierte sobre un erlenmeyer en el que previamente habremos incorporado el agar y se agita vigorosamente para favorecer su disolución. Por último, se añade el agua destilada, se agita de nuevo y se esteriliza en autoclave.

Los hongos micorrícicos pueden aislarse de tejidos del cuerpo fructífero, esporas y micorrizas. Para obtener un cultivo axénico a partir de carpóforos se abre cuidadosamente el pileo y el estípite del hongo, se toman fragmentos del tejido con bisturí estéril (flameado) para ser sembrados en el medio sólido preparado anteriormente. Puede partirse de esporas que se recogen en caja de Petri sobre papel filtro estéril. Para hacerlo a partir de micorrizas se lavan con agua corriente una hora, se lavan varias veces con agua destilada, se desinfectan con H₂O₂ (10 vol) durante cierto tiempo, que puede ser desde segundos a varios minutos, lavar con agua estéril y depositar sobre el medio de cultivo preparado anteriormente. Incubar a 23° C (Frioni, 1999).

Cuadro 20. Composición recomendada para preparar el medio MNM sólido

Ingredientes	Frioni, 1999	Acedo, 2004	
		250 ml	100 ml
CaCl ₂	0.05 g	2.5 ml	1.0 ml
NaCl	0.025 g	2.5 ml	1.0 ml
KH ₂ PO ₄	0.5 g	2.5 ml	1.0 ml
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0.2 g	2.5 ml	1.0 ml
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.15 g	2.5 ml	1.0 ml
Sequestrene (Solución)	1 ml	2.5 ml	1.0 ml
Tiamina (HCl-tiamina)	100 mg	0.25 ml	0.1 ml
Glucosa o dextrosa (sacarosa)	10 g	2.5 g ml	1.0 g
Extracto de malta	3 g	0.75 g	0.3 g
Agar	20 g	3.75 g	1.5 g
Agua destilada	1000 ml	235 ml	94 ml

Observaciones: 1ml=20 gotas y 0.1 ml=2 gotas. Entre paréntesis es lo recomendado por Frioni, 1999. Solución= 1.0 g de citrato férrico + 0.64 g de ácido cítrico+100 ml de agua.

Existen diversos tipos de inóculo y numerosa formas de aplicarlo que facilita la manipulación, mejoran la viabilidad y efectividad. Los dos tipos básicos de inóculo son el esporal y el micelial o vegetativo (alginatos y micelio en sustrato sólido). En el caso de empresas especializadas en la fabricación y comercialización de inóculo: Micología Forestal & Aplicada (MFA[®]) por ejemplo, el mismo está constituido por esporas liofilizadas o en forma pildorada, ésta última compuesta por la semilla de la planta forestal recubierta con funguicida, fertilizante de liberación lenta e inóculo micorrícico.

a) Protocolo para obtener inóculo esporal

La elaboración de inóculo esporal puede realizarse a partir de carpóforos frescos o secos. Básicamente consiste en preparar una solución de esporas o mezclarlas con otro agente transportador que facilite la manipulación de las esporas (arcilla por ejemplo). En fresco, se escogen los carpóforos de una especie concreta y con ayuda de un bisturí se separa el himenio y se deposita en un mortero. Se trituran los himenios hasta obtener una pasta homogénea. La pasta resultante se vierte en un vaso de precipitados, se le añade agua destilada y se agita bien para homogeneizar la mezcla. La proporción deber ser de 3 partes de agua por una de himenio machacado. Esta mezcla se filtra a través de una tela de algodón fina para eliminar los restos de tejido fúngico y separar solo las esporas para obtener el inóculo madre.

El número de esporas, que debe oscilar entre 10^5 - 10^7 por mililitro, se determina en una cámara de recuento (New Bauer). A partir de la solución madre, se obtiene la concentración requerida mediante dilución. La solución obtenida tras la dilución, está lista para usar como inóculo esporal. Una vez elaborado el inóculo esporal puede incorporarse al agua de riego o almacenarse bajo refrigeración (5° C) en completa oscuridad.

La ventaja del inóculo esporal es que constituye un método barato y sencillo de obtener, con el inconveniente que ha de ser usado rápidamente ya que las esporas van perdiendo viabilidad con el tiempo. No es un método totalmente efectivo. Algunas esporas pueden conservarse durante 2 ó 3 meses si se mantienen en frío pero el tiempo que se pueden tener almacenadas varía mucho de una especie a otra. Los carpóforos usados para la preparación de la suspensión sólo están disponibles en ciertas épocas del año, además la

constitución genética de las esporas variará año con año y de un lugar a otro. Se ha encontrado que no es necesario purificar la suspensión. Li y Castellano (1987), encontraron microorganismos benéficos tanto dentro como en el exterior de los cuerpos reproductores maduros de varios hongos ectomicorrícicos.

b) Protocolo para obtener inóculo encapsulado en alginatos

Es necesario disponer de micelio de un hongo aislado en cultivo puro y hacerlo crecer en un medio líquido. Una vez que se ha desarrollado el micelio, se bate para fragmentar y homogeneizar la mezcla. A continuación se mezcla con una disolución de alginato sódico al 2% (peso sobre volumen) en agua destilada estéril y se vierte gota a gota sobre cloruro cálcico. Como resultado se obtienen fragmentos de hifas encapsulados en un gel de alginatos que varían de 0.5-2 milímetros de diámetro.

c) Protocolo para obtener inóculo en sustrato sólido

El sustrato sólido está formado por turba y vermiculita estéril. A este sustrato se le añade un medio líquido MNM que aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento del hongo; luego se incorporan fragmentos de micelio precedente de cultivo puro en placa y se dejan crecer en ese sustrato. Posteriormente se mezcla el sustrato inoculado con sustrato estéril que puede emplearse como fuente de inóculo.

El inóculo vegetativo o micelial tiene la ventaja de ser más efectivo que el esporal en la colonización de raíces y además permite la producción de inóculo a gran escala de determinada cepa fúngica, aunque por otro lado el equipamiento requerido suele ser costoso y se necesita personal cualificado para su preparación y manejo.

5.4 Micorrización de planta para repoblación forestal

Las técnicas empleadas hoy día en muchos viveros forestales inciden negativamente en los fenómenos de micorrización que deberían producirse de un modo natural; así el empleo de herbicidas, el uso de sustratos artificiales carentes de cualquier tipo de inóculo o esterilizados, el excesivo uso de fertilizantes, etc. favorecen la formación de sistemas radicales con escaso porcentaje de raíces micorrizadas. Por otro lado, las labores de manipulación de esas plantas (manejo, transporte, etc.) no suelen ser adecuadas de cara a conservar las micorrizas, siendo además su destino, en muchas ocasiones, lugares con un escaso o nulo contenido en inóculo natural, tal es el caso de antiguos terrenos agrícolas, terrenos deforestados después del paso de fuertes incendios, escombreras de minas etc.

En consecuencia, las micorrizas deben constituir un elemento de vital importancia en las operaciones de un vivero forestal, pero teniendo en cuenta que el efecto que éstas producen sobre las plantas es variable, dado que depende del hongo, de la planta y de las manipulaciones concretas de cada vivero. Según Rodríguez (2007), en general las especies forestales a las que va dirigido este tipo de micorrización son, en su mayoría, coníferas (géneros: *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Pseudotsuga*) y los hongos con los que se suelen inocular son fundamentalmente *Pisolithus tinctorius* (figura 80), *Laccaria laccata*, *Laccaria bicolor*, *Cenococcum geophilum*, *Rhizopogon* spp., *Scleroderma vulgare*, *Lactarius deliciosus*, *Suillus* spp y *Hebeloma crustuliniforme*; algunas de ellas con carpóforos sin valor comercial desde el punto de vista gastronómico. Se considera por lo tanto que la utilización de los hongos micorrícicos en viveros forestales tiene un futuro claro, dado que

varios millones de plantas forestales son inoculados sólo en USA cada año y que cantidades suficientes de inóculo viable pueden ser producidas con un costo relativamente bajo.



Figura 80. Izquierda: Ectomicorrizas visibles de *Pisolithus tinctorius* en el sistema radicular de *Picea abies* (Raidl, 1997). Derecha: Carpóforos de *P. tinctorius*, amarillentos con tonos oliváceos en *Eucalyptus urophylla* (García et al., 2006)

Una ectomicorriza muy común en las plantas producidas en vivero es *Thelephora terrestris* (figura 81), cuyos carpóforos se presentan como estructuras erectas y duras de color café sobre la base del tallo de las plantas, alrededor de los orificios de drenaje en los contenedores individuales o en la base de los bloques de poliestireno expandido.



Figura 81. Acercamiento de un cuerpo fructífero de *Thelephora* sp, incrustado en un contenedor de poliestireno expandido (Styroblock®).

Las 4 principales fuentes de inóculo utilizadas en programas de micorrización de plantas en vivero forestal son: El suelo de bosques añejos, las esporas, los micelios vegetativos y con inóculo producido comercialmente. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, dependiendo de los objetivos y del costo del programa de inoculación.

a) Inoculación con suelo

Históricamente el inóculo de suelo obtenido de bosques y plantaciones forestales añejas

ha sido utilizado de manera extensiva, particularmente en los países en desarrollo (Mikola, 1970). Este método requiere grandes cantidades de suelo cada año. Una de las más serias desventajas de este tipo de inóculo, es que las semillas, rizomas de malezas y patógenos potenciales, pueden ser transportados de forma accidental hacia el vivero a través del suelo. Otra desventaja es la inconsistencia en la calidad del inóculo, debido a los diferentes momentos y fuentes de abastecimiento de suelo. No se recomienda este método a menos que no existan otras formas de inoculación.

b) Inoculación con esporas

Las esporas son aplicadas de seis a doce semanas luego de la siembra, ya sea mediante una regadera común o a través del sistema de riego. La mayoría de las esporas tienen diámetro menor a 50 μm y puede pasar libremente a través de la mayoría de los filtros y boquillas de riego. La cantidad deseada de esporas es mezclada dentro de una regadera que contiene suficiente agua para cubrir un determinado número o superficie de plantas. La aplicación de esporas dos veces, con una separación de dos o tres semanas, funciona mejor para asegurar una distribución uniforme, especialmente cuando se usa el sistema de riego, en lugar de regaderas manuales.

El tratamiento consiste en el pre-humedecimiento del sustrato durante un minuto, posteriormente la aplicación de esporas durante dos minutos y finalmente, un humedecimiento adicional durante dos minutos para que las esporas puedan descender dentro de cada cavidad del contenedor de la planta. El período de humedecimiento adicional sirve para limpiar las tuberías al utilizar otros tipos de hongos para diferentes grupos de especies. De las especies de hongos que han sido probadas utilizando el método de suspensión de esporas como inóculo; las del género *Rhizopogon* han tenido el mayor éxito. De manera alternativa, las esporas pueden ser aplicadas a la semilla antes de realizar la siembra (Marx y Bell, 1985). Aun y cuando no se ha utilizado con mucha frecuencia, este método ha demostrado ser más efectivo que el de riego mediante regadera. Aunque se ha mostrado efectivo con algunos hongos, se obtienen niveles pobres de micorrización utilizando inóculo esporal de *Lactarius deliciosus*.

c) Inoculación con micelios

El inóculo usualmente producido en un sustrato de turba de musgo y humedecido con una solución nutritiva. En este caso el inóculo se mezcla con el sustrato de los contenedores antes de que éstos sean llenados y sembrados. La inoculación vegetativa tiene un costo inicial alto y demanda más trabajo que el método de inoculación por esporas. De la misma forma que en la inoculación por esporas, la eficacia de las especies de hongos también es variable. Por ejemplo, *Rhizopogon vinicolor* se desarrolla bien en un sustrato artificial, pero no es efectivo en la colonización de raíces activas cuando es usado como inóculo vegetativo (Molina, 1980). Desafortunadamente no se han demostrado mejoras en la supervivencia o el crecimiento, tanto en el vivero como en las plantaciones, que justifiquen en el costo de la inoculación vegetativa con *Hebeloma crustuliniforme* y *Laccaria laccata* (Castellano, 1987).

d) Inóculos comerciales

También está la posibilidad de utilizar inóculos micorrícicos elaborados por casas comerciales especializadas. A manera de ejemplo, existe en el mercado un inóculo elaborado a base de *Pisolithus tinctorius* y *Trichoderma harzianum* Cepa T-22 (hongo

antagónico) recomendado para coníferas, nogal y encino en condiciones de sequía y pH de 3 a 8.5. Otro inoculante es el compuesto por *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma* más extractos de planta de yuca como aditivo para estimular del desarrollo de la flora microbiana del sustrato, recomendado para especies como pino, cedro, nogal abedul, sauce, ciprés, castaño, robles encinos, eucaliptos, abetos entre otros, para valores de pH entre 3 y 8; ambos producidos por Plant Health Care (PHC®). Por citar otro ejemplo, los inóculos micorrícicos de Micología Forestal & Aplicada (MFA®) están constituidos por una mezcla de seis especies compatibles que cubren el abanico de sustratos que pueden darse en un vivero o en el campo, entre ellas: *Rhizopogon luteolus*, *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma vulgare*, *Hebeloma crustuliniforme* y *Suillus* sp. Las dosis recomendadas dependen del tipo de aplicación (riego o incorporado al sustrato) y de la cantidad de esporas viables en el producto comercial.

La mayoría de los criterios actuales en cuanto a calidad de planta se limita a la condición y tamaño del tallo y follaje. Menor atención es puesta hacia la calidad del sistema radicular de las plantas producidas en vivero, aún y cuando es bien conocida la función de las raíces para proporcionar soporte estructural así como para la obtención de los nutrientes y el agua. Por consiguiente, para poder hacer una evaluación completa del estado de las plantas y predecir su potencial de supervivencia, debemos contar con conocimientos sobre la dinámica de la raíz de plantas nativas.

Este conocimiento es de suma importancia, dado que una vez que las plantas son extraídas del vivero y establecidas en campo, el sistema radicular deberá funcionar en las condiciones naturales del suelo, determinadas por complejos y no controlados factores ambientales y bióticos. Ciertamente las plantas dependen de las micorrizas para crecer y sobrevivir, lo que es evidenciado por la baja supervivencia de plantas no micorrizadas cuando son plantadas en suelos con carencia de hongos micorrícicos. Por lo tanto, la presencia y abundancia de las micorrizas también deben tomarse en consideración al evaluar la calidad del sistema radicular y en la predicción del comportamiento en campo.

5.5 Tecnología en la producción de setas de hongos micorrícicos

Aunque en la actualidad esta línea tiene en términos cuantitativos un menor peso en el conjunto de los trabajos realizados con micorrizas, lo cierto es que históricamente la primera aplicación práctica de las ectomicorrizas fue precisamente de cara al desarrollo del cultivo de la trufa, mucho tiempo antes de que fuese descrita la naturaleza de este tipo de asociación simbiótica. Dejando a un lado los intentos más o menos empíricos de inoculación artificial de especies arbóreas, el desarrollo de la micorrización controlada parte de los trabajos realizados con la inoculación por esporas y el desarrollo de técnicas que permiten la multiplicación de su micelio en cultivos puros.

La principal problemática en la producción de hongos comestibles micorrícicos reside en el mantenimiento de los hongos inoculados en el sistema radical de la planta, una vez que ésta ha sido transplantada al campo. Otro problema es la baja producción de hongos comestibles micorrícicos, asociado al establecimiento y manejo deficiente de plantaciones forestales que afecta negativamente el sotobosque y actividades productivas intermedias. A lo anterior se debe agregar lo escaso de la información sobre el tema de hongos micorrícicos comestibles y de las asociaciones de estos con especies forestales que involucran aspectos como optimización del establecimiento y crecimiento inicial de las

plantas, dadas por la eficiencia radicular aportadas por las micorrizas para obtener productos intermedios de alto valor.

La incorporación de hongos micorrícicos, especialmente de especies productoras de setas comestibles con alto valor económico, puede generar un flujo de ingresos adicionales durante todo el período de rotación de un cultivo forestal, haciendo de esta forma más atractiva la inversión en forestación. Adicionalmente, la naturaleza micorrícica de estos agentes tiene una positiva repercusión en el desarrollo de las plantas y en la disminución de los costos de replante. Ambos efectos, al igual que el flujo de ingresos adicionales, también contribuyen a mejorar la rentabilidad de las plantaciones y pueden aumentar el interés de propietarios por invertir en establecimiento de plantaciones forestales (Chung *et al.*, 2006). Según Wang (2000), alrededor de la mitad de las setas comestibles que se comercializan en el mundo pertenecen a los hongos ectomicorrícicos: *Boletus edulis* (porcini), *Cantharellus cibarius* (revozuelo), *Lactarius deliciosus* (níscolo), *Tricholoma matsutake* (matsutake), *Tricholoma magnivelare* (matsutake), *Tuber melanosporum* (trufa negra) y *Tuber magnatum* (trufa blanca italiana); que en conjunto representan montos por sobre los US\$ 2 billones en el mercado internacional.

A efecto de ilustrar el proceso de cultivo de hongos comestibles micorrícicos, a continuación se presentará una síntesis de la técnica empleada para trufa negra, porcini y níscolo. A excepción del porcini (pancita), en nuestro país no existen antecedentes experimentales acerca del cultivo de estas tres especies de hongos. Sin embargo, la identificación de las condiciones de sitio propias de su desarrollo natural y las experiencias productivas exitosas en otras latitudes para desarrollar esta tecnología, pueden ser el punto de partida para la introducción exitosa de estos hongos micorrícicos en algunos tipos de bosques naturales y plantaciones de especies forestales.

a) Cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum*)

Considerado el diamante negro de la cocina, aparece de forma natural principalmente en España, Francia e Italia. La producción natural está disminuyendo drásticamente y el mercado pelagra sin su cultivo. Es un hongo hipogeo porque el carpóforo de color negro crece debajo de la capa superficial del suelo (10-15 cm). La micorriza de *Tuber melanosporum* con ramificaciones simples, color marrón, manchas rojizas y cistidios transparentes, es mostrada en la figura 82.



Figura 82. Micorriza (Izquierda) y carpóforo (derecha) de *Tuber melanosporum* (Colinas y Fuentes, 2005).

Según Bonet, Oliach y Colinas (2004), la aptitud trufera de una zona viene determinada por sus condiciones geográficas, climáticas, geológicas, edafológicas y bióticas. En este sentido las condiciones geográficas son de 700-1500 metros sobre el nivel del mar, precipitación pluvial de 525-900 mm/año, temperatura media anual de 11-14° C, para el mes más cálido: 16.5-22° C y para el mes más frío de 1-8° C. En cuanto a las condiciones edafológicas, la trufa se desarrolla sobre suelos calcáreos de 10-40 cm de profundidad del tipo rendzina, calcosoles y calcisoles. Para cultivar trufa en suelos ácidos sería necesario aportar enmiendas para aumentar el pH. El rango óptimo del pH del suelo es de 7-8.5, con 1.5-8% de materia orgánica, 1.04-2.16 g de nitrógeno por kilogramo de suelo y con textura granulosa o grumosa. Suelos con más de un 40% de arcilla son habitualmente desaconsejados para la truficultura.

Dentro de las condiciones bióticas, los antecedentes del cultivo preferentemente deben ser cereales, forrajes o leguminosas. También se admiten como buenos precedentes viña y frutales y en general antecedente de cultivos endomicorrícicos. En el caso de cultivos leñosos es importante comprobar el estado sanitario de las raíces. Una infección del hongo patógeno *Armillaria* sp, podría afectar seriamente la plantación. Cuando este sea el caso, algunos autores recomiendan una limpieza biológica del terreno durante uno o varios años con especies de cereales o forrajeras.

Los huéspedes que forman micorrizas con *Tuber melanosporum* son encino (*Quercus ilex*), robles (*Quercus faginea*, *Q. pubescens*), coscoja (*Quercus coccifera*), avellano (*Corylus avellana*), cistos y jaras (*Cistus albidus*, *C. incanus*, *C. laurifolius*, *C. salvifolius*) y algunas especies de los géneros Pinus, Larix, Cedrus, Betula, Carpinus, Tilia, Ostrya, Populus, Fagus, Castanea, Salix y Fumana. En Italia, los enebros también aparecen citados como huéspedes. Idealmente, el huésped elegido debe ser el más adecuado a la zona. En España, los mejores resultados se están obteniendo con *Quercus ilex* y parece desaconsejarse la plantación con avellanos. En Francia, el encino se muestra más precoz que el roble, lo que explica su mayor utilización en las plantaciones actuales.

Para establecer la plantación hay que preparar el terreno, comprar la planta y plantar en la fecha adecuada eligiendo previamente la densidad de la plantación, en función de la fertilidad del suelo (de 250-350 plantas por hectárea). Es importante hacer una labor profunda para romper el suelo con subsolador, arado de vertedera o chisel y después una labor superficial para nivelar y afinar el terreno con gradas o cultivadores. Se debe realizar sobre suelo seco y sin mezclar los horizontes. Los terrenos superficiales y suelos ligeros poco orgánicos (texturas arenosas, areno-arcillosas) y relativamente limpios pueden ser plantados directamente.

Ya establecida la plantación es aconsejable regar con 3-4 litros de agua por planta durante el crecimiento y de 30-50 litros por metro cuadrado cada 15-20 días durante la producción. Actualmente se aconseja el riego por aspersión en lugar del riego por goteo. Durante esta etapa también es necesario el laboreo del terreno, una o dos veces por año. Este se realiza con cultivadores o gradas (no con rotovator), a profundidad no mayor de 10-12 cm. No obstante un laboreo excesivo del suelo (3-4 por año) puede tener un efecto negativo sobre la estructura y la porosidad por la destrucción de los agregados y la compactación, lo que puede conducir a un efecto inverso al que se busca en truficultura y a ralentizar la actividad microbiana. En suelos arenosos, la aireación natural puede ser suficiente para

justificar el no laborear el suelo.

