



**ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

**PRODUCCION DE CHAMPIÑONES (*Agaricus
bitorquis* (Quélet.) Sacc.) BAJO LAS CONDICIONES
DEL VALLE DEL ZAMORANO**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA
OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO
EN EL GRADO DE LICENCIATURA**

POR

ALDO ENRIQUE SINIBALDI PALACIOS

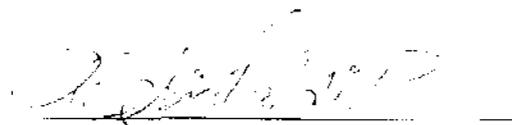
**El Zamorano, Honduras
Diciembre, 1996**

**PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑONES (*Agaricus bitorquis* (Quélet.) Sacc.)
BAJO LAS CONDICIONES DEL VALLE DEL ZAMORANO**

por

Aldo Enrique Sinibaldi Palacios

**El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso
para reproducir y distribuir copias de este trabajo
para los usos que considere necesarios.
Para otras personas y otros fines se reservan los derechos
de autor.**



Aldo Enrique Sinibaldi Palacios

Diciembre de 1996

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen por permitirme completar otro año de estudios.

A toda mi familia por apoyarme durante estos cuatro años.

A la familia Díaz Valladares y en especial a Doris Amalia por darme una familia en Honduras.

Al Dr. Alfredo Montes por sus enseñanzas y experiencias compartidas.

A mis colegas y compañeros del Pantanal, especialmente a Carlos, Sara, Alejandro, Raquel, Eduardo, Reinaldo, José y Alberto, por su amistad y hacer de este año una experiencia inolvidable.

A Helga y Eva por su ayuda.

A todo el personal del Departamento de Horticultura y en especial al Ing. Marcial Rubio por su apoyo.

INDICE GENERAL

TITULO	i
DERECHOS DE AUTOR.....	ii
APROBACION.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE ANEXOS.....	vii
I INTRODUCCION.....	1
II REVISION DE LA LITERATURA.