Por otro lado, el enyerbamiento favorece el desarrollo de la actividad biológica y de la microflora del suelo, actividad que más tarde será importante para el desarrollo del carpóforo. Puede ser natural o artificial y en dirección contraria al laboreo. En función del análisis de suelo, se puede compensar la carencia de nutrientes, recomendándose únicamente abonados a razón de 150 kilogramos por hectárea de superfosfato de cal en zonas especialmente pobres. También se pueden hacer enmiendas calcáreas de liberación lenta antes de laborear, empleando dosis alrededor de 1000 kilogramos por hectárea de CaCO_3 . El abonado nitrogenado sería perjudicial, mientras que el abonado con fosfato puede favorecer la formación de micorrizas. Otra práctica importante relacionada con el manejo de la plantación es la poda. Los objetivos de la poda son múltiples: Limitar el crecimiento de los árboles y de su sistema radicular en condiciones vigorosas, anticiparse al cierre del medio, corregir anomalías del porte y crear las condiciones favorables al desarrollo de las trufas. Con la poda se consigue aumentar la luz que llega al suelo y facilitar la instalación posterior de un sistema de riego, además de favorecer la cosecha. Se recomienda aplicarla todos los años en la fase de reposo vegetativo, de manera que el árbol tenga forma de cono invertido u óvalo, eliminando por tanto las ramas bajas.

Según Hall *et al.* (1994) no se espera producción en una plantación de *T. melanosporum* antes del séptimo o del décimo año, aunque *C. avellana* con *T. melanosporum* puede empezar a producir a partir del cuarto año. En cuanto a los costos, rendimiento de la plantación y los beneficios esperados, se estima que en una hectárea de árboles micorrizados con trufa negra, los costos de implantación ascienden a €4,620.00 y los de mantenimiento a €3,000.00. Tomando de base una vida útil de 35 años de la plantación y rendimientos medios estimados en 30 kilogramos por hectárea por año a partir del 10º año y precio medio de €246.00 por kilogramo (intervalo de confianza del 95% de 154-338 €/kg); la rentabilidad resulta ser de 36.11% (Bonet, Oliach y Colinas, 2004). Para calcular la rentabilidad se ha tomado en cuenta los ingresos debidos a corta del arbolado y la venta final de la madera y una tasa de descuento anual de 4%.

b) Cultivo de porcini (*Boletus spp*)

El boleto es un hongo micorrícico de tercer estadio y por ello vive asociado a las raíces de ciertos árboles, siempre adultos, como encinos, alcornoques, robles, pinos, hayas, abedules y castaños entre otros. Por ello, la producción de boleto a partir de plántulas micorrizadas conlleva un tiempo de espera de hasta 10 años, edad a la cual no se asegura el mantenimiento de la micorrización. A raíz de estas dificultades, en los últimos años se ha desarrollado una técnica que consiste en la micorrización de árboles adultos del bosque, dando así un valor añadido a la producción forestal.

Para la inoculación con *Boletus*, se utilizan 4 especies: *Boletus edulis*, *B. pinicola*, *B. aestivalis*, *B. aereus* (MFA®), todas ellas apreciadas en el ámbito mundial. Los bosques escogidos para la introducción de boleto han de estar en zonas ácidas, pH menor de 5.5, de textura variable, suelos pobres, no importando excesivamente su altitud sobre el nivel del mar, aunque se obtienen mayores producciones en orientaciones sur y oeste. Se recomienda que tengan una densidad de unos 600 árboles por hectárea. Agradece los bosques de árboles latifoliados abiertos. En coníferas tolera una densidad más elevada.

La inoculación se realiza en al inicio de la época lluviosa, cuando existe formación de raíces finas nuevas y superficiales. Es conveniente realizar trabajos de aclareo o podas y realizar labores superficiales del suelo cuando sea posible. La inoculación del sistema radical de la planta puede ser manual depositando el inóculo en el suelo, semimanual mediante la inyección de geles con lancetas acopladas a compresores o mochilas de sulfatar; o mecanizada mediante la incorporación de geles al suelo con tractores. Es conveniente retirar la hojarasca para disminuir la cantidad de materia orgánica en el suelo y disminuir la contaminación de otros hongos.

La fructificación empieza a partir del segundo año después de la inoculación y fructifican a la vez respondiendo a un tipo de inducción, específica (descenso de temperatura y humedad). La aplicación de técnicas agroforestales concretas para incentivar la producción del boleto permite la obtención de producciones hasta de 100 kilogramos por hectárea en un año. El recolector podrá comercializar el boleto de primera a €4.80 por kilogramo, cuando todavía no se ha abierto el pileo y de segunda a €1.80 por kilogramo, cuando ya se ha desarrollado. La producción de boleto en bosque permite obtener beneficios netos anuales de €480.00 por hectárea (Chung *et al.*, 2006).

c) Cultivo de níscolo (*Lactarius spp*)

El níscolo es un hongo micorrízico de segundo estadio y por ello vive asociado a las raíces de pinos jóvenes, generalmente de menos de 30 años. Dentro del genero *Lactarius*, se utilizan 3 especies para la fabricación del inóculo: *L. deliciosus*, *L. sanguifluus* y *L. vinosus* (MFA®). Las ventajas de utilizar la inoculación directa en pinares son que acelera la producción y acorta el tiempo de espera a dos años, permitiendo dotar de un valor añadido a las explotaciones de pino tradicionales.

Los bosques escogidos para la introducción de níscolo pueden encontrarse tanto en terrenos calcáreos como ácidos, de textura variable, suelos pobres, con mayores producciones en orientaciones sur y oeste. Se recomienda que tengan una densidad de unos 800 árboles por hectárea. El bosque debe ser un pinar joven, de menos de 15-20 años y puede introducirse el níscolo en cualquier especie de pino.

Existen dos tipos de inóculo: líquido y pildorado. Ambos incluyen las tres especies de níscolo que cubren el abanico de condiciones ambientales y del suelo. Habitualmente la introducción mediante inóculo líquido se hace mecánicamente, siempre que la plantación de pinos se encuentre en antiguos campos de cultivo. La aplicación de inóculo pildorado se lleva a cabo de forma manual, incorporándolo al suelo. Como en el caso del cultivo de trufa y boleto, el níscolo también requiere de podas y labores superficiales del suelo para favorecer la aireación. Un pinar productor de níscolos con una producción de 300 kilogramos por hectárea genera un beneficio neto anual de €590.00 aproximadamente (Morcillo, 2003).

5.6 Eficacia en la micorrización y producción de setas

En esta sección se abordará la problemática alrededor del cultivo de hongos comestibles micorrízicos, se analizarán las posibles causas o por qué en muchos casos resulta complejo establecer la micorrización o por qué cuando ésta se consigue, falla la producción de setas.

a) Antagonismo

Los hongos micorrícicos compiten entre sí o con microorganismos constantemente por espacio de crecimiento en la rizósfera de la planta. De la misma forma en que los hongos micorrícicos pueden ser antagónicos con ciertos patógenos, existe también antagonismo con otros hongos micorrícicos. En cultivos puros, algunas especies del género *Rhizopogon* producen químicos que inhiben a hongos como *Cenococcum geophilum*, *Hebeloma crustuliniforme*, *Laccaria laccata*, *Pisolithus tinctorius* y *Thelephora terrestris* (Castellano,1987). La comprensión de las interacciones competitivas entre los hongos micorrícicos, permitirá seleccionar las especies de hongos, por su capacidad para dominar el sistema radicular luego de la inoculación y para continuar proporcionando beneficios selectos en las plantas cuando han sido establecidas en campo.

b) Formación de ecotipos

Aún dentro de la misma especie, los hongos aislados procedentes de diferentes hábitats tienen características morfológicas diferentes. La aplicabilidad de la inoculación de especies hospedantes procedentes de una fuente específica, con un ecotipo de hongo en particular (Coevolución de los componentes de la micorriza en un área geográfica), tiene el potencial de acoplamiento entre el hongo y el hospedante para determinado hábitat.

Diferentes genotipos de *Pinus sylvestris*, *P. contorta* y *P. ponderosa*, *Picea sitchensis*, *Larix decidua* y *Pseudotsuga menziesii* (Wright y Ching,1962), forman variadas cantidades de ectomicorrizas, cuando son inoculados con el mismo hongo y cultivados bajo condiciones similares. La respuesta en crecimiento de la planta hospedante también puede ser diferente (Zhu y Navratil,1987). Los programas de investigación micorrícica en la actualidad buscan determinar la importancia del acoplamiento de las adaptaciones ecológicas entre árboles y hongos, con miras a aplicaciones a gran escala.

c) Desplazamiento de especies

Algunos hongos inoculados no se mantienen en las raíces de las plantas después de la plantación en terreno y, por lo tanto, los beneficios planeados inicialmente no llegan a darse. Por ejemplo, en algunos hábitats las ectomicorrizas de *Pisolithus tinctorius* son desplazadas de manera agresiva de las raíces activas de las plantas inoculadas, por hongos micorrícicos nativos después de la plantación (McAfee y Fortin, 1986). Investigadores han observado muchas veces el desplazamiento de *Pisolithus tinctorius* y otros hongos inoculados (*Thelephora terrestris*, *Laccaria laccata* y *Hebeloma crustuliniforme*) después de la plantación, principalmente por hongos del género *Rhizopogon* (Castellano y Trappe, 1987). Sin embargo, algunos hongos han mostrado persistencia por varios años en plantas inoculadas. La persistencia de los hongos micorrícicos es un criterio importante cuando se selecciona uno para la inoculación.

d) Complejo de especies interrelacionadas

¿Es posible que existan relaciones complejas entre diferentes especies de hongos necesarias para su fructificación? Aparentemente sí. *Boletus edulis* por ejemplo, aparece asociado a *Clitopilus prunulus* y *Amanita excelsa*, con la cual no sólo fructifican juntos sino que en observaciones microscópicas, sus micelios se encuentran íntimamente ligados en la superficie de las raíces de la planta huésped. Los anteriores no son los únicos casos; *Suillus bovinus* y *Rhizopogon* spp aparecen a menudo junto a *Gomphidius roseus*; *Suillus* spp aparece con *Chroogomphus* spp y *Boletus parasiticus* se asocia a *Scleroderma*

citrinum.

Otros hongos micorrícicos como *Cantharellus* spp y algunas trufas llevan siempre asociadas bacterias del género *Pseudomonas* en sus fructificaciones y micorrizas (Morcillo 2003). Estas bacterias parecen estar involucradas en la formación de micorrizas, en facilitar el acceso a fuentes de alimento para el hongo o en la supresión de hongos competidores. Algunos investigadores ya están realizando inoculaciones conjuntas de dos o más hongos aunque sólo interese la fructificación de uno de ellos. Es posible que para determinados hongos sean necesarios varios componentes para obtener una micorriza estable, o que sólo introduciéndolos directamente en su hábitat natural consigan fructificar.

e) Categorización facultativa

Otra posible razón por la cual no se ha conseguido cultivar algunos hongos es por presuponer que son micorrícicos, cuando su relación con la planta huésped es mucho más compleja. Los micólogos clasifican a los hongos en micorrícicos, saprófitos y parásitos. En estas tres categorías arbitrarias, creadas por el hombre, no encajan bien todos los hongos. Muchos se encuentran en puntos intermedios (Morcillo 2003). Por ejemplo, algunos parásitos como *Armillaria mellea* pueden vivir en los tejidos del árbol mucho tiempo después de muerto; otros hongos “micorrícicos” presentan habilidades saprofíticas: *Boletus edulis*, *Hebeloma* y *Lyophyllum shimeji*, pueden fructificar en el laboratorio sobre medio nutritivo en ausencia de la planta huésped. *Tricholoma matsutake* inicialmente micorrícico en pinos, pasa a ser parásito destruyendo completamente el córtex radical de su huésped e incluso viviendo como saprófito una vez que el árbol muere.

Las colmenillas o cagarrias (*Morchella* spp), son consideradas micorrícicas, pudiendo multiplicar su micelio en diferentes medios de cultivo y consiguiendo fructificaciones en alguno, por lo que podría cultivarse comercialmente sobre sustratos artificiales. Los quemados o calvas producidos por la trufa negra son sobradamente conocidos. Este hongo aún estableciendo micorrizas con su planta huésped, es capaz de matar y evitar la germinación de toda la vegetación a su alrededor.

Las trufas además, a los pocos días de su formación ya no presentan ninguna relación con su planta huésped, creciendo y madurando hasta 10 meses de forma saprofítica. Otro ejemplo lo encontramos en *Lactarius deliciosus*, típicamente micorrícico puede invadir las células del córtex de la raíz del pino que lo hospeda y de algunas hierbas de su alrededor, actuando mas bien como un parásito. Esta misma especie produce altos niveles de polifenol oxidasas, un encima capaz de degradar la lignina y la celulosa, típico de hongos saprófitos.

El objetivo de estas reflexiones es poner en relieve algunas de las áreas sobre las que vale la pena explorar si pretendemos llegar a cerrar con cierto éxito el ciclo de cultivo de algunos hongos micorrícicos. Ante todo, habrá que hacer conciencia de que se han vertido algunas ideas y pocas fórmulas concretas que permitan una aplicación sencilla de una micorrización optimizada. Sin embargo con un poco de experiencia, meticulosidad y teniendo en cuenta los principios anteriores en poco tiempo se notarán mejoras considerables en el desarrollo, aspecto de las plantas en el vivero forestal, en la plantación y en el rendimiento de carpóforos por unidad de área.

CAPÍTULO VI HONGOS COMESTIBLES EN GUATEMALA

Corresponde ahora plantear interrogantes en torno a los avances en materia de investigación y aprovechamiento del recurso fúngico que en nuestro país se ha realizado. Entre otras, por ejemplo ¿Qué estudios se han hecho en Guatemala?, ¿Cuáles son las regiones del país donde crecen y se acostumbra el consumo de hongos silvestres?, ¿Con qué especies de hongos comestibles contamos?, ¿Cuáles con las características morfológicas propias de las especies más apreciadas en Guatemala que permiten su reconocimiento y recolección del campo? Etc. Cuestiones que habría que responder a fin conocer la diversidad, distribución y potencialidad del recurso fúngico con miras a su desarrollo, aprovechamiento y contar con criterios sólidos para decidir por donde empezar; ya sea con intenciones netamente comerciales, de desarrollo disciplinar, social, o bien, para enriquecer el cúmulo de conocimientos ancestrales transmitidos de una generación a la otra, que constituyen parte del vasto patrimonio cultural de Guatemala.

1. Estudios realizados en Guatemala sobre hongos comestibles

El micólogo clínico, Lic. Rubén Mayorga Peralta, fue sin duda el impulsor de la micología en Guatemala, tanto desde el punto de vista de hongos patógenos como de los macromicetos, quién invitó al Dr. Bernardo Lowy para realizar los primeros estudios etnomicológicos en nuestro país (Cáceres, 1990). De ahí que la micoteca de macromicetos de Guatemala lleve su nombre.

Entre los diferentes tópicos que pueden abordarse a través de la acción investigativa, los estudios de diversidad y clasificación taxonómica de los hongos comestibles presentes en determinada región, han constituido los de mayor interés por parte de investigadores tanto nacionales como internacionales. La mayor parte de los estudios se han centrado en la biodiversidad de especies fúngicas comestibles, donde el conocimiento de grupos étnicos como el Kaqchikel, ha permitido recabar importante información etnomicológica. A manera de ejemplo, entre los estudios realizados por autores nacionales destacan los siguientes:

- a) “Hongos comestibles en los mercados de Guatemala”, realizado por Yvonne Sommerkamp en 1990. Constituye la primera guatemalteca que estudió la diversidad de hongos comestibles en el país. En su trabajo describe 21 especies comestibles, entre saprófitos y micorrícicos del país, siendo uno de los informes publicados que recopila mayor información sobre el tema.
- b) “Hongos ectomicorrícicos asociados a *Abies guatemalensis*, *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite* de la Sierra de Los Cuchumatanes, Huehuetenango y su aprovechamiento en la producción de planta forestal micorrizada” realizado durante 4 años de investigación (Flores, 2000)
- c) “Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula”. Realizado por María del Carmen Bran *et al.*, en 4 fases de estudio en el período comprendido entre el 2001 y 2004. Por cierto, premiado como el mejor trabajo de investigación. En este estudio se recopiló información etnomicológica en diversas áreas del país, se amplió la información sobre el número de especies comestibles que crecen en Guatemala, se aisló y cultivaron cepas saprofíticas y micorrícicas para producción de inóculo, cuerpos fructíferos y se realizó capacitación a campesinos de comunidades rurales en el uso del recurso fúngico comestible como un medio de desarrollo socioeconómico. A raíz de los resultados alcanzados de este estudio, se

publicó el libro titulado “Hongos Comestibles Silvestres de Guatemala”.

Otros trabajos existentes al respecto se pueden mencionar el de Argueta (1993), Sommerkamp (1985 y 1992), Logemann (1987), Herrera (1991), Aguilar (1994), Fuentes (1996), García (1999), Rizzo (1999), Flores *et al.* (1999), Flores & Simonii (2000), Morales (1998 y 2001), Márquez (2001). También se encuentran varios trabajos de extranjeros tales como Sharp (1984), Lowy (1977), Guzmán (1985) y Hostnig *et al.* (1998).

En cuanto a estudios relacionados con la producción de inóculo y cultivo de hongos comestibles, La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) ha sido la pionera, por ejemplo: Godoy (1997), evaluó substratos de aserrín de caoba y cedro, fibra de coco y olote de maíz. Arriola (1996), efectuó una evaluación de bolsas de polietileno y celofán para el empaque de micelio secundario de *Pleurotus ostreatus*. En la Subárea de Ciencias Químicas de la Facultad de Agronomía (USAC), también se han evaluado diversos substratos para el cultivo de la cepa ECS-0112 de *Pleurotus ostreatus*, entre los que se pueden mencionar: Girón (2000), evaluó subproductos derivados de la agroindustria de palma africana (*Elaeis guineensis*); Tarot (2002), evaluó frutos de morro (*Crescentia alata*) y aserrín de pito (*Erythrina berteroana*); todas asesoradas por el Lic. Romeo Pérez.

Con relación a trabajos de tesis, también está el realizado por Sosa (2005), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala; el cual consistió en diseñar una planta productora de inóculo de hongos comestibles que permitiera a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC, cumplir con el compromiso de proveer dicho inóculo a las comunidades campesinas dedicadas al cultivo de hongos comestibles.

Con estos trabajos no sólo se ha contribuido al conocimiento de la diversidad de hongos comestibles en Guatemala, sino que además a la protección del germoplasma fúngico del país. Ante este marco referencial en materia de investigación local, es evidente que falta mucho por hacer, principalmente a lo que se refiere a la domesticación de especies silvestres y generación de tecnología propia para producción en condiciones artificiales de aquellas especies de hongos comestibles que crecen naturalmente en distintas regiones de Guatemala. A medida que se avance en el conocimiento de la diversidad, distribución y producción de hongos comestibles nativos del país, se estará coadyuvando al cumplimiento de los Acuerdos de Paz, dado que está enmarcado en aquellos sobre Identidad y Derechos de los Pueblos Indígenas, apartado III: Derechos Culturales, Sección F: Ciencia y Tecnología, el cual textualmente dice:

- a) Se reconoce la existencia y el valor de los conocimientos científicos y tecnológicos Mayas, así como también los conocimientos de los demás pueblos indígenas: este legado debe ser recuperado, desarrollado y divulgado.
- b) El gobierno se compromete a promover su estudio y difusión y a facilitar la puesta en práctica de estos conocimientos. También se insta a la universidades, centros académicos, medios de comunicación, organismos no gubernamentales y de la cooperación internacional a reconocer y divulgar los aportes científicos y técnicos de los pueblos indígenas.
- c) Por otra parte, el Gobierno posibilitará el acceso a los conocimientos contemporáneos a los pueblos indígenas e impulsará los intercambios científicos y técnicos.

2. Diversidad y distribución del recurso fúngico

Las condiciones climáticas particulares de Guatemala hacen de nuestro territorio un lugar ideal para el crecimiento de hongos comestibles que representa un legado para el presente y futuras generaciones. La Etnomicología en Guatemala se inicia con el estudio de los Mayas y se acerca hasta nuestro tiempo con el análisis científico del conocimiento que los grupos indígenas mayences heredaron de sus ilustres antepasados respecto a los hongos. Guatemala posee una micobiota interesante y rica en diversidad, desde microorganismos, hasta los saprófitos de zonas tropicales húmedas y basidiomicetes micorrícicos, asociados a árboles forestales como pinabete (*Abies guatemalensis*) y varias especies de pino y encino.

Durante la estación lluviosa y en regiones situadas desde los 1500 metros sobre el nivel del mar, las temperaturas bajan y la lluvia diaria favorece la aparición de setas, aproximadamente desde mediados de junio a finales de septiembre. Al visitar en días de mercado algunos municipios del interior del país, especialmente del altiplano; sorprende la abundancia de hongos silvestres que allí venden. La mayoría son recogidos por recolectores experimentados de la zona, a quienes las vendedoras del mercado compran, aunque en algunas ocasiones son las mismas mujeres quienes al salir al bosque en busca de leña, recolectan las setas que más tarde venderán. De un año a otro el volumen de hongos varía; algunas temporadas es abundante la recolección y otras escasa. Se observa que la cantidad de hongos que se producen en un área donde se cosechan hongos el año anterior, no es menor a otras zonas donde no se cosecha. En cambio sí se observa una disminución de la producción, en áreas afectadas por la extracción de suelo de monte y de árboles, la apertura de brechas o de terrenos agrícolas, el pisoteo excesivo de las áreas de colecta y cuando se presentan variaciones de temperatura y humedad.

Los hongos constituyen el segundo grupo de organismos más abundantes en la biosfera después de los Artrópodos. Se calcula una cantidad de 1,500,000 especies, pero solo el 5% ha sido descrito y clasificado. De las 70,000 especies descritas 10,000 corresponden a setas y sólo 2,000 especies de ellas son consideradas comestibles. En Guatemala, se han reportado de hasta enero del 2005 un total de 285 especies de macromicetos, entre ellas 113 especies son utilizadas como comestibles en diferentes regiones del país (anexo 3), las cuales se encuentran registradas en la Micoteca de Macromicetos de Guatemala (MMG) "Lic. Rubén Mayorga" del Departamento de Microbiología, de la Escuela de Química Biológica, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC (Bran *et al.*, 2002). Sin embargo dicha colección se consideran aún pequeña y no representativa, dado los diferentes ecosistemas del país y la riqueza del conocimiento etnomicológico nativo. Por ejemplo, hay especies con importancia comercial en el mercado internacional como *Tricholoma matsutake*, *Tricholoma magnivelare*, *Tuber melanosporum* (Trufa) y *Tuber magnatum* (Trufa blanca), aún no reportadas en Guatemala que pueden alcanzar precios hasta de US\$3,000.00 por kilogramo en el caso de *Tuber magnatum* y de hasta US\$500.00 por kilogramo en el caso de *Tricholoma matsutake*, en épocas del año de menor oferta. Esto puede deberse a que el género *Tricholoma* crece oculto entre la hojarasca del bosque y que las del género *Tuber* crecen bajo la superficie del suelo, cuya recolección requiere de perros truferos entrenados para ello, cotizados aproximadamente a US\$2,800.00. Estas particularidades sustentan la idea de continuar ampliando la información sobre el número de especies de hongo saprófitos y micorrícicos comestibles que crecen en Guatemala y su distribución.

De los 113 reportes aún queda por determinar el epíteto específico de varias especies que han sido registradas con el género al que pertenecen (*Boletus*, *Lentinus*, *Ramaria*, *Russula*, *Suillus*, *Trogia*, etc) y el número de referencia de la MMG, cuya determinación podría aumentar el conocimiento sobre la diversidad fúngica en nuestro territorio. Al respecto, en América el género *Russula* está siendo estudiado y se ha encontrado que existe diferenciación y separación entre especies que se consideraban las mismas en Europa (Miller, 2002). Este factor, unido a la evolución genética de las especies durante su dispersión, influye necesariamente en la especiación, por lo que no es de extrañar que en Guatemala se cuente con especies endémicas o variedades comestibles que aún son desconocidas. La determinación de estas especies no es tarea fácil ya que requiere no sólo estudios anatómicos de sus microestructuras sino también análisis moleculares.

Chimaltenango es el departamento con mayor diversidad, para el cual han sido reportadas como comestibles un total aproximado de 58 especies de hongos, distribuidas en municipios como Tecpán Guatemala, San Juan Comalapa, Patzún, San Martín Jilotepeque y la cabecera departamental. De este total, aproximadamente 40 especies han sido reportadas en Tecpán Guatemala, constituyéndose así en el municipio con mayor diversidad en Guatemala. Es importante hacer mención de que la comestibilidad de los hongos reportados hasta el momento, se ha establecido con base a dos criterios de inclusión: a) Que la especie sea utilizada como tal por las personas de las comunidades y/o b) Que ésta sea objeto de venta en los mercados locales.

Resulta de interés la diversidad de hongos comestibles que se desarrollan en el país, así como las variaciones entre las especies que se consumen en una comunidad con relación a otras. Existen especies que son utilizadas como alimento en algunos lugares, mientras que en otros son consideradas como no comestibles, tal es el caso de *Lactarius indigo*, una especie muy popular por su comestibilidad en el centro y norte del país, sin embargo en el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango, dicha especie es considerada como no comestible (Bran *et al.*, 2002). También en los municipios de Cajolá y San Miguel Sigüila, Quetzaltenango, existen en abundancia las especies *Cantharellus cibarius*, *Hydnum repandum*, *Laccaria amethystina*, *Boletus edulis* y *Boletus pinophilus*, entre otros y son considerados no comestibles.

Tal como se indica en el cuadro 21, del total de hongos reportados como comestibles, 6 especies son las que se encuentran ampliamente distribuidas en el país, entre ellas: *Amanita caesarea* (Hongo de San Juan) y *Cantharellus cibarius* (Anacate). Estas están distribuidas en el ámbito nacional abarcando un total de 36 municipios. De ellos, Guatemala, San Juan Sacatepéquez y Chimaltenango son los únicos municipios donde han sido reportadas las 6 especies. El nombre común asignado a las especies puede variar en función de la región, por ejemplo, *Amanita caesarea* es llamada comúnmente con el nombre de Hongo de San Juan en Chimaltenango, Santa Cruz del Quiché y Totonicapán, pero en San Juan Sacatepéquez recibe el nombre de Atzuy en Idioma Kaqchikel. *Cantharellus cibarius* conocida con el nombre de Anacate en Mixco y Antigua por ejemplo, también se le conoce con el nombre de Canturula en Chiquimula y Zacapa. El listado de los nombres comunes utilizados para las distintas especies puede consultarse en el anexo 3.

Cuadro 21. Especies de hongos comestibles con amplia distribución en el ámbito nacional

Especie	Nombre común	Lugar donde recibe dicho nombre	Reportado en
<i>Amanita caesarea</i>	Atzuy (kaqchikel)	San Juan Sac.	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,23,24,25,26,30,31
<i>Cantharellus cibarius</i>	Anacate	Mixco, Antigua	1,2,3,5,6,7,10,11,13,14,15,17,18,19,20,21,22,23,25,27
<i>Cantharellus odoratus</i>	Canturul	Chiquimula, Zacapa	2,3,5,6,11,13,14,19,20,21,22
<i>Lactarius deliciosus</i>	Xara	Chimaltenango	1,2,7,10,11,12,13,15,16,23,24,25,26,27,28,29,30,32,33,34
<i>Lactarius indigo</i>	Räx Okox (kaqchikel)	Tecpán Guatemala	1,2,10,11,12,13,15,17,23,24,25,26,27,28,29,30,35,36
<i>Hydnum repandum</i>	Aq' Waakxh (Mam)	Todos Santos Cuch.	1,2,10,11,13,15,18,23,25,26

Fuente: Bran *et al.* (2002, 2003, 2004).

Referencia: (1) Tecpán Guatemala, (2) San Juan Sacatepequez, (3) Cuilapa, (4) Quetzaltenango, (5) Antigua, (6) Jalapa, (7) San Mateo Ixtatán, (8) Cajolá, (9) Huitán, (10) Chipotón (Sumpango), (11) Guatemala, (12) San Juan Ostuncalco, (13) Chimaltenango, (14) Santa Cruz del Quiché, (15) Totonicapán, (16) Jacaltenango, (17) Mixco, (18) Todos Santos Cuchumatán, (19) Sololá, (20) Jutiapa, (21) Chiquimula, (22) Zacapa, (23) San Juan Comalapa, (24) Patzún, (25) Chichicastenango, (26) Uspantán, (27) San Martín Jilotepeque, (28) Salamá, (29) Cobán, (30) Tactic, (31) San Lucas Sacatepéquez, (32) San Rafael la Independencia, (33) Santa Lucía Utatlán, (34) San Andrés Semetabaj, (35) Purulha, (36) Cumén.

En contraste con la distribución registrada para el Anacate por ejemplo, hay especies de hongos comestibles que han sido reportadas en un solo municipio. Tal es el caso de *Volvariella bombycina* en el municipio de Mixco y *Favolus brasiliensis* en la cabecera departamental de Sololá (cuadro 22). Siendo así, dichas especies pueden considerarse como indicadoras de microclimas exclusivos y representativos de estos municipios. Sin embargo este punto todavía está sujeto a comprobación y confirmación por investigaciones futuras. Tal es el caso de *Armillariella polymyces*, la cual se creía exclusiva para Cobán, Alta Verapaz, pero estudios recientes han revelado que también crece y es utilizada como alimento en el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango.

Cuadro 22. Hongos comestibles que han sido reportadas en un solo municipio.

MUNICIPIO	ESPECIES
Tecpán Guatemala	<i>Cantharellus ignicolor</i> , <i>Chroogomphus jamaicensis</i> , <i>Chroogomphus vinicolor</i> , <i>Daldinia vernicosa</i> , <i>Grifola frondosa</i> , <i>Lyophyllum decastes</i> , <i>Peudohydnum gelatinosum</i> , <i>Polyporus umbellatus</i> ,
San Mateo Ixtatán	<i>Hygrophorus pudorinus</i> , <i>Lentinus lepideus</i> , <i>Neolentinus ponderosus</i> , <i>Tremella lutescens</i> , <i>Tremella mesenterica</i> ,
Jacaltenango	<i>Auricularia polytricha</i> , <i>Flammulina velutipes</i> , <i>Lactarius rimosellus</i> , <i>Macrolepiota procera</i> , <i>Pleurocybella prorrigens</i>
Chichicastenango	<i>Hydnum repandum</i> var. <i>album</i> , <i>Pleurotus smithii</i>
Totonicapán	<i>Collybia butyracea</i> , <i>Clavulina cinerea</i> , <i>Clitocybe clavipes</i> , <i>Gyromitra infula</i> , <i>Helvella macropus</i>
Sololá	<i>Favolus brasiliensis</i>
Mixco	<i>Volvariella bombycina</i>

Fuente: Bran *et al.* (2002, 2003 y 2004).

3. Caracterización de especies fúngicas nativas

Como se mencionó anteriormente, son 113 especies de hongos comestibles reportadas en Guatemala hasta enero de 2005. No obstante, en esta sección sólo se caracterizarán 20 de las especies más apreciadas en diferentes regiones del país. Cada una se ilustra,

describen las características morfológicas, se indica la forma de crecimiento, distribución y el hábitat; con el objetivo de ofrecer indicadores que faciliten el reconocimiento y determinación en el campo. Para ampliar la información al respecto, pueden consultarse: “Hongos Comestibles Silvestres de Guatemala” (Bran *et al.*, 2005) y “Hongos comestibles en los mercados de Guatemala” (Sommerkamp, 1990).

3.1 *Agaricus campestris* Fr.

Descripción: Pileo de 10 a 90 mm de diámetro, convexo a plano convexo, margen ondulado a recto y borde entero a desgarrado al abrirse, superficie húmeda, color blanco, con escamas de color claro, cutícula desprendible. Contexto de 6 mm de grosor, blanco, esponjoso. Sabor y olor afrutado. Himenio con láminas subadheridas a libres, anchas, muy juntas, color rosáceo en jóvenes y café en adultos, borde entero. Lamélulas truncadas. Velo parcial de color blanco que cubre las láminas en estadios juveniles. Estípite de 20 a 50 mm de longitud, 20 mm de diámetro de ápice y 18 mm de diámetro en la base, cilíndrico, superficie fibrilosa, color blanco satinado. Contexto lleno, color blanco, consistencia esponjosa y suave. Anillo adherido, algodonoso en el exterior, fibriloso en el interior, color blanquecino. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre grama, principalmente donde hay estiércol de ganado vacuno. Comentario: Utilizado en Tecpán Guatemala, Antigua, San Juan Ostuncalco, Palestina de los Altos, Quetzaltenango Todos Santos Cuchumatán, Cuilapa, Santa Rosa, Jalapa (Bran *et al.*, 2005).



Figura 83. *Agaricus bisporus* (Hongo blanco). Lazarillo (2006)

3.2 *Agrocybe aegerita* (Brig.) Singer

Descripción: Pileo de 40 a 250 mm de diámetro, convexo a plano convexo, margen recto, borde entero a apendiculado, superficie húmeda, color beige que se mancha de café, en algunos ejemplares adultos la superficie es rugosa a aerolada en seco y puede decolorarse hasta un amarillo naranja. Contexto de 10 a 20 mm de grosor, color blanco a beige, carnoso, esponjoso. Sabor afrutado y olor a hongo un poco fuerte. Himenio con láminas sinuadas a subadheridas, juntas, anchas, color café claro a café verdoso. Lamélulas subtruncadas a atenuadas. Velo parcial algodonoso, color blanco a beige, presente en ejemplares jóvenes. Estípite de 20 a 130 mm de longitud, 15 a 25 mm de diámetro en el ápice, 12 a 30 mm de diámetro en la base, cilíndrico, superficie fibrilosa a escamosa, escamas de color café sobre un fondo beige. Contexto fibroso, color blanco o beige con líneas higrófanos longitudinales. Anillo colgante, algodonoso por fuera y estriado por dentro, color blanquecino. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre troncos de árboles de sauco (*Sambucus mexicana* Presl.) y sauce (*Salís* sp). Comentario: Se utiliza en los municipios de Tecpán Guatemala, Chimaltenango; San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango y San Antonio Sacatepéquez, San Marcos (Bran *et al.*, 2005).



Figura 84. *Agrocybe aegerita* (Hongo del sauco). Laso (2007)

3.3 *Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers. ex Schwein-complex

Descripción: Pileo de 115 a 148 mm de diámetro, convexo en jóvenes, umbonado en adultos, margen fuertemente estriado a surcado, margen recto, borde entero; superficie glutinosa, lisa, color rojo naranja que se torna de color amarillo hacia el margen, el centro puede tomar un color café-naranja aunque en ejemplares jóvenes es de color rojo intenso. Cutícula desprendible, con contexto color amarillo bajo ella. Contexto de 12 mm de grosor, carnoso, color blanco que se tiñe de amarillo hacia la cutícula. Himenio con láminas subadheridas, muy juntas, anchas, color amarillo en el borde. Lamélulas truncadas con borde crenulado. Estípite de 188 mm de longitud, 22 mm de diámetro en el ápice y 21 mm de diámetro en la base, superficie escamosa que se acentúan hacia el ápice, escamas de color amarillo naranja sobre un fondo blanco. Contexto de 6 mm de grosor, color blanco, carnoso, hueco en el centro, contexto algodonoso de color blanco. Anillo colgante, membranoso, parte externa estriada, tomentosa, color amarillo; parte interna escamosa, algodonosa, lisa hacia el margen, color naranja. Volva sacciforme, membranosa, irregular en la parte externa y lisa en la parte interna, color blanco. Hábito: Solitario a gregario. Hábitat: Micorrícico, se le encuentra en bosques de *Abies guatemalensis* y *Pinus ayacahuite*. Otras especies de este complejo pueden desarrollarse también en bosques de *Pinus*, *Pinus-Quercus* y *Pinus-Quercus-Liquidambar*. Comentario: Se utiliza como comestible en Tactic (Alta Verapaz); Comalapa, Tecpán Guatemala, Patzún (Chimaltenango); Uspantán, Chichicastenango, Quiché; Mixco, San Juan Sacatepéquez, Guatemala; San Mateo Ixtatán, Huehuetenango; San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez; Tonicapán, Jalapa.



Figura 85. *Amanita caesarea* (Hongo de San Juan). Bran *et al.* (2005)

3.4 *Armillariella polymyces* (Pers. Ex Let.) Singer & Clemençon.

Pileo de 3-10 centímetros de diámetro, globoso-convexo y finalmente extendido, liso o ligeramente escamoso, café-rosa a café-amarillento. Láminas continuas al estípote, color rosa. Anillo membranoso, permanente, colgando del estípote, blanco. Estípote de 8-20 centímetros de largo, fibriloso, gris oscuro en la base. Contexto firme y blanco; olor agradable. Esporada blanca. Esporas de 5-7×4-5 μm ; elipsoides, lisas, hialinas. Observaciones: se puede apreciar su crecimiento en conjunto. Los campesinos los cortan al pie de árboles frutales, principalmente manzano y durazno. Se utiliza como hongo comestible en Cobán y Tactic en el mes de diciembre, Alta Verapaz; San Mateo Ixtatán, Huehuetenango (Sommerkamp, 1990 y Bran *et al.*, 2005).



Figura 86. *Armillariella polymyces* (Silip). Vaides (2006).

3.5 *Auricularia delicata* (Fr.) Hennings & Magnus

Descripción: Basidiocarpo de 35 a 130 mm de diámetro en su parte más ancha, gelatinoso, de color marrón, auriculiforme, sésil, margen a veces lobulado, borde a veces traslúcido, superficie no fértil velutinosa, rugulosa, húmeda . Contexto de 1 a 5 mm de grosor, gelatinoso, del mismo color que la superficie. Sabor agradable y olor a hongo. Himenio con retículos gruesos de color blanquecino. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre madera en descomposición de árboles caídos. Comentario: Especie que se vende en el Mercado de Patzún, Chimaltenango, además es consumida en Jacaltenango, Huehuetenango; solo o acompañado con huevo, pescado, carne o en la sopa.



Figura 87. *Auricularia delicata* (Oreja). Bran *et al.* (2005)

3.6 *Boletus edulis* Bull.: Fr.

Descripción: Pileo de 115 a 198 mm de diámetro, convexo a plano convexo, margen recto, borde apendiculado, superficie lisa, untuosa en húmedo, color beige a café marrón en el centro, cutícula desprendible. Contexto de 25 mm de grosor, consistencia carnosa, color blanco que se mancha de rosáceo. Sabor a hongo, olor a almendra. Himenio con tubos sinuados de 11 a 25 mm de longitud, desprendibles, 1-2 poros por mm, circulares a hexagonales, color verde-amarillo oliváceo, que se manchan de café rojizo. Estípite de 90 a 186 mm de longitud, 19 a 45 mm de diámetro en el ápice y 40 a 80 mm de diámetro en la base, cilíndrico, atenuado en el ápice, base subbulbosa, ápice con retículo de color blanco, fibriloso a ruguloso hacia la base, color beige. Contexto de consistencia carnosa fibrosa, color blanco. Hábito: Solitario. Hábitat: Micorrízico, asociado a bosques de *Pinus rudis*. Comentario: Comestible, utilizado en el municipio de San Mateo Ixtatán y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango.



Figura 88. *Boletus edulis* (Pancita). Bran *et al.* (2005)

3.7 *Cantharellus cibarius* Fr.

Descripción: Pileo de 42 a 100 mm de diámetro, plano convexo, centro deprimido, margen lobulado a ondulado, borde entero e incurvado a recto; superficie serosa, lisa a finamente fibrilosa, color amarillo. Contexto de 10 mm de grosor, color amarillo pálido, consistencia carnosa esponjosa. Sabor a hongo, olor afrutado un poco picante. Himenio con láminas decurrentes, anastomosadas, de hasta 5 mm de altura, superficie cerosa, color amarillo opaco. Estípite de 47 a 70 mm de longitud, cilíndrico, atenuado en la base, 12 a 18 mm de diámetro en el ápice y de 4 a 6 mm diámetro en la base, superficie fibrilosa longitudinalmente, cerosa, color amarillo. Contexto lleno, fibroso, color amarillo pálido, consistencia fibrosa. Hábito: Gregario. Hábitat: Bosques de Pinus y Pinus-Quercus, micorrícico. Comentario: Comestible, utilizado en San Juan Sacatepéquez, Comalapa, San Martín Jilotepeque, Tecpán Guatemala, Chichicastenango, San Mateo Ixtatán, Todos Santos Cuchumatán, Totonicapán, Sololá, Cuilapa, Jalapa, Jutiapa, Chiquimula, Zacapa.



Figura 89. *Cantharellus cibarius* (Anacate). Bran *et al.* (2005)

3.8 *Clitocybe clavipes* (Pers.: Fr.) P. Kumm.

Descripción: Pileo de 52 a 84 mm de diámetro, plano-convexo, centro deprimido, margen incurvado a recto, borde entero, cutícula desprendible con contexto blanco bajo ella, de 6 mm de grosor, lleno y carnoso. Superficie lisa, húmeda, margen finamente estriado, color beige cuando joven, que se torna café con centro más oscuro y entonces blanquecino en el margen. Himenio con láminas decurrentes, juntas, anchas, borde liso, a veces anastomosadas, de color blanco o amarillo pálido. Lamélulas subtruncadas. Estípite de 65 a 85 mm de longitud, superficie fibrilosa longitudinalmente, base bulbosa, frágil, color blanquecino o a concoloro con el pileo. Contexto lleno, carnoso, de color blanco, puede presentar una leve coloración amarilla. Hábito: Gregario. Hábitat: En bosques mixtos de *Pinus ayacahuite* y *Abies guatemalensis*. Comentario: Comestible, utilizado en aldeas de Totonicapán.



Figura 90. *Clitocybe clavipes* (Ti' To'n, en idioma K'iche'). Bran *et al.* (2005)

3.9 *Favolus brasiliensis* (Fr.) Fr.

Descripción: Pileo de 2-9 centímetros de diámetro, aplanado-convexo, en forma de abanico, liso, blanco-cremoso a amarillento claro, olor afrutado y ligeramente picante al gusto. Himenio formado por agujijones poligonales de un milímetro de diámetro, alargados longitudinalmente, ligeramente decurrentes, blanco-cremosos, que se desprenden con facilidad. Estípite de 1-5 centímetros de largo, lateral y cilíndrico. Contexto lleno de color blanco-cremoso de consistencia subcarnosa, un tanto elástico. Esporas blancas de 8-10×3-4 μm ; cilíndricas, lisas y hialinas. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre troncos de árboles caídos del género *Quercus*. Observaciones: Es una especie comestible característica de la cabecera departamental de Sololá que fructifica a partir del mes de agosto, cuando se ha acumulada suficiente humedad en el sustrato (Sommerkamp, 1990).



Figura 91. *Favolus brasiliensis* (Blanquito). Espinoza (2003)

3.10 *Hydnum repandum* Linn.: Fr.

Descripción: Píleo de 23 a 70 mm de diámetro, plano convexo a veces con el centro deprimido, margen recto a ondulado, borde entero, superficie lisa, color blanquecino a naranja pálido. Contexto de 4 mm de grosor, carnoso, fibriloso, color naranja pálido. Cutícula no desprendible. Sabor inapreciable, olor agradable. Himenio dentado, dientes subdecurrentes, 3-5 mm de longitud, fácilmente desprendibles, color blanquecino a naranja pálido. Estípite de 20-30 mm de longitud, 5-11 mm de diámetro en el ápice y 5-6 mm de diámetro en la base, cilíndrico, atenuado en la base, superficie lisa a aterciopelada, color naranja pálido. Contexto carnoso, color blanquecino. Hábito: Solitario a gregario. Hábitat: En bosques de Pinus y Quercus. Comentario: Es usado en los municipios de Tecpán Guatemala, Comalapa y Chimaltenango, Chimaltenango; Chichicastenango y Uspantán, Quiché y San Andrés Semetabaj, Sololá. (Bran *et al.*, 2005).



Figura 92. *Hydnum repandum* (Lengua de venado). Regin (2001)

3.11 *Laccaria laccata* (Scop.: Fr.) Berk. & Broome

Descripción: Pileo de 15 a 52 mm de diámetro, plano convexo, centro deprimido, margen incurvado, borde entero, superficie surcada, lisa, color café-naranja a beige. Contexto de 1 mm de grosor, blanco, carnoso, fibroso. Cutícula desprendible. Sabor y olor agradables. Himenio con láminas subdecurrentes a sinuadas, separadas, anchas, de color café-violetáceo. Lamélulas subtruncadas. Estípite de hasta 80 mm de longitud, 8 mm de diámetro en el ápice y 2 mm de diámetro en la base, cilíndrico, fibroso, delgado, de color café-naranja. Contexto lleno, carnoso, fibroso, de color blanco. Micelio basal de color blanco. Hábito: Solitario a gregario. Hábitat: En bosques de *Quercus* y *Pinus*. Comentario: Especie comestible muy apreciada en Tecpán Guatemala, Comalapa, Chimaltenango y Chichicastenango.



Figura 93. *Laccaria laccata* (Xcambray). Bran *et al.* (2005)

3.12 *Lactarius deliciosus* (L.: Fr.) Gray

Descripción: Pileo de 25 a 150 mm de diámetro, plano convexo con el centro deprimido a infundibuliforme, margen incurvado a decurvado a veces levantado, borde entero, superficie lisa a cerosa, zonada, color café-naranja que se tiñe de verde oscuro. Cutícula desprendible solo en el borde. Contexto de 5 a 9 mm de grosor, consistencia carnosa porosa, color naranja. Olor y Sabor afrutado. Látex color naranja. Himenio con láminas subdecurrentes, juntas, anchas, borde entero, a veces anastomosadas, color naranja que al maltrato se tiñe de verde oscuro. Lamélulas subdecurrentes. Estípite de 38 a 70 mm de longitud, 7 a 20 mm de diámetro en el ápice, 5 a 15 mm de diámetro en la base, cilíndrico, atenuado en la base, liso, tomentoso en el ápice, en ocasiones la base puede ser hirsuta de color blanquecino, puede presentar escrobículos hacia la base, color naranja que con el maltrato se tiñe de verde oscuro. Contexto lleno, carnoso, poroso. Hábito: Gregario. Hábitat: Bosque de Quercus y Pinus. Comentario: Especie apreciada en Tactic, Cobán, Salamá, Comalapa, Tecpán Guatemala, Patzún, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango; Uspantán, Chichicastenango, Santa Cruz del Quiché, San Juan Sacatepéquez, Guatemala, San Mateo Ixtatán y San Rafael La Independencia, Totonicapán, Totonicapán y San Juan Ostuncalco.



Figura 94. *Lactarius deliciosus* (Shara). Bran et al. (2005)

3.13 *Lactarius indigo* (Schwein.: Fr.) Fr.

Descripción: Pileo de 40 a 95 mm de diámetro, plano convexo a infundibuliforme, margen decurvado a levantado, borde desgarrado, superficie zonada, cerosa, húmeda, color azul verdoso. Látex color azul. Contexto de 7 a 9 mm de grosor, poroso, carnoso, color azul. Cutícula no desprendible. Sabor y olor a hongo. Himenio con láminas subdecurrentes, juntas, anchas, color azulado con algunas manchas verdosas. Lamélulas subtruncadas. Estípite de 20 a 90 mm de longitud, de 10 a 18 mm de diámetro en el ápice y de 9 a 12 mm de diámetro en la base, cilíndrico, superficie cerosa, fibrilosa, en el ápice presenta una zona tomentosa de color blanco, el resto es de color verdoso, con escrobículos. Contexto hueco. Hábito: Solitario a gregario. Hábitat: Bosques de Pinus y Quercus. Comentario: Especie apreciada en Tactic y Cobán, Alta Verapaz; Purulhá, Baja Verapaz; Comalapa, Tecpán Guatemala, Patzún y San Martín Jilotepeque, Chimaltenango; Uspantán y Chichicastenango, Quiché; Mixco y San Juan Sacatepéquez, Guatemala; Totonicapán y San Juan Ostuncalco. (Bran *et al.* 2005).



Figura 95. *Lactarius indigo* (Shara Azul). Klemens (2005)

3.14 *Neolentinus ponderosus* (Miller) Redhead & Ginns

Descripción: Pileo de 47 a 205 mm de diámetro, convexo a plano, margen incurvado a recto, borde entero, superficie seca, escamosa radialmente acentuándose hacia el borde, color beige a café naranja, escamas de color café oscuro a café claro. Cutícula desprendible. Contexto de hasta 31 mm de grosor, color blanco, consistencia carnosas esponjosa que se mancha de naranja pálido al corte. Sabor suave, olor a hongo. Himenio con láminas subdecurrentes, juntas, anchas, denticuladas, las láminas se continúan con una línea hacia el estípote, color blanco a amarillento a veces tiñéndose de café naranja. Lamélulas subtruncadas. Estípote de 60 mm de longitud, 15 a 40 mm de diámetro en el ápice y 12 a 30 mm de diámetro hacia la base, cilíndrico, superficie escamosa principalmente en la parte media, la base color blanco con escamas color café oscuro, se mancha de café naranja pálido. Hábito: Gregario. Hábitat: Crece sobre troncos en descomposición de especies del género *Pinus*. Comentario: Se conoce como comestible en San Mateo Ixtatán, Huehuetenango.



Figura 96. *Neolentinus ponderosus* (Hongo de Verano). Bran *et al.* (2005)

3.15 *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn var. *djamor*

Descripción: Pileo de 20 a 55 mm de diámetro, plano convexo, margen decurvado a lobulado, borde entero, superficie lisa, húmeda, color blanco a grisáceo. Contexto de 11 mm de grosor, lleno, carnosos-esponjoso, color blanco. Cutícula no desprendible. Sabor a hongo levemente afrutado, olor un poco dulce. Himenio con láminas, decurrentes, estrechas, borde liso, de color beige. Lamélulas subtruncadas. Estípite de 5 mm de longitud, excéntrico, superficie húmeda y lisa, color grisáceo. Contexto blanco, lleno, carnosos-correoso. Hábito: Cespitoso. Hábitat: Sobre troncos en descomposición. Comentario: Es una especie consumida en varias localidades del país, como en Mixco, Guatemala; Sansare, El Progreso y San Juan La Laguna, Sololá (Bran *et al.*, 2005).



Figura 97. *Pleurotus djamor* (Hongo Blanco). *The Hidden Forest* (2001)

3.16 *Pseudohydnum gelatinosum* (Fr.) P. Karst.

Descripción: Pileo de 42 a 56 mm de diámetro, plano convexo, margen lobulado, borde entero, superficie húmeda, gelatinosa, grumosa, color blanquecino amarillento a café, traslúcido hacia el margen. Contexto de 6 mm de grosor, gelatinoso, blanco a traslúcido. Olor afrutado, insaboro. Himenio dentado (aguijones), dientes de 2 mm de longitud, color blanco, no desprendibles, consistencia gelatinosa. Estípite de hasta 5 mm de longitud, lateral o muy corto, concoloro con el pileo. Contexto gelatinoso, traslúcido. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre troncos en descomposición del género *Pinus*. Comentario: Se trata de una especie utilizada como comestible en el municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango.



Figura 98. *Pseudohydnum gelatinosum* (Xikin Sotz' en Idioma Kaqchikel). Bran *et al.* (2005)

3.17 *Russula brevipes* Peck.

Descripción: Pileo de hasta 150 mm de diámetro, de plano a convexo con el centro deprimido a infundibuliforme, borde entero, margen recto a incurvado, superficie húmeda, lisa a levemente fibrilosa, color blanco a amarillento, con algunas zonas café claro distribuidas irregularmente, cutícula no desprendible. Contexto de hasta 8 mm de grosor, color blanco, consistencia carnosa. Sabor a hongo, un poco picante, olor a suelo. Himenio con láminas subdecurrentes, anchas, juntas, borde liso, color blanco marfil a amarillentas, lamélulas subtruncadas que en algunos casos se unen con las láminas. Estípite de 80 mm de longitud, 40 mm de diámetro en el ápice y 40 mm de diámetro en la base, cilíndrico, superficie fibrilosa con algunos escrobículos distribuidos irregularmente. Contexto lleno, carnoso, poroso, color blanco. Hábito: Solitario a gregario. Hábitat: Crece semienterrada en la hojarasca de los bosques de Pinus y Pinus- Quercus. Comentario: Esta especie es apreciada como comestible en los municipios de Tecpán Guatemala, y Comalapa, Chimaltenango, así como en el municipio de Totonicapán.



Figura 99. *Russula brevipes* (Hongo de Chivo). Bran *et al.* (2005)

3.18 *Schizophyllum commune* Fr.

Descripción: Pileo de 3 a 30 mm de diámetro, espátulado a semicircular, margen ondulado y lobulado, borde desgarrado, superficie cubierta por vellosa, color blanco a grisáceo. Contexto de 1 mm de grosor, lleno, color café, consistencia fibrosa. Sabor y olor inapreciables. Himenio con falsas láminas ubicadas radialmente, cubiertas por pelos finos, color blanco a grisáceo. Estípites ausente o muy corto, de 1 a 2 mm de longitud, con textura igual al del pileo. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre ramas podridas de arrayán (*Luna apiculata*) y cañas en descomposición. Comentario: Es una especie muy apreciada y vendida en grandes cantidades en Cobán, Alta Verapaz y Petén. Su comestibilidad también se ha comprobado en Tecpán Guatemala, Chimaltenango; Jacaltenango y San Mateo Ixtatán, Huehuetenango; Tactic y San Juan Chamelco, Alta Verapaz (Bran *et al.*, 2005).



Figura 100. *Schizophyllum commune* (Oreja de Palo). Moingeon (2006)

3.19 *Tremella lutescens* Fr.

Descripción: Basidiocarpo de 60 mm de ancho, gelatinoso, lobulado y ondulado, superficie viscosa y húmeda, color ámbar y traslúcido. Contexto gelatinoso, color ámbar. Es un basidiocarpo que se deshidrata y recupera su forma al volverse a hidratar. Hábito: Gregario. Hábitat: Sobre ramas podridas de arrayán. Comentario: se consume en San Mateo Ixtatán, Huehuetenango.



Figura 101. *Tremella lutescens* (Lolo' en Idioma Chuj). Bran *et al.* (2005)

3.20 *Volvariella bombycina* (Schaeff.: Fr.) Singer

Descripción: Pileo de 132 a 151 mm de diámetro, convexo a plano, centro embonado en adultos, margen incurvado a recto, borde hirsuto, superficie seca, hirsuta, en ejemplares adultos pueden estar ausentes en algunas regiones, de color amarillo pálido, blanquecina hacia el centro, en adultos puede tornarse de color café al igual que los pelos. Cutícula desprendible. Contexto de 12 mm de grosor, lleno, color blanco, consistencia carnosa, al corte libera un exudado incoloro a ligeramente amarillento. Sabor a hongo. Himenio con láminas libres, anchas, juntas a muy juntas, borde aserrado, color blanco cuando jóvenes a café rosáceo en adultos. Lamélulas truncadas de diversas longitudes. Estípite de 72 a 87 mm de longitud, 16-19 mm de diámetro en el ápice y 27-34 mm de diámetro en la base, cilíndrico, bulboso hacia la base, fibriloso, color blanco que se colorea de amarillo pálido en algunas regiones principalmente del medio hacia la base. Contexto lleno, carnoso, un poco fibroso, color blanco. Volva sacciforme, bilobulada, membranosa, superficie externa de color blanco a café pálido con escamas de color café, superficie interna lisa de color blanco. Hábito: Solitario a gregario. Hábitat: Troncos podridos. Comentario: Especie apreciada en el Departamento de Guatemala.



Figura 102. *Volvariella bombycina*. Bran et al. (2005)

Las 20 especies descritas representan una muestra de la biodiversidad fúngica de incalculable valor con la que se cuenta en Guatemala y que posee potencial para su explotación, dada su relación taxonómica con las de mayor importancia comercial, por su distribución en el ámbito nacional que las sitúa entre las más populares y conocidas por su comestibilidad, o porque se encuentran aparentemente delimitadas a una sola comunidad; pero sobre todo, porque se incluyen especies saprofitas y micorrícicas. Aunque hasta aquí no haya sido mencionada, *Pseudofistulina radicata* es una especie ampliamente

aceptada como comestible en varios lugares de Guatemala, tales como Amatitlán, Guatemala (Sommerkamp, 1990), Santiago Atitlán, Sololá y Jacaltenango, Huehuetenango (Bran *et al.*, 2004). También se conoce su comestibilidad en El Salvador y hasta hace pocos años se desconocía su uso como comestible en México (Guzmán 1987). En Jacaltenango se le conoce con el nombre de Azadón, el cual hace referencia al pie lateral de esta especie, que le confiere cierta similitud con el mencionado instrumento de labranza (Figura 103).



Figura 103. Carpóforos característicos de *Pseudofistulina radicata*

Al analizar el recurso fúngico disponible en Guatemala (anexo 3), es notable que se cuenta con especies nativas relacionadas al taxón de género a las de importancia comercial, entre ellas las que se indican en el cuadro 4.

Cuadro 23. Especies nativas de Guatemala relacionadas con las de mayor importancia comercial en el ámbito nacional e internacional

Comerciales	Especies relacionadas	Distribución
<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Agaricus campestris</i>	Tecpán Guatemala, San Juan Sacatepequez, Cuilapa, Quetzaltenango, Antigua Guatemala y Jalapa
<i>Lentinus edodes</i>	<i>Lentinus lepideus</i> y <i>Neolentinus ponderosus</i>	San Mateo Ixtatán
<i>Pleurotus spp</i>	<i>Pleurocybella porrigens</i> , <i>Pleurotus djamor</i> , <i>Pleurotus levis</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Pleurotus smithii</i>	Jacaltenango, Sansare, Guatemala, Cobán, San Juan La Laguna, Tecpán Guatemala, Tactic, Nentón, Mixco, Todos Santos Cuchumatán, Chichicastenango
<i>Auricularia spp</i>	<i>Auricularia auricola</i> , <i>Auricularia delicata</i> , <i>Auricularia fuscosuccinea</i> y <i>Auricularia polytricha</i>	Cobán, Jacaltenango, Patzún, San Juan Chamelco, San Pedro Carchá.
<i>Volvariella volvacea</i>	<i>Volvariella bombycina</i>	Nentón
<i>Flammulina velutipes</i>	<i>Fammulina velutipes</i>	Jacaltenango
<i>Tremella fuciformis</i>	<i>Tremella concrescens</i> , <i>Tremella lutescens</i> , <i>Tremella mesenterica</i> y <i>Tremella reticulata</i>	San Juan Comalapa, San Mateo Ixtatán, Tecpán Guatemala, Chichicastenango
<i>Hypsizygus marmoreus</i>	-----	-----
<i>Pholiota nameko</i>	-----	-----
<i>Grifola frondosa</i>	<i>Grifola frondosa</i>	Tecpán Guatemala

Fuente: Chang (1999) y Bran *et al.* (2005)

Con base a la información del cuadro anterior, hasta el momento no se ha reportado especies relacionadas con *Hypsizyugus marmoreus* ni *Pholiota nameko*. En contraste vemos en Guatemala se cuenta con al menos 4 especies del género *Pleurotus*, para las cuales habrá que desarrollar las técnicas específicas para obtención de inóculo, tecnología de producción de setas adaptadas a cada especie y sobre todo realizar estudios de mejoramiento genético para obtención de cepas con características morfológicas y de productividad aceptables.

En cuanto a la distribución y conocimiento de las especies silvestres de *Pleurotus*, quizá las especies más abundantes sean *P. djamor* y *P. levis*, las cuales son conocidas popularmente y son apreciadas por su sabor. *Pleurotus djamor* crece en altitudes que van desde los 150 msnm hasta aproximadamente los 1900 msnm, mientras que *Pleurotus levis* crece en altitudes que van de los 2000 msnm hasta los 3000 msnm y su conocimiento está limitado hasta este momento a las comunidades del altiplano del país.

Un aspecto importante es el primer reporte del género *Lentinus* en Guatemala. Es este caso la especie reportada es *Lentinus lepideus*, el cual es muy apreciado por su sabor en el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango. En Totonicapán se han encontrado otros especímenes del género *Lentinus*, y son también apreciados como comestibles. Cabe mencionar que *L. lepideus* es una especie muy cercana a *Lentinus edodes*, conocido como Shiitake en Japón, es una especie asiática de amplia distribución y es muy apreciada como comestible por sus propiedades medicinales (Mata *et al.*, 1990).

Así mismo, de las 20 especies descritas la mitad son saprófitas: *Agaricus campestris*, *Agrocybe aegerita*, *Auricularia delicata*, *Favolus brasiliensis*, *Neolentinus ponderosus*, *Pleurotus djamor*, *Pseudohydnum gelatinosum*, *Schizophyllum commune*, *Tremella lutescens* y *Volvariella bombycina*. La otra mitad corresponden a especies micorrícicas entre ellas: *Amanita caesarea*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius*, *Laccaria laccata*, *Lactarius deliciosus* y *Russula brevipes*.

Los hongos saprófitos utilizan la materia orgánica en descomposición, mientras que los micorrícicos viven en simbiosis mutualista con raíces de plantas, principalmente forestales. Ambos presentan características de cultivo sumamente diversas ya que las exigencias nutricionales y de temperatura son distintas. El valor comercial entre unos y otros también varía. Los saprófitos tienen un menor valor y sabor respecto a los micorrícicos, aunque hay quienes prefieren los primeros. Micorrícicos como *Cantharellus cibarius*, alcanza precios que varían entre 8 y 19 dólares el kilogramo, y *Tricholoma matsutake*, un hongo muy apreciado en Japón y Korea, próximo a nuestro *Tricholoma flavovirens*, cuyo precio oscila entre 40 y 500 dólares por kilogramo. Hongos saprófitos como *Agaricus bisporus* no superan los 5 dólares.

El cultivo de hongos saprófitos se está convirtiendo en una alternativa alimenticia y comercial para algunas comunidades del interior del país, como Ixchiguán, San José Ojetenam, Argueta y Tecpán, donde existe tradición en el consumo de hongos nativos. El cultivo de micorrícicos, sin embargo, permanece relegado a la acción de la naturaleza, ya que no se establecen plantaciones forestales con plantas micorrizadas con hongos específicos. El único caso de aprovechamiento y cultivo empírico es el que se realiza en Ixchiguán, San Marcos para la extracción y comercialización de *Boletus edulis*. Cabe

mencionar que el kilogramo de este hongo en Estados Unidos alcanza precios entre US\$13-198. En la Ciudad de Guatemala, se ha vendido a un precio de Q25.00 la onza de hongo seco (Bran *et al.*, 2005). En términos generales, para obtener un kilogramo de hongos deshidratados se requieren de 12 a 14 kilogramos de hongos frescos.

Debido a los beneficios que reportan las ectomicorrizas a las plantas, esta asociación desempeña un papel ecológico fundamental dentro de los ecosistemas forestales. La mayor absorción de agua y nutrientes proporcionada por el hongo, así como la producción de hormonas o la protección contra agentes patógenos de las raíces del árbol por un lado, o la producción de carpóforos de hongos comestibles de alto valor económico por otro, tienen enormes implicaciones prácticas. La producción de plantas de vivero para repoblación forestal convenientemente micorrizadas es una garantía de cara al establecimiento y crecimiento de las repoblaciones y, por otra parte, la infección de plantas con determinadas especies de hongos puede incrementar notablemente la producción de carpóforos con importancia económica.

En los últimos años en Guatemala se ha notado un aumento en los precios y una disminución en la cantidad de hongos que colectan en los bosques, esto se debe a que la deforestación y el avance de la frontera agrícola, están causando graves daños a la ecología y por ende, el hábitat natural de los hongos se está destruyendo aceleradamente. Con el fin de proteger la biodiversidad del país se deben tomar medidas que prevengan y controlen dichos problemas.

En ese sentido, la micorrización de plántulas para repoblación forestal y de árboles de plantaciones para la producción de carpóforos constituye una oportunidad para mitigar la problemática. En otros países especies como: *Boletus edulis*, *Laccaria laccata*, *Lactaria bicolor*, *Lactarius deliciosus*, *Suillus granulatus*, *Suillus luteus* y *Cantharellus cibarius*, ya han sido obtenidas a través de distintos sistemas de cultivo, mediante el establecimiento de plantaciones con plántulas micorrizadas o inoculación directa en el campo de bosques adultos de pino y pinabete.

Hoy día, las experiencias de cultivo con especies micorrícicas se realizan en forma indirecta a través de inoculación de plántulas en vivero. Sin embargo, el establecimiento de la simbiosis depende de una serie de factores que repercuten en que entre el año 6 y 8 pueda esperarse la fructificación del hongo. Una nueva técnica de micorrización, consiste en inocular a individuos adultos de bosques y plantaciones ya establecidas; lo cual significa un ahorro en tiempo y costos de producción. De esta manera es posible alcanzar producciones de hongos de alta rentabilidad entre el tercer y cuarto año. En esta línea en Chile por ejemplo, se han obtenido resultados positivos con *Lactarius deliciosus*, *Boletus edulis*, y *Tricholoma matsutake* (No reportado en Guatemala) que sólo fructifica en plantaciones de *Pinus densiflora* de más de 20 años con un 75 % de cobertura arbórea.

4. Producción de semilla

La semilla o inóculo de hongos saprófitos se produce en Guatemala. Se encuentra disponible en el Departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), donde se utilizan cepas de *Pleurotus levis* (Berk.) y M. A. Curtis) Singer. y *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn, aisladas a partir de cuerpos fructíferos que Bran *et al.*, (2002, 2003 y 2004) encontraron en

localidades de Guatemala durante los estudios sobre Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula.

Otra fuente de semilla en el país es la Planta Productora de Hongos Comestibles y Medicinales "Ocox", la cual cuenta con un laboratorio para la producción de inóculo fundado en 1986 (De León *et al.*, 1988). Utilizan una cepa comercial de *Pleurotus* sp, donada por el Prof. Dr. Joseph Poppe de la Facultad de Agronomía de Gent, Bélgica.

En el año 2005 se inició el ingreso a Guatemala de semilla de *Pleurotus* spp procedente de México, misma que es vendida en el occidente del país: Quetzaltenango, Huehuetenango, San Marcos, departamentos que colindan con la frontera México-Guatemala (Sánchez, *et al.*, 2007).

A pesar de que el cultivo de estos hongos saprófitos se está convirtiendo en una alternativa alimenticia y comercial para algunas comunidades del interior del país, el principal inconveniente para mantener una producción constante es la obtención de la semilla o inóculo; ya sea porque no hay disponibilidad oportuna o porque representa un rubro significativo dentro de los costos de producción. El precio de una libra de semilla para *Pleurotus* por ejemplo, oscila alrededor de Q23.00. Este escenario de disponibilidad del inóculo, por un lado, constituye uno de los principales inconvenientes para asegurar la producción y comercialización de hongos saprófitos; mientras que por el otro, un reto en el área de investigación y una oportunidad para emprender proyectos productivos con un futuro prometedor.

Para el caso de hongo micorrícicos, se tiene el referente de los resultados obtenidos por Bran *et al.*, (2005), en el aislamiento de cepas y producción de inóculo de *Suillus luteus* y *Laccaria bicolor*, utilizando como sustrato turba, vermiculita y caldo de Melin-Norkrans Modificado (MNM), en un período de 7 a 8 meses. *Laccaria bicolor* es un hongo cosmopolita, que forma ectomicorrizas con especies de las familias Fagaceae, Pinaceae y Eucalyptus y constituye un componente importante de la biota fúngica de bosque dominados por estos árboles. La diversidad y composición de especies de *Laccaria*, parece estar influenciada por la diversidad y disponibilidad de huéspedes ectomicorrícicos (Muller, 1996), por lo cual este es un hongo promisorio para fines de reforestación. Para éstas especies de hongos, será interesante explorar y desarrollar técnicas de micorrización dirigida directamente en árboles adultos. Si se toma en cuenta que el aprovechamiento sostenible de hongos silvestres requiere la conservación del bosque y contrarrestar la erosión genética de la microbiota debida a la alteración de hábitats naturales; es evidente que cualquier programa vinculado a recolección de hongos nativos debe incluir la producción de inóculo se especies micorrícicas adaptadas a nuestro medio.

5. Producción de carpóforos

El cultivo de hongos con fines comerciales ha sido poco explotado en Guatemala, hasta hoy 4 empresas se dedican al cultivo del champiñón, una al *Pleurotus* y otra al de Shiitake. Así, el cultivo de hongos inició hasta la década de los cincuenta con *Agaricus bisporus* sin embargo, es en la década de los setentas cuando esta actividad se estableció en escala comercial. El cultivo de *Lentinus edodes* inició en 1979 sobre troncos de *Quercus* y en 1991 otra compañía utilizó aserrín de roble como sustrato. Actualmente Guatemala produce 68,504 Kg de *Agaricus bisporus* y *Agaricus bitorquis*, 34,020 Kg de *Lentinus*

edodes y 29,580 Kg de *Pleurotus ostreatus* anualmente (De León, 2002 citada por Bran *et al.*, 2002).

El cultivo de *Pleurotus* spp con fines comerciales inició en la ciudad de Guatemala en 1986 (De León *et al.*, 1988). Cuatro años después empezó a difundirse dentro del país. Primero fue en Santa María de Jesús Sacatepéquez por medio de un proyecto financiado por *Christian Children Foundation* en 1990, posteriormente se capacitó en Totonicapán a un grupo de campesinos a través de un proyecto financiado por Helvetas en 1991.

En 1995 el padre César Mass enseñó a cultivar *Pleurotus* spp a un grupo de campesinos de San José Ojetenam, San Marcos. A partir de 2002, el cultivo se ha ido incrementando en todo el país; en ese año se fundaron pequeños proyectos en Huehuetenango (Coatán, San Rafael y la Cooperativa Joya Hermosa), y también el cultivo en San Marcos la Laguna, Sololá, con la cooperación de una integrante del Cuerpo de Paz, quien con la ayuda de la Planta Productora de Hongos Comestibles de Guatemala “Ocox” introdujo el cultivo de este hongo en dicha localidad.

En la fase IV de la investigación “Hongos comestibles de Guatemala: diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula”, Bran *et al.* (2004), realizaron transferencia de tecnología a través de la capacitación, entrenamiento y asesoría en el cultivo de especies de *Pleurotus* a 222 personas (72% mujeres) de algunas comunidades San Mateo Ixtatán y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango; Chichicastenango, Quiché; San Juan Chamelco, Senahú y Tukurú, Alta Verapaz; Fundación Solar, San Juan la Laguna, Sololá.

Como parte de este proceso, se implementó la producción de *Pleurotus levis* y *Pleurotus djamor*, ya que este cultivo es una alternativa nutricional, económica y ecológica, que permite aprovechar materiales lignocelulósicos como el rastrojo y olote de maíz, para proveer a estas comunidades de una alternativa alimenticia y económica. De estas especies la cepa 107.2001 de *Pleurotus levis* fue la que se trabajó en la mayoría de comunidades. Esto responde a que en estas localidades prevalece el clima frío, el cual favorece el crecimiento y producción de este hongo bajo esas condiciones. Las cepas 70.2003 y 144.2004 de *Pleurotus djamor* se utilizaron en climas cálidos y templados. En ambos casos los sustratos fueron preparados por inmersión en agua alcalina al 0.5%, que corresponde a la utilizada por pequeños productores en el Estado de Chiapas, México (Contreras *et al.*, 2004). Aunque en dicho estudio no se cita la eficiencia biológica alcanzada en el proceso de producción con los campesinos, reportan una eficiencia biológica de 89% para la cepa 70.2003 de *Pleurotus djamor*, y de 51% para la cepa 107.2001 de *Pleurotus levis* sobre pulpa de café en la primera oleada del cultivo.

Se calcula que existen alrededor de 300 familias o grupos de personas involucradas en este cultivo, quienes venden el producto de la cosecha en mercados de la localidad o entre sus vecinos. De la producción total de *Pleurotus* spp, alrededor del 85 al 90% se consume en el país y 10-15% se vende en mercados de El Salvador (Sánchez *et al.*, 2007). Los residuos agrícolas más utilizados como sustrato para el cultivo son: Paja de trigo, pasto jaraguá, pulpa de café y olote de maíz; ya sean por separado o mezclados. Es importante mencionar que las cepas cultivadas son en su mayoría de origen extranjero y no cepas guatemaltecas.

En la actualidad, con los tratados de libre comercio y la globalización (Plan Puebla-Panamá, DR-CAFTA, Guatemala-Taiwan, y Guatemala con los otros países de Centro América), el cultivo de hongos comestibles debe implementar diversas actividades enfocadas a la producción de cuerpos fructíferos inocuos. Esto podría realizarse a través de la implementación de sistemas de gestión como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) o Buenas Prácticas de Manejo durante el cultivo, cosecha, empaque, almacenamiento y distribución de hongos frescos (BPMj), etc. Guatemala es el país de Centro América en donde más hongos comestibles se consumen, alrededor de cuatro toneladas de champiñón, dos toneladas de *Pleurotus* y media tonelada de shiitake mensualmente (Sánchez *et al.*, 2007).

Las Buenas Prácticas de Manejo (BPMj) son principios introducidos por *The Department of Food Science, Penn State University* y *The American Mushroom Institut* (AMI) para referirse al sistema que conlleva a reducir el riesgo o bien a identificar un rango extenso de peligros o riesgos potenciales de contaminación microbiológica, química y física, que pueden ocurrir durante el cultivo, cosecha, empaque, almacenamiento y distribución de los cuerpos fructíferos frescos. Las BPMj son una fusión de lo que se conoce en el área de frutas y hortalizas como Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura o Fabricación (BPM o BPF), esto es porque en general las plantas productoras de cultivo de hongos comestibles tienen incorporadas esas actividades en un mismo recinto (Sánchez *et al.*, 2007).

Según el autor que proporcione la guía BPMj para la prevención, reducción o eliminación de riesgos de contaminación, las plantas de cultivo de hongos comestibles son divididas en diferentes módulos. El Departamento de Alimentos de la Universidad Estatal de Pennsylvania (DFS, por sus siglas en inglés) y *The American Mushroom Institut* (2002), proponen once áreas; mientras que LaBorde (2003) contempla catorce. En ambos casos los módulos están clasificados bajo diversas actividades enfocadas a la inocuidad de alimentos, áreas que son comunes a todos los segmentos de la industria de productos alimenticios frescos.

La Planta Productora de Hongos Comestibles “Ocox” en Guatemala ha empleado la guía de las propuestas de los autores mencionados con anterioridad, para el cuidado durante el cultivo de *Pleurotus*, así como para la conservación de la inocuidad de los cuerpos fructíferos, tomando en cuenta que investigadores del DFS y AMI han estado trabajando en el desarrollo sobre el cuidado en el cultivo de hongos y la producción de cuerpos fructíferos inocuos durante más de ocho años. La introducción de estos sistemas de gestión o certificaciones internacionales (BPA, BPM, EUREPGAP, etc.) en las plantas de cultivo de hongos comestibles y medicinales, no han sido de prioridad en países de Europa, Asia, América, Oceanía y Australia. Sin embargo, esto no significa que empresas formales localizadas en los países de esos continentes releguen los cuidados durante el cultivo de hongos comestibles y medicinales ni la inocuidad de los cuerpos fructíferos que producen (Sánchez, *et al.*, 2007).

Al hacer un análisis retrospectivo de lo expuesto en esta unidad, es evidente que existen oportunidades para el aprovechamiento del recurso fúngico, dada la diversidad, distribución y la costumbre del consumo de hongos silvestres en diferentes regiones del país, a raíz de las condiciones agroecológicas imperantes. Según la FAO (2004), los

factores clave en la recolección de los hongos silvestres son:

- a) Fuente de alto valor nutricional, asociado a beneficios de salud.
- b) Fuente importante de dinero para las economías de comunidades. De especial importancia para las comunidades rurales de países en desarrollo.
- c) Especies asociadas a árboles, favorecen su crecimiento y son clave en la salud de los bosques.
- d) Productos no maderables contribuyen más que la madera al bienestar de la gente que vive cerca de los bosques, especialmente en épocas de crisis.
- e) Su explotación causa menos daño que la explotación de la madera.
- f) Su recogida comercial tiene un valor añadido en los bosques, pues es un incentivo para conservarlos, antes que convertirlos en tierras de cultivo.

A la luz de estas premisas, la deforestación, el avance de la frontera agrícola y otros factores similares están contribuyendo al deterioro de los ecosistemas en que se desarrollan las diversas especies de hongos comestibles, muchas de ellas aún no descubiertas y que es necesario documentar y proteger para su utilización en beneficio del país. Aunado a ello, la pobreza y el aumento poblacional, hacen necesario crear alternativas que provean fuentes alimenticias y económicas que contribuyan al desarrollo de las comunidades campesinas y que además conlleven a la conservación de los ecosistemas donde crecen los hongos, buscando con ello, un adecuado manejo del recurso fúngico mediante la transferencia de la tecnología del cultivo de hongos comestibles sobre desechos agroindustriales y el uso de la diversidad fúngica silvestre para el manejo sostenible de bosques.

Queda mucho por hacer, principalmente en la domesticación y ulterior aprovechamiento de cepas nativas; así como en la producción de inóculo o semilla de calidad garantizada y de costo razonable, que permitan emprender sistemas de producción continua de setas para satisfacer la demanda local e internacional, al mismo tiempo que dicha actividad se convierta en una alternativa efectiva de desarrollo del área rural guatemalteca. Además es imprescindible:

- a) Determinar la composición proximal de cuerpos fructíferos. Así la población guatemalteca podría apreciar mejor los hongos, no solo por la costumbre del consumo y sabor sino también por contenido proteico.
- b) Transferencia de tecnología del cultivo de hongos comestibles, a través de la capacitación de comunidades campesinas sobre la producción artesanal de cuerpos fructíferos, como una fuente alternativa de alimento para autoconsumo.
- c) Estudiar el sistema de comercialización actual y potencial para los hongos silvestres y cultivados en el ámbito local, regional e internacional a fin de asegurar, sistematizar e institucionalizar canales de comercialización en fresco y deshidratados.
- d) Organizar ferias regionales de hongos silvestres para que la gente concurra a aprender a identificarlos y colectarlos

Al respecto, las instituciones del estado deben desempeñar un papel importante. Los planes de acción del Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (MAGA), la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) y la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA) deberán contemplar de manera integral acciones encaminadas a la

utilización del recurso fúngico. Así al MAGA le correspondería detectar productores potenciales en área rural, cuantificar el volumen de hongos comercializados en época de lluvia y hacer un reconocimiento de las principales áreas del país donde se recolectan hongos silvestres para su comercialización en los mercados municipales; a fin de facilitar créditos a los campesinos dispuestos emprender la producción de hongos comestibles.

Esta claro que la USAC ha sido la pionera en este campo de estudio, sin embargo, es necesario continuar con el trabajo iniciado. Para hacer uso de especies nativas es imprescindible realizar investigación y ejecutar programas de recolección, aislamiento y mejoramiento genético para obtener cepas con potencial productivo aceptable. En esta línea de trabajo es donde el ICTA también podría hacer su mejor contribución, particularmente, al incorporar a los programas de creación de tecnología agrícola, el potencial como biofertilizantes de última generación que tienen las micorrizas en general.

Para Guatemala es imperativo iniciar con líneas de investigación y de desarrollo innovativo que permitan conjugar aspectos como la recuperación de los suelos degradados y el mejoramiento de las condiciones de establecimiento y supervivencia de plantaciones; con la generación de productos intermedios de alto valor económico, ecológico y social para aprovechar las oportunidades que tienen los hongos micorrízicos comestibles.

En el caso de la producción forestal, el largo período de rotación puede desincentivar a los propietarios que deben esperar hasta el final de ésta para obtener los ingresos, sin que se produzca un flujo intermedio y constante de ingresos que hagan más atractiva la inversión forestal. Al respecto el INAB ha iniciado con la identificación de hongos ectomicorrízicos con potencial de inóculo para proyectos de reforestación en diferentes áreas del país (Flores, 2004). A raíz de dicho estudio, ahora se sabe que en el Occidente del país, Peten, Sacatepéquez y la Capital, existe disponibilidad natural de 11 hongos ectomicorrízicos: *Pisolithus tinctorius*, *Laccaria amethystina*, *Suillus granulatus*, *Scleroderma spp.*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius*, *Amanita rubescens*, *Amanita muscaria*, *Tylopilus spp.*, *Russula delica* y *Boletus aff. reticulatus*, los que se encuentran asociados a *Pinus sp.*, *Abies sp.* y *Quercus sp.*; que en el caso de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma spp* no se conocía su presencia en el país. Parece ser entonces que el mayor reto para el INAB es promover programas de acción tendientes a aprovechar el recurso natural como fuente de inóculo y contribuir con ello, al desarrollo forestal y conservación del recurso bosque en las áreas donde se encontraron presentes.

En tales condiciones la incorporación de hongos micorrízicos comestibles puede contribuir de forma significativa a mejorar el desarrollo de las plantas, disminuir los costos de replante y generar un flujo de ingresos en gran parte del período de la rotación haciendo más atractiva la inversión en reforestación, proyectos de producción maderera, leña, etc.

Por su parte la ENCA también ha realizado esfuerzos para contribuir a la capacitación y difusión de la utilización de los hongos comestibles. En dicha institución educativa, esta línea de producción de alimentos se originó a raíz de la ejecución de proyectos empresariales estudiantiles, con lo cual se ha logrado hasta ahora, proveer al estudiantado de un sistema de bioconversión ecológica que parte de la noción básica de utilización de los subproductos generados en la finca, hasta llegar a la transformación de la materia prima a través de procesos agroindustriales en el marco de la alianza estratégica USAC-ENCA y

puesta en marcha de la recién creada carrera de Ingeniería en Industrias Agropecuarias y Forestales. Así mismo con la implementación del laboratorio de producción de inóculo se persigue completar el ciclo de producción del hongo ostra e iniciar con el cultivo de shiitake, ofrecer semilla a costos razonables a productores de hongo ostra y ampliar los programas de capacitación a pequeños productores del área rural.

Desde luego, alcanzar metas significativas requiere tiempo, formación de recurso humano especializado y sobre todo recursos financieros, sin los cuales, cualquier esfuerzo por parte de las instituciones mencionadas en el área de su competencia y especialidad, no generará los resultados esperados.

CONCLUSIÓN

Los hongos son un grupo de organismos que tienen potencial para su aprovechamiento como recurso natural renovable, dadas las variadas formas de crecimiento, valor gastronómico, nutricional y medicinal. Dentro de estas posibilidades de aprovechamiento destaca la utilización de residuos agroforestales para la producción de hongos comestibles, mediante la aplicación de métodos biotecnológicos a escala artesanal o comercial, cuyo desarrollo en países como Guatemala constituye una opción para impulsar el emprendimiento y desarrollo de proyectos productivos en el área rural, dadas las condiciones agro-ecológicas, el consumo de hongos heredado por tradición y cantidad de subproductos derivados de la actividad productiva agrícola.

Cultivar hongos comestibles involucra por una lado, conocer las técnicas de multiplicación y conservación de cepas para obtener la fuente de inóculo, así como, pericia para el manejo eficaz del proceso de producción que involucra la preparación del sustrato, incubación e inducción a la fructificación. Sin embargo, puede optarse por realizar solamente la producción de setas propiamente dicha y adquirir el inóculo de proveedores especializados en la producción de semilla, aunque en este caso, dada la cantidad exigua de proveedores, existe dificultad en asegurar el suministro constante y oportuno de semilla con costo razonable, que consecuentemente tienden a elevar los costos de producción y a obstaculizar la comercialización del producto por la incapacidad de poder abastecer constantemente el mercado. Siendo uno u otra la modalidad de producción, otros aspectos importantes a considerar para el emprendimiento del proyecto son las estrictas medidas de higiene que deben implementarse para evitar al máximo la contaminación con microorganismos no deseados que afecten la producción, el acondicionamiento de instalaciones necesarias para un óptimo rendimiento, las estrategias de comercialización y sobre todo, la selección del sustrato; el cual debe caracterizarse por su disponibilidad en el ámbito regional y poseer reducido valor económico, pues lo que se busca con la producción de hongos comestibles, es el aprovechamiento y bioconversión de la energía contenida en la biomasa vegetal residual en un producto alimenticio. En fin, esta es una actividad intensiva que requiere dedicación por parte del productor y que si bien no significa una salida económica rápida, es una alternativa de producción que puede resultar rentable a mediano plazo. Es por eso que debe comenzarse con una pequeña superficie, aprender y conocer con el tiempo los secretos del cultivo, corrigiendo errores y aumentando paulatinamente la producción.

Entre los hongos más conocidos y cultivados comercialmente están el Champiñón (*Agaricus bisporus*), Shiitake (*Lentinus edodes*) y Hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). De ellos, *Pleurotus ostreatus* se presenta como el más versátil, habiendo una amplia gama de cepas comerciales que se adaptan a diferentes condiciones ambientales y con ciclos productivos relativamente cortos. Además de estas ventajas, especialmente sobre el champiñón y Shiitake, encontramos que las cepas de *Pleurotus ostreatus* por ser xilófagas tienen la capacidad de crecer sobre diversos sustratos, esto hace que tengan mayor posibilidad de adaptabilidad a la economía regional, dada la facilidad del proceso de preparación del sustrato y generación de condiciones ambientales para fructificación; que en el caso de Champiñón, resulta laborioso y oneroso. El hongo Shiitake también es xilófago, pero presenta ciertas restricciones en el sistema de producción artesanal en trozos como la disponibilidad de especies forestales apropiadas y el shock térmico al que deben someterse los trozos ya incubados para inducir la fructificación, lo que limita la

distribución del cultivo, sectorizándolo a ciertas regiones donde las características del clima permitan obtener del ambiente natural, las condiciones favorables para el crecimiento de micelio y producción de carpóforos. Como resultado de una serie de estudios realizados en Guatemala, sobre diversidad, distribución y taxonomía de hongos silvestres, se ha determinado que contamos con especies comestibles que son recolectadas para consumo y venta en mercados municipales, lo que redundará en la modificación temporal de hábitos alimenticios y generación de ingresos económicos. Dicha diversidad incluye especies saprófitas y micorrícicas con importancia comercial en el ámbito mundial como: *Pleurotus ostreatus*, *Auricularia auricula*, *Flammulina velutipes*, *Boletus edulis*, *Lactarius deliciosus*, *Cantharellus cibarius* y *Suillus luteus*.

El conocimiento generado en materia del recurso fúngico nativo en el país nos brinda la oportunidad de aprovecharlo técnica y racionalmente, generando tecnología adaptada a condiciones locales, en cuanto al aislamiento, obtención de cepas mejoradas, conservación, producción de inóculo y técnicas para el manejo del cultivo; con la finalidad de producir carpóforos, conservar el recurso bosque, o bien, para reforestar diversas áreas del país. Con relación a los hongos micorrícicos, la asociación árbol-hongo proporciona una ventaja para bosques y terrenos que actualmente no presentan mayor valor comercial al igual que para terrenos con plantaciones forestales de baja producción; significa disminuir fuertemente la presión sobre bosques naturales con prácticas de manejo poco adecuadas, ya que se puede combinar la silvicultura extensiva con la producción de hongos comestibles, mediante la inoculación de ejemplares adultos con especies de hongos micorrícicos comestibles de alto valor. Ante este escenario, es necesario continuar con la difusión del cultivo de hongos comestibles como una opción de inversión, activación productiva del área rural y alternativa alimenticia; y ofrecer el máximo apoyo posible a la promoción del consumo y conservación del recurso fúngico cultivable o silvestre por medio de los medios de comunicación masiva similar a la que se realiza en otras asociaciones como la ganadera, avícola y agrícola en diferentes países. Por parte del sector académico, es conveniente tomar en cuenta éste cultivo como una materia de estudio especializado con futuro prometedor ya que en el ámbito comercial-empresarial poco se ha incursionado, de tal manera que se le pueda proporcionar al estudiantado una oportunidad más para ejercer una profesión poco usual e interesante, tomando en cuenta que la demanda de hongos comestibles en el mercado nacional y mundial crece cada vez más.

Claro está que todo intento de aprovechar el potencial de bioconversión ecológica, conservación de recursos naturales, alimentario, medicinal, de desarrollo rural y mejoramiento de la tecnología aplicada los cultivos agrícolas que caracteriza a los hongos en general; requiere de la participación activa e integrada de instituciones como el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, la Universidad de San Carlos de Guatemala, el Instituto Nacional de Bosques, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola y la Escuela Nacional Central de Agricultura; cada cual aportando recursos humanos, financieros y sobre todo, conocimientos en el área de su competencia para alcanzar los resultados esperados. Finalmente, es oportuno hacer notar que el apareamiento de los hongos en época de lluvia es un indicador de la vida del bosque, por lo que la rápida depredación que está ocurriendo en el país traerá como consecuencia la destrucción de estos simpáticos y útiles habitantes del bosque. Es mi deseo por lo tanto, estimular a todos los guatemaltecos a conservar nuestros recursos naturales para dejar a las futuras generaciones un ambiente similar al que nos fue legado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acedo C. 2004. Micorrizas: Prácticas (en línea). Universidad de León, España. Consultado 22 de jul. 2007. disponible en: <http://www3.unileon.es/personal/wwdbvcac/Micorrizas.htm>
2. AGROBIT, 2005. Champiñones (*Agaricus bisporus*) (en línea). BIT Soluciones Informáticas, Córdoba, Argentina. 5p. Consultado 16 abr. 2007. Disponible en <http://www.agrobit.com/Microemprendimientos/cultivos/hongos/MI000002ho.htm>
3. Albertó, E. 2003. Cultivo de hongos comestibles: Requerimientos básicos para el cultivo del champiñón *Agaricus bisporus* (en línea). Laboratorio de micología y cultivo de hongos comestibles y medicinales, Instituto de Investigación Biotecnológica, Universidad Nacional General San Martín. Buenos Aires, Argentina. 8p. Consultado 17 de may. 2007. Disponible en <http://www.iib.unsam.edu.ar/IIB-INTECH/html/laboratorios/micologia/cham.html>
4. Albertó, E. 2003. Cultivo de hongos comestibles: Requerimientos básicos para el Cultivo del Hongo Comestible *Lentinula edodes* (shiitake) (en línea). 8p. Laboratorio de Micología y Cultivo de Hongos Comestibles y Medicinales, Instituto de Investigaciones biotecnológicas, Universidad Nacional general San Martín, San Martín de los Andes, Argentina. Consultado 23 jul. 2007. Disponible en <http://www.iib.unsam.edu.ar/IIB-INTECH/html/laboratorios/micologia/shiitake.html>
5. Anderson, S. Marcouiller, D. 2000. Growing Shiitake Mushrooms (en línea). 7p. Oklahoma Cooperative Extension Service, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University, USA. Consultado el 24 jul. De 2007. Disponible en: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1380/NREM-5029web.pdf>
6. Argueta Ventura, E. 2004. Avance de la generación de tecnología para el cultivo de champiñón (en línea). Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). Guatemala. 6p. Consultado 3 de abr. 2007. Disponible en [http://www.icta.gob.gt/fpdf/infop/hortalizas/\(Avances%20Proyecto%20Champi_361ones%202004\).pdf](http://www.icta.gob.gt/fpdf/infop/hortalizas/(Avances%20Proyecto%20Champi_361ones%202004).pdf)
7. Arzac, J. 2004. Enfermedades, competidores, indicadores, anormalidades y plagas en el cultivo de champiñón: Métodos de control y uso de pesticidas (en línea). 23p. Consultado 22 may. 2007. Disponible en <http://www.geocities.com/agrizak/EnferCont.pdf>
8. Asociación LIFE de productores de setas y trufas. 1999. Cultivo de hongos comestibles micorrícicos (en línea). Solsona, España. Consultado 24 de jul. 2007. Disponible en: <http://es.geocities.com/cultivosetasytrufas/#Cultivo>
9. Belobrajdic, L. 2007. Trabajo práctico 1: Metodología de trabajo en el laboratorio de Microbiología (en línea). Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 15p. Consultado 2 de may. 2007. Disponible en http://www.fing.edu.uy/iq/bio/Practico1_2006.pdf

10. Bonet, J. Oliach, D. y Colinas, C. 2004. Cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum*). 18p. Universitat de Lleida, España. Consultado el 23 de jun. 2007. Disponible en: <http://labpatfor.udl.es/docs/cultivotrufa.html>
11. Bran M, *et al.* 2002. Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula (Fase I). Cuadernos de Investigación, Dirección General de Investigación (DIGI), USAC. Guatemala. 88p.
12. Bran M, *et al.* 2002. Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula (Fase II). Cuadernos de Investigación, Dirección General de Investigación (DIGI), USAC. Guatemala. 51p.
13. Bran M, *et al.* 2003. Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula (Fase III). Cuadernos de Investigación, Dirección General de Investigación (DIGI), USAC. Guatemala. 49p.
14. Bran M, *et al.* 2004. Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula (Fase IV). Cuadernos de Investigación, Dirección General de Investigación (DIGI), USAC. Guatemala. 52p.
15. Bran M, *et al.* 2005. Hongos comestibles silvestres de Guatemala. Editorial Universitaria, USAC. Guatemala. 61p.
16. Bratkovich, S. 2001. Shiitake Mushroom Production: Obtaining Spawn, Obtaining and Preparing Logs, and Inoculation (en línea). 6p. Forestry Fact Sheet, Ohio State University, USA. Consultado 24 jul. 2007. Disponible en: <http://ohioline.osu.edu/forfact/0040.html>
17. Cardona Urrea, LF. 2001. Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (en línea). Crónica Forestal y del Medio Ambiente 16(6): 99-119. Universidad Nacional de Colombia. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, San Luis Potosí, México. Consultado 4 jul. 2007. Disponible en <http://sipicyt.ipicyt.edu.mx:7777/materialbiblioteca/BaenaGonzalezArmando3.pdf>
18. Cardona Urrea, LF. 2003. Hongos: Alimento y medicina (en línea). 35 p. Resumen de conferencia sobre hongos comestibles, Escuela de Biociencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Consultado 22 de jul. 2007. Disponible en: http://www.reuna.unalmed.edu.co/temporales/memorias/especies/Magistrales/38_CONFERENCIA%20hongos%20medicinales-%20UN.2003.htm
19. Carrillo, L. 2003. Microbiología agrícola: Hongos (en línea). Universidad Nacional de Salta (UNSa), Facultad de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina. 14 p. Consultado 28 de abr. 2007. Disponible en <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap7.pdf>

20. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTF). 1997. Introducción de hongos comestibles micorrícicos en repoblaciones forestales en el NE de España (en línea). Universitat de Lleida, España. Consultado 24 de jul. 2007. Disponible en: <http://labpatfor.udl.es/plantmicol/plantmicolcast.html>
21. Chang, S. T. 1999. World production of cultivated edible and medicinal mushrooms in 1997 with emphasis on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. in China. *International J. Med. Mush.* 1: 291-300.
22. Chung, P. *et al.* 2006. Incorporación de *Boletus edulis* y *Boletus pinicola* en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. 12p. International Union of Forest Research Organizations. Consultado el 23 de jun. 2007. Disponible en <http://www.iufro.org/uploads/media/t2-chung-et-al.doc>
23. Cisterna Lagos, C. 2002. Cultivo del Champiñón Ostra en Chile (en línea). 118 p. Mycotec, Ltda. Editores–Concepción, Chile. Consultado 4 jul. 2007. Disponible en <http://www.micotec.cl/Libro%20Cultivo%20Hongo%20Ostra%20en%20Chile.pdf>
24. Danelón, JL. 2001. Comprendiendo a los carbohidratos (en línea). Sección Bovinos de carne: Fisiología digestiva, manejo del alimento y carga (Artículo 56); Portal Argentino de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina,. Consultado 5 jul. 2007 Disponible en http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/56-omprendiendo_a_los_carbohidratos.htm
25. Davis, JM. 1995. Producing Shiitake Mushrooms: A guide for small-scale outdoor cultivation on logs (en línea). 10p. Rawlings Consulting Forestry. Woodland Owner Note, North Carolina Cooperative Extension Service, Wendell, NC, U.S. Consultado 23 jul. 2007. Disponible en <http://www.rawlingsforestry.com/publications/marketing/wo n20.pdf>
26. Deacon, J. 2005. The Microbial World: Basidiomycota: activities and lifestyle (en línea). Institute of Cell and Molecular Biology, The University of Edinburgh. Edinburgh, Texas, USA. 12 p. Consultado 16 abr. 2007. Disponible en <http://helios.bto.ed.ac.uk/bto/microbesbasidio.htm>
27. Duque, J. 1999. ¿Cómo se cultiva el champiñón ostra? (en línea). Chile. Consultado 13 abr. 2007. Disponible en <http://geocities.com/RainForest/Andes/1930/cultivo.html>
28. Eaton González, R.; Salmón Peralta, E. 2000. Hongos venenosos del estado de Baja California, del orden Agaricales (en línea). Universidad Autónoma de Baja California. Baja California, México. Consultado 20 abr. 2007. Disponible en <http://alpha.rec.uabc.mx/matdidac/micologa/hongostoxicos/hongotox.htm>
29. Fernández Michel, F. 2001. Manual práctico de producción comercial de champiñón (en línea). ZOE Tecno-Campo, Buenos Aires, Argentina. 39 p. Consultado 16 abr. 2007. Disponible en <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/champi/champi.htm>

30. Fernández Michel, F. 2004. Guía Práctica de Producción de Setas de *Pleurotus* (en línea). 54p. Fungitec Asesorías, Guadalajara, Jalisco. México. Consultado 3 jul. 2007. Disponible en <http://www.fungitec.com/guia/guiadesetasproduce.pdf>
31. Fernández Michel, F. 2005. Manual práctico de producción comercial de champiñón: Apuntes, recopilación de datos y experiencias adquiridas en el cultivo comercial de champiñones (en línea). Fungitec Asesorías, Guadalajara, Jalisco, México. 121 p. Consultado 18 may. 2007. Disponible en <http://fungitec.com/manualchamp2005.pdf>
32. Flores, R. 2004. Identificación de hongos ectomicorrícicos, con potencial de inóculo, para proyectos de reforestación con pino (*Pinus* sp) Y encino (*Quercus* sp), en diferentes áreas del país (en línea). Instituto Nacional de Bosques (INAB), Guatemala. Consultado 26 jul. 2007. Disponible en: <http://www.inab.gob.gt/espanol/inab/proyectos/investigacion/documentos/doc8.doc>
33. Fogel, R. 1997. Hechos increíbles de los hongos: Qué es un hongo (en línea). Trad. por Anthony Santana. Michigan, US. Consultado 24 abril. 2007. Disponible en <http://www.herbarium.usu.edu/fungi/FunFacts/Spanish/kingfactSP.htm>
34. France, A., Cortez A. 2001. El hongo shiitake (en línea). 5p. Revista Tattersall, edición 171. Santiago de Chile. Consultado en 26 jul. 2007. Disponible en: <http://www.tattersall.cl/revista/REV171/gerac.htm>
35. Gallego, E.; Sánchez J. 2000. Myco-ual (en línea). Universidad de Almería Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Almería, España. Consultado 20 abr. 2007. Disponible en <http://www.ual.es/GruposInv/myco-ual/index.htm>
36. Gutiérrez, A. 2006. Cultivo de Shiitake en Madera de Vid, Paja de Trigo y de Cebada (en línea). Tesis de maestría, Boletín CIAD, 15(2): 4-5. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo; Sonora, México. Consultado el 25 jul. 2007. Disponible en: <http://www.ciad.mx/boletin/Boletin%20MarAbr06.pdf>
37. Ipinza Carmona, R. 2006. Maderas y setas: El negocio es ganar el doble (en línea). Corporación Chilena de la Madera (CORMA), Santiago de Chile. Consultado el 25 de jul. 2007. Disponible en: http://www.corma.cl/portal/menu/publicaciones/temas_fondo/num_15/Maderas_y_setas
38. Jaramillo, C. 2004. Shiitake Mushroom Article: Cultivation of shiitake in coffee waste (En línea). 9p. Sustainable Communities, Zero Emissions Research & Initiatives (ZERI), Santa Fe, Nuevo Mexico, USA. Consultado 26 de jul. 2007. Disponible en: <http://www.scizerinm.org/mushrooms.html>
39. Kobold, M. 2000. Setas de prados y bosques: Como identificarlas, respetarlas, recogerlas y cocinarlas. Susaeta Ediciones, S.A. Madrid, España. 126 p.
40. Labarère, J. 1994. Métodos de la genética aplicados a la obtención y mejora de variedades comerciales de los hongos comestibles cultivados. Boletín de la Asociación española de cultivadores de Champiñón. 22:15-26 y 23:8-16

41. López R, A. 1995. Cultivo de setas: alternativa alimenticia de la economía familiar (en línea). Veracruz, México, Universidad Veracruzana, Centro de Genética Forestal. Consultado 4 jul. 2007. Disponible: <http://www.uv.mx/institutos/forest/hongos/setas.html>
42. Mendivil, J. 1996. Basidiomicetes: setas y hongos de Aragón (en línea). Aragón, España, Aragonesasi. Consultado 5 mayo 2007. Disponible en <http://www.naturaleza.dearagon.com/hongos/index.php>
43. Milla Santamaría, A. 2007. Introducción al cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* (en línea). 127p. Publicaciones INEA, Valladolid, España. Consultado 5 jul. 2007. Disponible en: <http://www.inea.uva.es/web/biblioteca/hongo.pdf>
44. Morcillo, M.; Sánchez, M. 2003. ¿Por qué es tan difícil cultivar hongos micorrícicos comestibles? (en línea). Micología Forestal & Aplicada, Barcelona, España. Consultado el 25 de jul. 2007. Disponible en: http://www.micofora.com/pubdocs/articulos_9.pdf
45. Morcillo, M. 2004. Experiencias en el cultivo e introducción en bosque de setas silvestres con valor comercial (en línea). Micología Forestal & Aplicada, Barcelona, España. Consultado el 25 de jul. 2007. Disponible en: http://www.micofora.com/pubdocs/articulos_15.pdf
46. Muñoz, R. 2006. Cultivo de Champiñones (en línea). Fundación para la innovación tecnológica Agropecuaria (FIAGRO), Santa Elena, El salvador. 19p. Consultado 16 abr. 2007. Disponible en <http://www.fiagro.org.sv/archivos/0/471.pdf>
47. Popoff, O. 2005. Hipertextos del área de la biología: hongos, generalidades (en línea). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, República Argentina. 9 p. Consultado 16 abr. 2007. Disponible en <http://fai.unne.edu.ar/biologia/fungi/fungi.htm#estructura>
48. Quimio, T. 2002. La Biología y el Cultivo de *Pleurotus* spp.: Preparación de la semilla. Sánchez, J. comp. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chiapas, México, D. F., MX, Editorial Limusa S.A. 125-137.
49. Regés, R. 2004. Curso básico sobre el cultivo del champiñón (en línea). Centro de Estudios Ecológico Argentino (C.D.E.E.A.), San Andrés, Buenos Aires, Argentina. 24 p. Consultado 16 may. 1997. Disponible: <http://www.cdeea.com/cursobasicochamp.htm>
50. Regés, R. 2005. Las Micorrizas. Centro de estudios ecológico argentino (CDEEA). Partes 1-9. San Andrés, Buenos Aires, Argentina. Consultado 28 jun. 2007. Disponible en: <http://www.cdeea.com/micorrizas.htm>

51. Rodríguez Fernández, A. 2007. Hongos ectomicorrícicos: Importancia ecológica y aplicaciones prácticas (en línea). Universidad de Santiago de Compostela, España. Consultado 26 de jul. 2007. Disponible en: http://www.xornal.usc.es/opinion_amp.asp?p=4258
52. Rodríguez Macías, R; *et al.* 2005. Perspectivas de producción de hongos comestibles (*Pleurotus* spp.) en la región nordeste del estado de Nuevo León (en línea). Revista SCIENTIA 8(2): 163-170. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (UCBA), Universidad de Guadalajara. Consultado 4 jul. 2007. Disponible en: http://www.cucba.udg.mx/new/publicaciones/page_scientia_cucba/Scientia_8_2.pdf
53. Romero Luengo, A. 1998. Generalidades: partes de una seta (en línea). Ciencias naturales, Micología, Toda cultura, Guadalajara, México. Consultado 19 abril. 2007. Disponible en <http://www.todacultura.com/micologia/setas.htm>
54. Royse, D.J. 1996. Specialty mushrooms (en línea). p. 464-475. In: J. Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA. Purdue University, IN, USA. Consultado 24 jul. 2007. Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-464.html>
55. Royse, DJ. 2001. Cultivation of Shiitake on Natural and Synthetic Logs (en línea). 10p.College of Agricultural Sciences Agricultural Research and Cooperative Extension. The Pennsylvania State University, USA. Consultado 23 jul. 2007. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdfs/ul203.pdf>
56. Salmones D; Gaytan, R; Pérez, R; Guzmán, G. 1997. Interacción entre crecimiento micelial y productividad (en línea). Bilbao, España. Revista Iberoamericana de Micología 14:173-176. Consultado 4 jul. 1999. Disponible en <http://www.reviberoammicol.com/1997-14/173176.pdf>
57. Sánchez Vásquez, JE. 1994. Producción de hongos comestibles. Centro de investigaciones ecológicas del Sur (CIES), San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 107 p.
58. Sánchez, J; Royse, D. 2002. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chiapas, México, D. F., MX, Editorial Limusa, S.A. 290 p.
59. Sánchez, J; *et al.* 2007. El cultivo de setas *Pleurotus* spp en México: Cultivo de *Pleurotus* spp y buenas prácticas de manejo para la producción de cuerpos fructíferos inocuos (en línea). Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chiapas, México, D. F. Consultado 26 junio. 2007. Disponible en <http://www.ecosur.mx/EICultivodelasSetas1.pdf>
60. Sánchez, M. Morcillo, M. 2006. Hongos silvestres en Guatemala (en línea). Micología Forestal & Aplicada, Barcelona, España. Consultado el 27 de jun. 2007. Disponible en: http://www.micofora.com/pubdocs/articulos_8.pdf

61. Schiess, M. 2006. Hongos comestibles (en línea). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. La Pintana, Santiago de Chile. Consultado 23 de abr. 2007. Disponible en <http://agronomia.uchile.cl/webcursos/cmd/12003/Macarena%20Schiess/DHCEExport/default.htm>
62. Setas de Cuivá. 2007. Productos frescos, valor nutricional: Composición del champiñón (en línea). Setas colombianas S.A. Medellín, Colombia. Consultado 19 de may. 2007. Disponible en: <http://www.setascolombianas.com/setas.asp>
63. Sommerkamp Y. 1990. Hongos Comestibles en los Mercados de Guatemala. Cuadernos de Investigación, Dirección General de Investigación (DIGI), USAC. Guatemala.
64. Soto Velazco, C. 2004. Artículos tips para productores de seta: Inóculo y suplementos (en línea). Setas cultivadas, México. 4 p. Consultado 24 abr. 2007. Disponible en <http://setascultivadas.com/2004articulooctubre.html>
65. Steinberg, LH. 2004. Shiitake (en línea). Consultado el 25 jul. 2007. Disponible en: <http://www.enplenitud.com/nota.asp?articuloID=1049>
66. Tormo Molina, R. 1996. Los hongos: generalidades (en línea). Lecciones hipertextuales de botánica, España. Consultado 14 abril. 2007. Disponible en <http://www.unex.es/polen/LHB/hongos/hongos0.htm>
67. Tormo Molina, R. 1996. Desarrollo del basidiocarpo en amanita (en línea). Universidad de Extremadura, Extremadura, España. Universidad de Hamburg, Alemania. Consultado 19 de abr. 2007. Disponible en <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online//ibc99/botanica/botánica/amanita.htm>
68. UM (Universidad de Matanzas). 1998. Transferencias de tecnologías: Producción de hongos del tipo *Pleurotus ostreatus* (en línea). Cuba. Centro de innovación para la sociedad de la información (CICEI), UNESCO, España. Consultado 04 jul. 2007. Disponible en <http://www.cicei.ulpgc.es/unesco/redisa/umcc/Relaciones%20Internacionales/laumTra.htm#Tra04>
69. Vedder, P. 1996. Cultivo moderno del champiñón. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 369 p.
70. Velasco Velasco, J.; Vargas Di Bella, E. 2004. Cultivo del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) (en línea). 24 p. Secretaría de la Reforma Agraria, México, DF. Consultado 4 jul. 2007. Disponible en http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_Hongo__Seta.pdf
71. Volk, T. 1998. Introduction to the kingdom fungi: classification of fungi. Tom Volk's fungi; University of Wisconsin-La Crosse (UW-L), Wisconsin, US, Consultado 5 jul. 2007. Disponible en <http://www.uwlax.edu/biology/volk/fungi3/sld003.htm>

72. Wilkinson, V.; Royse, D. 2002. Una revisión de técnicas de mantenimiento de cepas, con énfasis a las que se adaptan a *Pleurotus* spp. La Biología y el Cultivo de *Pleurotus* spp. Sánchez, J. comp. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chiapas, México, D. F., MX, Editorial Limusa S.A. 125-137
73. Wood, M; Stevens, F. 1996. Fungi of the San Francisco bay área: *Pleurotus ostreatus* (en línea). MykoWeb, San Francisco, California, US. Consultado 5 jul. 2007. Disponible en http://www.mykoweb.com/CAF/species/Pleurotus_ostreatus.html

GLOSARIO

1. **Acampanulado:** En forma de campana. También llamado campanulado o acampado.
2. **Acre:** De sabor fuerte, áspero pimentado y picante al gusto y al olfato.
3. **Actinomicetes:** Grupo de microorganismos del suelo que producen filamentos anastomosados, parecidos en algunos aspectos a los hongos, aunque por tamaño y comportamiento están más próximos a las bacterias. El cuerpo vegetativo está formado por una sola célula alargada en bastoncillo, ramificada como las hifas de un hongo, pero desprovistos de septos y de núcleo bien distinto. Viven como parásitos en animales y en simbiosis con plantas formando agallas. De algunas especies se obtienen antibióticos importantes, como la estreptomycin, la cloromicina y la aureomicina, recientemente aplicados al tratamiento de las infecciones bacterianas.
4. **Adnata:** Que nace y crece junto a otra cosa. Dícese de las laminillas que nacen y crecen junto al pie.
5. **Anastomosadas:** Láminas en las que se verifica la anastomosis o unión de laminillas o de éstas con otros órganos que se juntan dando lugar a uno solo.
6. **Apendiculado:** Referente al borde del sombrero, si tiene prolongaciones irregulares o franjas, flecos, que son comúnmente formados por residuos del velo.
7. **Auriculiforme:** En forma de oreja
8. **Botuliforme:** Parecido a un salchichón, es decir, que posee forma entre cilíndrica y arqueada.
9. **Cepa:** Variante genética específica de un organismo que constituye la unidad básica de almacenamiento, conservación y multiplicación del material genético.
10. **Cespitoso:** Referido a los cuerpos fructíferos que crecen juntos e incluso se tocan pero no salen de un tronco común. Ejemplo: *Armillariella mellea* (Vahl.:Fr.) P. Kumm. Cuerpos fructíferos que se desarrollan juntos pero no fusionados.
11. **Cistidio:** Células estériles pertenecientes a hifas que se localizan en el himenio, en el estípite, o bien en la cutícula del pileo, pudiendo presentar morfología variable, denominándose metuloides, crisocistidios, ampuliformes, pelos de ortiga, en brocha, etc. Contribuye a la dispersión de las esporas, separando las láminas y manteniendo una humedad favorable para la maduración de aquellas.
12. **Compost:** Abono parecido al humus hecho mediante la degradación controlada y acelerada de materia orgánica vegetal y animal. El proceso es desarrollado por bacterias del suelo que mezcladas con basura y desperdicios degradables convierten dicha mezcla en fertilizantes orgánicos. En el cultivo de champiñón, constituye el material orgánico que le sirve de sustrato.
13. **Concoloro:** Del mismo color, equivalente a unicolor.
14. **Contexto:** Tejido carnoso interno que forma parte del pileo o del cuerpo fructífero en general. Parte del basidioma pileico o estipitado adyacente a la capa de los túbulos. En la forma resupinada toma el nombre de subículo.
15. **Crenado:** En forma de ondas con curvatura en una sola dirección. También denominado festoneado.
16. **Crenulado:** Crenado o festoneado, pero con festones más pequeños.
17. **Cultivo axénico:** Un cultivo puro que contiene solo una clase de microorganismo de origen conocido.
18. **Decurrentes:** Referido al himenio cuando este se adhiere al pie en la porción superior, pudiendo a veces adherirse en toda la extensión. Dícese de las hifas de la trama o contexto que parten desde el centro hacia las aristas de las láminas. También llamada bilateral.

19. **Decurvado:** Referido al margen del pileo, cuando se observa encorvado o doblado hacia abajo.
20. **Dentado:** Provisto de pequeñas estructuras salientes a modo de dientes. Cuando estos dientes son muy pequeños se denomina denticulado y si los dientes son agudos y próximos, se dice generalmente aserrado o serrado.
21. **Ectomicorrízicos:** Asociación mutualista entre las raíces de plantas como coníferas, roble, abedul, sauce, cedro, nogal, castaño, eucalipto entre otros, y el micelio de algunos hongos del suelo. El hongo rodea las raíces secundarias de las plantas formando una red de hifas entrelazadas llamado manto; intercelularmente, el hongo rodea a las células corticales formándose la red de Hartig. En esta asociación se favorece la captación de agua, nutrimentos del suelo y le provee a la planta tolerancia a condiciones ambientales extremas.
22. **Embudado:** En forma de embudo o parecido a un embudo.
23. **Enteógeno:** Sustancia orgánica que cuando se ingiere, provoca un estado alterado de conciencia. Dicho estado se caracteriza por la modificación de la percepción sensible y en la interpretación de dichas percepciones, estados de ánimo cambiantes y fluctuaciones en el sentido de la propia identidad. A menudo dicha experiencia se interpreta como posesión por parte de un Dios o como el despertar de la conciencia divina que yace en el interior de los seres humanos.
24. **Escrobículos:** Ornamentaciones de manchas netamente hundidas en la superficie de la epidermis. Dícese del estípite y del pileo cuando presenta pequeñas depresiones planas y poco profundas.
25. **Especie:** Categoría taxonómica básica utilizada en la clasificación de los seres vivos. Se encuentra situada inmediatamente después del género y reúne individuos morfológicamente relacionados que presentan características similares.
26. **Etnomicología:** Es la ciencia que estudia las diversas relaciones entre las culturas humanas y los hongos a través del tiempo. Se trata de un estudio multidisciplinario donde convergen múltiples ciencias como la Micología, la Historia, Arqueología, Antropología, Química, Farmacología, etc.
27. **Festón:** Cualquier bordado, dibujo o recorte en forma de ondas o puntas que adorna la orilla o borde de una cosa: Por ejemplo: "Estas cortinas están decoradas con un festón".
28. **Festoneado:** Que tiene el borde en forma de festón: También denominado Crenado.
29. **Fibra Neutro detergente (FND):** Procedimiento relativo al análisis de la composición de alimentos que ofrece una estimación del total de fibra contenida en un alimento. La fibra neutro detergente incluye los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina), parte de la fracción mineral como el sílice y sustancias fenólicas como los taninos.
30. **Fusiforme:** Dícese del estípite cuando tiende a adelgazarse entre ambos extremos, siendo la parte central más gruesa o ventrada (en forma de huso). También llamado Fusoides. Relativo también al cistidio ensanchado en la zona media y deprimido en los polos, típico del género *Melanoleuca*.
31. **Gramíneas:** Dícese de las plantas que se parecen a la grama. Familia Poaceae de plantas angiospermas monocotiledóneas de tallo cilíndrico, nudoso y generalmente hueco, hojas sentadas, largas y estrechas e insertas al nivel de los nudos, flores dispuestas en espiguillas reunidas en espigas, racimos o panículas y semillas ricas en almidón: el trigo es una gramínea.
32. **Gregario:** Referido a los cuerpos fructíferos, cuando están próximos pero sin llegar a

- tocarse. Organismos que viven próximos entre sí y poco esparcidos en un área pequeña.
33. **Heterotálicos:** Término referido a un grupo taxonómico de hongos, cuyos individuos producen esporas de distinto grado genético (hasta 4 tipos) y que necesitan de dos talos para reproducirse. En ellos cada espora germinará por separado, produciendo micelio primario. Si un micelio primario se encuentra con otro de distinto grado genético (compatibles), se unirán y formarán un micelio secundario, capaz de producir carpóforos y de continuar el ciclo de vida del hongo, de lo contrario el micelio primario morirá.
 34. **Heterótrofo:** Dícese de los organismos que viven solamente de sustancias elaboradas por otros seres vivos, por ser incapaces de sintetizar hidratos de carbono a partir de elementos inorgánicos y la energía solar.
 35. **Hialino:** Delgado y transparente, traslúcido e incoloro. Se aplica a las esporas que por ser transparentes resultan invisibles al microscópio.
 36. **Hifa:** Célula a menudo muy alargada, normalmente de menos de 10 micras de espesor y que es el elemento constituyente del cuerpo vegetativo de los hongos. Las que aparecen generalmente con tabiques se les denomina hifas septadas. A las que carecen de tabiques se les denomina hifas aseptadas. También es aplicable a células que nacen del tallo de algunas algas marinas.
 37. **Higrófono:** Se aplica a la característica de algunos hongos que con la humedad se vuelven traslúcidos, tornándose opacos con la resequedad.
 38. **Higrófilo:** Dícese de las plantas u otros organismos que viven en ambientes muy húmedos.
 39. **Higroscópico:** Capacidad que tienen ciertos materiales de adsorber y conservar fácilmente el agua del ambiente.
 40. **Híbrido:** Individuo resultante del cruzamiento de dos progenitores de distinta especie y que presenta características de ambas. Habitualmente producido accidentalmente o artificialmente en cultivo, pero que en ocasiones se presenta naturalmente.
 41. **Hirsuto:** Cubierto de pelos dispersos, rígidos, ásperos, duros. Aplicable a toda superficie cubierta con esta clase de pelos, púas o espinas. También llamado Hirto.
 42. **Infundibuliforme:** En forma de embudo, generalmente referido al sombrero.
 43. **Lux:** El lux (lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de medidas de iluminancia o nivel de iluminación. Es igual a un lumen por m². Empíricamente se demuestra que a una radiación de 555 nm de 1 W de potencia emitida por un cuerpo le corresponden 683 lumen. Un tubo de gas neón de 40 watts en una habitación de 50 metros cuadrados, proporcionaría una iluminación de aproximadamente 546 lux.
 44. **Micorrizas:** Son raíces modificadas formadas por la asociación entre raíces finas nutritoras de plantas verdes y hongos altamente especializados que viven en esas raíces estableciendo un tipo de asociación de simbiosis. Esta asociación ha resultado ser de una gran importancia debido al papel que desempeñan tanto en ecosistemas naturales como en los sistemas biológicos creados por el hombre.
 45. **Micotoxinas:** Sustancias químicas producidas por hongos microscópicos cuando invaden productos agrícolas y alimentos procesados; ya sea en el campo, después de la cosecha, en el almacenamiento o durante el procesamiento. Dichas toxinas pueden ocasionar enfermedad y muerte en humanos y animales cuando se ingieren los alimentos que las contienen. Dentro de los productos agrícolas, los más susceptibles a la contaminación por hongos productores de micotoxinas son los cereales, (arroz, trigo, cebada, maíz). Algunas micotoxinas son hepatóxicas, otras afectan al riñón o al

- sistema nervioso y la piel. También, pueden producir anomalías en los embriones, abortos, inmunosupresión y lo que es peor, algunas son cancerígenas.
46. **Ocre:** Variedad de arcilla rica en hematitas, que le da ese color característico. Se utiliza para pintar. El color ocre es usualmente descrito como un amarillo dorado con cierta tonalidad cafés.
 47. **Organoléptico:** Se dice de las propiedades de los cuerpos que se pueden percibir por los sentidos. En hongos comestibles: Texturas, colores, aromas y sabores.
 48. **Productividad:** Medida del rendimiento que incluye eficiencia y eficacia. Es un indicativo del uso y aprovechamiento que se obtiene de cada factor de producción.
 49. **Pruina:** Fina capa de polvo depositado en la cobertura de la uva durante su maduración, en la que viven microorganismos causantes de la fermentación del mosto.
 50. **Rendimiento:** Relación entre la cantidad de un producto y la de los factores utilizados para su producción. Es un indicador de productividad.
 51. **Resupinado:** Sin sombrero, plano y aplicado o adherido al sustrato.
 52. **Sacciforme:** Se aplica a la forma de la volva que tienen algunas especies de *Amanita* o *Amanitopsis*; también se dice de los hongos que poseen hifas con terminales en forma de saco. Atenuado paulatinamente hacia su ápice; en forma de saco.
 53. **Simbiosis:** Es un tipo de nutrición en el que los hongos se asocian a otro ser vivo, de tal manera que se produce un intercambio de sustancias del que ambos componentes de la asociación salen beneficiados; por un lado la planta suministra al hongo, hidratos de carbono procedentes de la fotosíntesis y, por otro, el componente fúngico actúa como un órgano de absorción, acumulación y translocación de agua y nutrientes hacia la planta, realizando además otras funciones como la producción de enzimas, vitaminas, hormonas y otros compuestos que influyen en el desarrollo de la raíz y ejercen una acción protectora sobre la planta.
 54. **Sinuado:** Referido a las láminas, cuando estas presentan concavidades profundas.
 55. **Sinuoso:** Dícese del sombrero, cuando en el borde presenta lóbulos distintos en longitud y anchura, que le dan un aspecto irregular.
 56. **Talo:** Agrupación de células formando una estructura vegetativa, no diferenciada ni establecida como órgano especializado, propia de plantas no vasculares. Forma el cuerpo principal de los hongos, algas y líquenes
 57. **Tóxicas:** proteínas o lipopolisacáridos que causan daños concretos a un huésped.
 58. **Untuosa:** Dícese de la parte del carpóforo que, al tacto, da la sensación de estar ligeramente grasiento o grasoso.
 59. **Variedad:** Subdivisión de una especie con fines de clasificación taxonómica. Se usa para denotar a un grupo de individuos que es distinto genéticamente de otros grupos de individuos en la especie. Hongo que se diferencia de la especie típica constantemente, en algún carácter, pero que no llega a la categoría de especie.
 60. **Velutinosa:** Se aplica a la superficie piléica que presenta pelos cortos, compactos, finos y blandos. También denominado aterciopelado.
 61. **Xilófago:** Hongo que obtiene sus nutrientes de la degradación de la madera. Según la forma en la cual pudren la madera, pueden ser de pudrición blanca y de pudrición castaña. Los hongos de pudrición blanca pudren la madera completamente y los residuos no son componentes muy estables de los suelos forestales. En contraposición, los residuos de la pudrición castaña son estables y son importantes componentes orgánicos en los suelos forestales. Los hongos de pudrición castaña son relativamente pocas en comparación con los de pudrición blanca.

ANEXOS

Anexo 1. Equipo y materiales imprescindibles en un laboratorio de producción de inóculo



Referencia:

1. Refrigeradora
2. Mesa de acero inoxidable
3. Cabina para cultivo de tejido
4. Agitador magnético
5. Potenciómetro
6. Balanza semianalítica
7. Medio de cultivo PDA
8. Aceite mineral
9. Alcohol

10. Papel filtro
11. Tubos de ensayo
12. Cajas de Petri
13. Cámara de flujo laminar



Referencia:

- 14. Succionador para pipetas
- 15. Pipeta
- 16. Tijeras
- 17. Asas
- 18. Bisturí
- 19. Espátula
- 20. Aire acondicionado
- 21. Incubadora
- 22. Papel parafilm
- 23. Gradilla
- 24. Papel aluminio
- 25. Autoclave



Anexo 2. Costos y análisis económico de un laboratorio de producción de semilla

Costo o Ind.	Descripción	Monto	
		USD\$	Q
Capital de inversión (Ci)	Terreno y desarrollo del sitio	2,000.00	16,000.00
	Obra civil, área 186 m ²	13,000.00	104,000.00
	Equipo, maquinaria e instalaciones	10,000.00	80,000.00
	Equipo de oficina	250.00	2,000.00
	Gastos preoperativos	2,000.00	16,000.00
	Gastos de entrenamiento y consultoría	750.00	6,000.00
	Capital de trabajo (25%)	2,250.00	18,000.00
	Capital de inversión total	30,250.00	242,000.00
Costos variables	Materias primas: granos, botellas etc.	2,500.00	20,000.00
	Costos de energía	2,500.00	20,000.00
	Salarios y pago de técnicos	4,000.00	32,000.00
	Interés del capital de trabajo (12.5%)	281.25	2,250.00
	Total costos variables (Cv)	9,281.25	74,250.00
Costos fijos	Depreciación de edificio (5%)	650.00	5,200.00
	Depreciación de equipo (10%)	1,025.00	8,200.00
	Interés sobre el capital de inversión (15%)	4,540.00	36,320.00
	Total costos fijos (Cf)	6,215.00	49,720.00
Resultados	Costo total (Cv+Cf)	15,496.25	123,970.00
	Costo unitario	0.62	4.96
	Ingreso bruto (IB) (\$1.50/Kg de semilla)	37,500.00	300,000.00
	Recuperación sobre costos variables (IB-Cv)	28,218.75	225,750.00
	Ganancia neta (IB-Costo total)	22,003.75	176,030.00
Análisis económico	Costo variable total/kg de semilla	0.37	2.96
	Costo fijo/kg de semilla	0.25	2.00
	Costo total/kg de semilla (C)	0.62	4.96
	Ingreso bruto (D)	1.50	12.00
	Ingreso bruto-costos variables	1.13	9.04
	Beneficio neto (D-C)	0.88	7.04
Eficiencia económica	Relación ingresos-costos	2.42	Capital inicial: Q316,250.00
	Relación bruta (costos totales/ingreso bruto)	0.41	
	Coefficiente de rotación del capital (IB/Ci)	1.24	
	Relación de operación	0.24	
	Tasa de retorno sobre el capital (B.Netto/Ci)	0.73	

Fuente: Sánchez y Royse (2,002)

Capacidad instalada: 25,000 kg (35,000 lt) por año. Cada dólar invertido como costo total de la unidad producirá un ingreso bruto de 2.42 dólares y 0.41 se requerirán para ser invertidos para tener un beneficio bruto de 1.50 dólares por producción de semilla. De lo anterior, es evidente que la unidad de producción de semilla, si trabaja a plena capacidad, haría un beneficio neto de 0.88 dólares por cada kilogramo de semilla producida y 22,000 dólares al año.

Anexo 3. Nombre técnico y común de especies comestibles reportadas en Guatemala

No	ESPECIE	NOMBRES COMUNES	REPORTADO EN
1	<i>Agaricus campestris</i>	Hongo de mayo, hongo blanco, hongo de llano, Hongo de San Andrés, hongo de pastizal, Hongo del Espíritu Santo, Ruwataq'aj Ikox, Ruwataq'aj Okox (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, San Juan Sacatepéquez, Cuilapa, Quetzaltenango, Antigua, Jalapa,
2	<i>Agaricus sp</i>	Pyiiz (Mam)	Todos Santos Cuchumatán
3	<i>Agrocybe aegerita</i>	Hongo del sauco, Rukoxil Tunay Che' (Kaqchikel), Klux (Mam)	Tecpán Guatemala, San Juan Ostuncalco, Todos Santos Cuchumatán, San Antonio Sacatepéquez
4	<i>Amanita caesarea</i>	Hongo de San Juan, Hongo de San Pedro, Hongo hembra, Q'atzuh (K'iche'), Q'atzuy, Q'antzuy, Atzuy (Kaqchikel), Kantzu (Chuj), Q'antzu (Mam), Q'ansuh (Poqomchi'), Q'antzuh (Popti')	Mixco, Tecpán Guatemala, San Juan Sacatepéquez, San Mateo Ixtatán, Cajolá, Huitán, Chipotón (Sumpango), Guatemala, Antigua, Jalapa, Chimaltenango, Santa Cruz del Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango, San Juan Comalapa, Patzún, Chichicastenango, Tactic, San Miguel Uspantán, San Lucas Sacatepéquez, Jacaltenango
5	<i>Amanita calyptroides</i>	Hongo de San Juan, Q'atzuh (K'iche'), Q'antzu (Uspanteco), Q'atzuy (Kaqchikel), Q'ansuh (Poqomchi')	Mixco, San Juan Sacatepéquez, San Juan Comalapa, Patzún, Chichicastenango, Uspantán
6	<i>Amanita calyptroderma</i>	Hongo de San Juan, Q'atzuh (K'iche'), Q'antzu (Uspanteco), Q'atzuy (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, Chichicastenango, Uspantán
7	<i>Amanita fulva</i>	K'ik' K'antzu, Ch'im (Chuj)	San Mateo Ixtatán, Nentón
8	<i>Amanita garabitoana</i>	Hongo de macho, Kantzu (Chuj)	Nentón, Uspantán
9	<i>Amanita hemibapha</i>	Hongo de San Juan, Q'atzuh (K'iche'), Kaq Q'atzuy (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, San Juan Sacatepéquez, San Juan Comalapa, Chichicastenango
10	<i>Amanita rubescens</i>	B'aluk (K'iche')	Totonicapán
11	<i>Amanita vaginata</i>	Sak K'antzu (Chuj)	San Mateo Ixtatán
12	<i>Armillariella polymyces</i>	Silip (Q'eqchi'), B'alak' (Chuj)	Cobán, San Miguel Ixtatán, Tactic
13	<i>Auricularia auricola</i>	Oreja de perro, Oreja de viejo, Xik Tz'i' (Q'eqchi'), Q'oltxikin (Popti')	Cobán, Jacaltenango
14	<i>Auricularia delicata</i>	Oreja, Oreja de palo, Xkin (Kaqchikel), Yatut Us, Liq'litx (Popti')	Patzún, Jacaltenango, San Juan Chamelco
15	<i>Auricularia fuscosuccinea</i>	Oreja de perro, Oreja de palo, Xik Tz'i' (Q'eqchi'), Q'oltxikin (Popti')	San Pedro Carchá, Jacaltenango, Cobán
16	<i>Auricularia polytricha</i>	Oreja de palo, Q'oltxikin (Popti')	Jacaltenango
17	<i>Auricularia sp</i>	K'oloch (Chuj)	San Mateo Ixtatán
18	<i>Boletus edulis</i>	Pancita, Panb'uk (Chuj), Paankuk (Mam), Rusemit Kuk (Kaqchikel)	Todos Santos Cuchumatán, San Mateo Ixtatán, Chipotón (Sumpango), Guatemala, Chimaltenango, San Miguel Siguillá, Totonicapán, Ixchiguán
19	<i>Boletus luteoloincrustatus</i>	Lich patun, Patun (Kaqchikel)	San Juan Sacatepéquez
20	<i>Boletus sp MMG 122.2001</i>	Hongo de pino, Pancita, Panbuk (Mam), Pan (Kaqchikel), Bu'uk (Chuj)	San Andrés Semetabaj, San Juan Sacatepéquez, San Martín Jilotepeque, Nentón, Todos Santos Cuchumatán

No	ESPECIE	NOMBRES COMUNES	REPORTADO EN
21	<i>Cantharellus cibarius</i>	Anacate, Canturula, Q'axuul (K'iche'), Q'axul, Q'anxul (Kaqchikel), Kaxul, K'anxul (Chuj), Xuul (Mam)	Mixco, San Mateo Ixtatán, Chipotón (Sumpango), Tecpán Guatemala, Todos Santos Cuchumatán, Guatemala, Antigua, Chimaltenango, Santa Cruz del Quiché, Sololá, Cuilapa, Jalapa, Jutiapa, Chiquimula, Zacapa, San Juan Sacatepéquez, San Juan Comalapa, San Martín Jilotepeque, Chichicastenango, Tonicapán
22	<i>Cantharellus ignicolor</i>	Q'axul (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
23	<i>Cantharellus odoratus</i>	Anacate, Canturul, Q'axul (Kaqchikel)	Guatemala, Antigua, Chimaltenango, Santa Cruz del Quiché, Sololá, Cuilapa, Jalapa, Jutiapa, Zacapa, Chiquimula, San Juan Sacatepéquez
24	<i>Catathelasma ventricosa</i>	Yoktil (Chuj)	San Mateo Ixtatán, Chiquimula, Zacapa
25	<i>Chalciphorus trinitensis</i>	Uk'aa' Eek' (K'iche'), Punpun Kyej (Kaqchikel)	Comalapa, Chichicastenango
26	<i>Chroogomphus jamaicensis</i>	-----	Tecpán Guatemala
27	<i>Chroogomphus sp MMG 157.2003</i>	Uti' te'k (Kaqchikel)	San Andrés Semetabaj
28	<i>Chroogomphus vinicolor</i>	Jolon Koj (kaqchikel)	Tecpán Guatemala
29	<i>Clavaria argillacea</i>	Señoritas, Uñas de ratón, Xtan (Kaqchikel)	San Juan Comalapa, San Juan Ostuncalco
30	<i>Clavulina cinerea</i>	Cachos de venado, Tziikeej (K'iche')	Tonicapán
31	<i>Clavulina cristata</i>	Ruq'a masat (Uspanteco)	Uspantán
32	<i>Clitocybe clavipes</i>	Ti' To'n, Q'eqatub'iin (K'iche')	Tonicapán
33	<i>Clitocybe sp</i>	Saqtub' (Kaqchikel), Xew (Mam)	Tecpán Guatemala, Todos Santos Cuchumatán
34	<i>Collybia butyracea</i>	Raq'an Tzikin (K'iche')	Tonicapán
35	<i>Collybia dryophila</i>	Saqichaaaj, Saqtub'iin (K'iche')	Tecpán Guatemala, Tonicapán
36	<i>Collybia polyphylla</i>	Raqan Qejoj (Kaqchikel)	Comalapa
37	<i>Collybia sp</i>	Saqtub' (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
38	<i>Cortinarius sp MMG 127.2001</i>	Hongo de coyote, Hokox (Chuj), Ruwi' Utiw, Jolon Utiw (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, San Mateo Ixtatán, Comalapa, San Martín Jilotepeque
39	<i>Daldinia vernicosa</i>	-----	Tecpán Guatemala
40	<i>Favolus brasiliensis</i>	Blanquito	Sololá
41	<i>Flammulina velutipes</i>	Oytol (Popti')	Jacaltenango
42	<i>Grifola frondosa</i>	Lengua de gato, Raq' Mes (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
43	<i>Gyromitra infula</i>	Oreja de conejo, Xikin Umuul (K'iche')	Tonicapán
44	<i>Helvella crispa</i>	Oreja de ratón, Montero blanco, Montero, Montero, Runuumq'eq (K'iche'), Mo's, Numq'eq, Xikin Bur (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, Chipotón (Sumpango), Chimaltenango, Guatemala, San Juan Comalapa, Chichicastenango, San Miguel Sigüilá
45	<i>Helvella elastica</i>	-----	Chipotón (Sumpango),
46	<i>Helvella lacunosa</i>	Oreja de ratón, Montero negro, Montero, Montero, Runuumq'eq, Q'eq Uleew (K'iche'), Numq'eq (Kaqchikel), Pa' (Mam)	Guatemala, Tecpán Guatemala, San Juan Comalapa, Tonicapán, Ixchiguan
47	<i>Helvella macropus</i>	Runuumq'eq (K'iche')	Tonicapán
48	<i>Higrocybe sp MMG 40.2003</i>	Muk'aj (Popti')	Cobán, Jacaltenango
49	<i>Hohenbuehelia sp MMG 45.2003</i>	Sajchivo (Popti')	Jacaltenango
50	<i>Hydnopolyporus fimbriatus</i>	Hongo de gravilea, Cresta de gallo, Txamchiyo (Popti')	Jacaltenango, San Lucas Tolimán, San Juan la Laguna

No	ESPECIE	NOMBRES COMUNES	REPORTADO EN
51	<i>Hydnum repandum</i>	Lengua de venado, lengua de vaca, Raaq' Masaat, Raq' Sya (K'iche'), Raq' Masat, Raq' Wakax (Kaqchikel), Aq' Waakxh (Mam), Raq' masat (Uspanteco)	Tecpán Guatemala, Todos Santos Cuchumatán, Chipotón (Sumpango), Chimaltenango, Guatemala, San Juan Comalapa, Chichicastenango, Tonicapán, San Miguel Uspantán, San Juan Sacatepéquez
52	<i>Hydnum repandum var. album</i>	Raq' Sya (K'iche')	Chichicastenango, Tonicapán, San Juan Comalapa, Uspantán
53	<i>Hydnum umbilicatum</i>	Lengua de venado, Raq' Masat (Kaqchikel)	San Juan Comalapa, Todos Santos Cuchumatán
54	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>	Anacate, Q'axul (Kaqchikel), Tuktuk (K'iche'), Q'anxul (Uspanteco)	Guatemala, Chimaltenango, Tecpán Guatemala, San Miguel Uspantán, Tonicapán
55	<i>Hygrophorus pudorinus</i>	Kaxul (Chuj)	San Mateo Ixtatán
56	<i>Hygrophorus russula</i>	Saqpor, Jolon Tuktuk (Kaqchikel), Xumpil (Chuj)	San Juan Comalapa, San Mateo Ixtatán, Tecpán Guatemala
57	<i>Hygrophorus sp. MMG 101.2003</i>	Saqpor (Kaqchikel)	San Juan Comalapa
58	<i>Hypomyces lactifluorum</i>	Trompa de coche, Uk'aa' Ama' (K'iche'), Kaqaxten, Kaqaxtan, Uparatza'n (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, Chipotón (Sumpango), Santa Cruz del Quiché, Quetzaltenango, San Juan Comalapa, Chichicastenango,
59	<i>Laccaria amethystina</i>	Sombbrero, Monja, Raqan Xaar (K'iche'), Raqan Chiip (Uspanteco), Xcampraña, Jolon Xar, Pawi' Xar (Kaqchikel), Xew (Mam)	Tecpán Guatemala, Todos Santos Cuchumatán, San Juan Comalapa, Patzún, Chichicastenango, Uspantán, Tonicapán
60	<i>Laccaria laccata</i>	Raqan Xaar (K'iche'), Raqan Chiip (Uspanteco), Xcampraña, Jolon Xar, Pawi' Xar (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, San Juan Comalapa, Chichicastenango, Uspantán, Tonicapán
61	<i>Laccaria major</i>	Ragan Xaar (K'iche')	San Miguel Uspantán
62	<i>Laccaria ohiensis</i>	Ragan Xaar (K'iche')	Tecpán Guatemala, Tonicapán
63	<i>Lactarius deliciosus</i>	Shara, Cabeza de shara, Anacaria, shara amarilla, Q'o'tz, Kaqix (K'iche'), Q'an Xar, Tolor, Kaqix (Kaqchikel), Mancel, Kanxul (Chuj), Q'anleetz (Poqomchi'), Kajxul (Akateko), Kyeqix (Uspanteco), Kajxul (Popti'), Kaqix (Kaqchikel), Liklich (Mam)	Chipotón (Sumpango), Tecpán Guatemala, San Mateo Ixtatán, Guatemala, Salamá, Cobán, Tonicapán, Chimaltenango, San Juan Sacatepéquez, San Juan Comalapa, Patzún, Tactic, San Martín Jilotepeque, Chichicastenango, San Miguel Uspantán, San Rafael La Independencia, Jacaltenango, Santa Lucía Utatlán, San Andrés Semetabaj, San Juan Ostuncalco
64	<i>Lactarius indigo</i>	Shara, Cabeza de shara, shara azul, Rax Kaqix, Jolom xaar (K'iche'), Sekek (Uspanteco), Xar, Ruwi' Xar, Rax Kaqix, Rax Okox, Razwach Kaqix, Upawi' Xar (Kaqchikel), Naah Sekek (Poqomchi'), Naah Sekek (Poqomchi'), Xew (Mam)	Mixco, Tecpán Guatemala, Chipotón (Sumpango), Guatemala, Chimaltenango, Salamá, Cobán, Tonicapán, San Juan Sacatepéquez, San Juan Comalapa, Patzún, San Martín Jilotepeque, Chichicastenango, Uspantán, Tactic, Purulha, Cumén, San Juan Ostuncalco
65	<i>Lactarius rimosellus</i>	Oytol (Popti')	Jacaltenango
66	<i>Lactarius salmonicolor</i>	Keqix (K'iche'), Chukchuk (Mam)	Todos Santos Cochumatán, Tonicapán
67	<i>Lactarius sp MMG 157.2001</i>	Kaqix, Utu' Q'opoj (K'iche')	Chichicastenango
68	<i>Lentinus lepideus</i>	Hongo de verano, Kulich (Chuj)	San Mateo Ixtatán
69	<i>Lentinus sp MMG.90.2002</i>	Hongo de pino, Xikin Chaj (K'iche')	Tonicapán

No	ESPECIE	NOMBRES COMUNES	REPORTADO EN
70	<i>Lepiota sp MMG 90.2002</i>	Pierna de Chompipe, Me'x (K'iche'), Sb'ultunuk (Popti')	Jacaltenango, Totonicapán
71	<i>Lepista nuda</i>	Panq'oq' (Kaqchikel), Xew (Mam)	Tecpán Guatemala, Todos Santos Cuchumatán, San Juan Comalapa, San Martín Jilotepeque
72	<i>Lyophyllum decastes</i>	Cabeza de chivo, Rujolom Moch (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
73	<i>Macrolepiota procera</i>	Sb'ultunuk (Popti')	Jacaltenango
74	<i>Melanoleuca melanoleuca</i>	Xew (Mam)	Todos Santos Cuchumatán
75	<i>Morchella conica</i>	Pa' Kaarnel (Mam)	Todos Santos Cuchumatán
76	<i>Morchella elata</i>	Pi'q (K'iche')	Totonicapán
77	<i>Morchella esculenta</i>	Pancita, Pi'q (K'iche'), Pi'q, Rab'aj Karnel (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
78	<i>Morchella guatemalensis</i>	-----	Chimaltenango
79	<i>Neolentinus ponderosus</i>	Hongo de verano, Kulich (Chuj)	San Mateo Ixtatán
80	<i>Pleurocybella porrigens</i>	Te'sajchivo (Popti')	Jacaltenango
81	<i>Pleurotus djamor</i>	Hongo de izote, Okox (Tz'utujil)	Sansare, Guatemala, Jacaltenango, Cobán, San Juan La Laguna
82	<i>Pleurotus djamor var. roseus</i>	Hongos blancos, Saq Ita (Popti')	Guatemala, Jacaltenango
83	<i>Pleurotus levis</i>	Hongo de ixote, Saqtub' Chij Che' (Kaqchikel), Saqichaaj (Poqomchi'), Saqitaj (Chuj), Okox (Txutujil)	Tecpán Guatemala, Tactic, San Juan La Laguna, Nentón
84	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Hongos blancos, Saq Itzaj (Mam), Saqtub' (Kaqchikel)	Mixco, Tecpán Guatemala, Todos Santos Cuchumatán
85	<i>Pleurotus smithii</i>	Saq Tzu'm (K'iche')	Chichicastenango
86	<i>Pleurotus sp MMG 107.2001</i>	Sajitaj (Chuj), Saqb'ichaaj (Uspanteco)	San Mateo Ixtatán, San Miguel Uspantán
87	<i>Polyporus umbellatus</i>	Hongo de Santa Rosa, Raq Mes (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
88	<i>Pseudofistulina radicata</i>	Hongo de guachipilín, hongo de guachipilín, oreja de guachipilín, Azadón, Muk'aj, Pat'ur (Popti'), Akox (Tz'utujil)	Guatemala, mazatenango, Cuilapa, Jacaltenango, Santiago Atilán, San Lucas Tolimán, San Juan La Laguna, Amatitlán
89	<i>Pseudohydnum gelatinosum</i>	Xikin Sotz' (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
90	<i>Ramaria araiospora</i>	Pie de pajarito, Pie de paloma, Cacho de venado, Tzikej, Rixkeq Chikop, Rixk'eq Chikop, Rixk'eq Xar, Ruq'a Ney (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, San Juan Comalapa, San Juan Sacatepéquez
91	<i>Ramaria botrytis</i>	Manitas, barba de conejo, cacho de venado, manita de viejo, Tzikej (kaqchikel)	Jutiapa, Jalapa, Guatemala, Quetzaltenango, Salamá, Guatemala, Chimaltenango, Patzún
92	<i>Ramaria flava</i>	Manitas, barba de conejo, cacho de venado, canilla de muchachito, Pie de paloma, Pie de pajarito, Patas de pájaro, Rismachi' Kabr, Rixk'aq Tzi'ikin, Rixk'eq Chikop, Rixk'eq Xar, Ruq'a Ney, Tzikej, Ujolom gall (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, Chipotón (Sumpango), Jutiapa, Jalapa, Guatemala, Quetzaltenango, Antigua Guatemala, Chimaltenango,
93	<i>Ramaria sp MMG 73.2001</i>	Cacho de venado, Xumpil, Ch'ab' (Chuj), Kaach Masaat (Mam), Tzikej (kaqchikel)	Mixco, Todos Santos Cuchumatán, San Juan Ostuncalco, Guatemala, Tecpán Guatemala, San Juan Sacatepéquez, Chichicastenango, Uspantán, Nentón, Chichicastenango, Jacaltenango.

No	ESPECIE	NOMBRES COMUNES	REPORTADO EN
94	<i>Ramaria stricta</i>	Tziikeej (Ki'che'), Rixk'aq Tzi'ikin (Kaqchikel)	Chipotón (Sumpango), Chichicastenango
95	<i>Russula brevipes</i>	Hongo de chivo, Pan Uleew (Ki'che'), Saq Okox, Okox Karnel (Kaqchikel)	San Juan Comalapa, Tecpán Guatemala, Chichicastenango, Totonicapán
96	<i>Russula delicata</i>	Hongo de chivo, Okox Karnel, Saq Okox (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala
97	<i>Russula lepida</i>	Guacamaya, Kaqix (Kaqchikel)	Chipotón (Sumpango), Guatemala, Chimaltenango,
98	<i>Russula rosacea</i>	Xumpil (Chuj)	San Mateo Ixtatán
99	<i>Russula sp MMG 295.2001</i>	Ti' Chichim (Chuj), Kusem (Kaqchikel)	San Mateo Ixtatán, San Juan Sacatepéquez, Nentón
100	<i>Russula virescens</i>	Jarrito verde, Rax Xar (Kaqchikel)	San Martín Jilotepeque, San Juan Sacatepéquez
101	<i>Schizophyllum commune</i>	Orejita, oreja de palo, 'Asn (Chuj), Asam (Q'eqchi'), Xikin Che' (Itzaj), Xikin Kuk (Kaqchikel), Isem (Poqomchi'), Esem (Popti'), Xikn kuuk (Uspanteco)	Tecpán Guatemala, Flores, Cobán, San Mateo Ixtatán, Tactic, Jacaltenango, San Juan Chamelco
102	<i>Suillus granulatus</i>	Hongo de pino, B'ukmes (Chuj), Lich Patun, Punpu'x (Kaqchikel)	San Juan Sacatepéquez
103	<i>Suillus luteus</i>	Saseeb' Utiw (Ki'che'), Punpun, Punpu'x (Kaqchikel), B'ukmes (Chuj)	San Juan Comalapa, Totonicapán
104	<i>Suillus sp MMG 13.2001</i>	B'ukmes (Chuj), B'uj (Akateko)	San Juan Comalapa, San Rafael La Independencia
105	<i>Suillus tomentosus</i>	Seb kuk (Kaqchikel)	San Andrés Semetabaj
106	<i>Tremella concrescens</i>	Lolo' (Chuj)	San Juan Comalapa
107	<i>Tremella lutescens</i>	Lolo' (Chuj)	San Mateo Ixtatán
108	<i>Tremella mesenterica</i>	Lolo' (Chuj)	San Mateo Ixtatán
109	<i>Tremella reticulata</i>	Baba, Tzuu Q'ojoom (Ki'che'), Xkenken, Kenke'x (Kaqchikel)	Tecpán Guatemala, Chichicastenango, San Juan Comalapa
110	<i>Tricholoma flavovirens</i>	Chorcha, Jolon Toch'ich' (Kaqchikel)	Chimaltenango, San Juan Comalapa, Chichicastenango
111	<i>Trogia sp MMG 140.2001</i>	Saqtub' (Kaqchikel)	San Juan Comalapa, Tecpán Guatemala
112	<i>Tylopilus chromapes</i>	-----	Nentón
113	<i>Volvariella bombycina</i>	-----	Mixco

Fuente: Bran et al. (2002,2003,2004)

Anexo 4. Inversión y costos de producción para el cultivo de champiñón

Descripción	Costo	Cantidad	Precio unitario USD\$	Monto USD\$	Subtotal
Galera para compostaje	Fi	1 u	2105	2105	
Cámara para pasteurización	Fi	1 u	9650	9650	
Equipo de ventilación	Fi	1 u	1375	1375	
Equipo de aire frío	Fi	1 u	2105	2105	
Caldera	Fi	1 u	4678	4678	
Termómetro	Fi	1 u	916	916	
Cuarto frío	Fi	1 u	3508	3508	
Camas	Fi	1 u	1754	1754	
Material de aislamiento	Fi	1 u	2632	2632	24337
Paja de arroz	Vi	1400 kg *	0.12	168	
Pollinaza	Vi	900 kg **	0.01	9	
Urea	Vi	22 kg	0.18	3.96	
Yeso	Vi	100 kg	0.47	47	
Kerosene	Vi	30 gal	1.50	45	
Semilla	Vi	27 kg	7.66	206.82	
Musgo	Vi	38 p ³	1.97	74.86	
Formalina	Vi	5 lt	2.81	14.05	
Ventilación	Vi	5579 kw/hr	0.10	557.90	
Baygon	Vi	4 botes	2.34	9.36	
Carbonato de calcio	Vi	130 kg	0.05	6.50	
Agua	Vi	28.77 m ³	0.61	17.55	1160
Preparación del compost	Vm	137 hr	0.55268	75.71	
Llenado de cámara	Vm	41 hr	0.55268	22.66	
Pasteurización	Vm	8 hr	0.55268	4.42	
Acondicionamiento	Vm	2 hr	0.55268	1.11	
Siembra	Vm	37 hr	0.55268	20.45	
Tierra de cobertura	Vm	50 hr	0.55268	27.63	
Cosecha	Vm	238 hr	0.55556	132.22	
Cocción y elimin.	Vm	25 hr	0.55268	13.82	298
Total					25795
Capital inicial: US\$ 25,795.00 (Q206,360.00)					

Fuente: Muñoz (2006)

* Peso fresco natural (9% de humedad)

** Peso fresco natural (12% de humedad)

Fi= Costos fijos de inversión, Vi= Costos variables de insumos y Vm= Costos variables de mano de obra para 43 metros cuadrados.

Anexo 5. Costos para un ciclo productivo de *Pleurotus ostreatus*

No	Descripción	cantidad	Precio unitario (USD\$)	Tipo de costo	Monto USD\$	Subtotal USD\$
1	Acondicionamiento del local			Fi	171.13	171.13
2	Depreciación			F	63.75	63.75
3	Machete	2	5.00	Fi	10.00	
4	Toneles plásticos de 200 lt	2	11.25	Fi	22.50	
5	Recipientes para pasteurizar (30 lt)	2	7.50	Fi	15.00	
6	Termómetro ambiental	1	13.75	Fi	13.75	
7	Balanza de reloj	1	46.88	Fi	46.88	
8	Navaja	1	7.25	Fi	7.25	115.38
9	Agua (metros cúbicos)	4.23	1.88	Vi	7.93	
10	Pasto Jaraguá seco (kg)	66	0.02	Vi	1.32	
11	Inóculo (kg)	22	6.05	Vi	133.10	
12	Leña para pasteurizar (carga)	1	10.63	Vi	10.63	
13	Cal (saco)	1	4.75	Vi	4.75	
14	Jabón detergente 220 g	1	0.31	Vi	0.31	
15	Alcohol 88 grados (lt)	1	2.42	Vi	2.42	
16	Cloro 5.1% (lt)	1	0.88	Vi	0.88	
17	Bolsas plásticas (35x60 cm)	50	0.13	Vi	6.25	
18	Bolsas empaque de hongos (cientos)	2.45	0.41	Vi	1.00	168.58
19	Corte y acarreo de sustrato	8	0.75	Vm	6.00	
20	Preparación del sustrato	24	0.75	Vm	18.00	
21	Desinfección e inoculación del sustrato	8	0.75	Vm	6.00	
22	Cosecha	24	0.75	Vm	18.00	
23	Venta de producto	24	0.75	Vm	18.00	66.00
	Subtotal				584.83	584.83
24	Imprevistos (5%)				29.24	29.24
	COSTOS TOTALES					
	Capital inicial: US\$550.32 (Q4,402.56)					
					614.07	614.07

Tasa de cambio: Q8.00 por US \$1.00. Referencia: Costos fijos de inversión (Fi), Costos variables insumos (vi), Costos variables de mano de obra (Vm).

Anexo 6. Recetas clásicas con hongos comestibles

ESTOFADO DE HONGOS DEL BOSQUE

Receta cortesía del cheff Fabrice Garbero

Ingredientes:

3 unidades de caracoles enlatados
1 cucharada perejil picado
80 gramos (g) hongos variados
5 g mantequilla
5 unidades espárragos sancochados
1 cucharada de cebolla picada
1 diente ajo
3 tomate tipo cherry
10 g espinacas
3 zanahorias sancochadas, una rama de tallo de apio y de romero, sal y pimienta.
Para el tulipán de queso: ½ onza de queso parmesano.

Procedimiento:

- En un sartén derrita a fuego medio la mantequilla y saltee los hongos y los caracoles. Agregue la cebolla, ajo, tomate, espinacas, espárragos y zanahorias.
 - Sazone con sal y pimienta y retire del fuego.
- El proceso para elaborar el tulipán de queso es el siguiente:
- Ponga sobre un sartén una cuchara sopera de queso parmesano.
 - Haga un círculo y hornée por ¾ minutos en un horno a 360 F°. Cuando se derrita, sáquelo del horno. Espere unos segundos y colóquelo alrededor de un molde para darle la forma deseada.

Al servir: Coloque el tulipán de queso parmesano al centro del platillo y rellene con el estofado de hongos, caracoles y vegetales. Decore con los tallos de apio y de romero la parte superior del tulipán. Si desea agregue salsa de vino al estofado. Finalmente decore con hongos, y esparza perejil picado encima del platillo y sirva de inmediato.

CREMA DE SETAS Y HONGOS DEL BOSQUE

<http://www.recetas.net>

Ingredientes:

- 4 cucharadas de aceite de oliva
- 250 cc de caldo de pollo
- 4 echalotes picados (Cebolla pequeña)
- 80 gramos de mantequilla
- 1 pizca de pimienta de cayena
- 300 gramos de seta ostra
- 100 gramos de champiñones
- 2 dientes de ajo
- 500 gramos de hongos frescos
- 3 tazas de nata líquida
- 1 pizca de sal

Instrucciones de elaboración:

- Lavar los hongos, las setas y champiñones y picarlos.
- Calentar una cacerola y agregar mantequilla y aceite.
- Saltear los echalotes, ajos, hongos, setas y champiñones.
- Sazonar y dejar unos 5 minutos.
- Reservar un poco de hongos para decorar
- Agregar los hongos, la nata líquida y el caldo.
- Dejar hervir y licuar
- Se sazona con sal, pimienta de cayena y jugo de limón y servir con los hongos reservados.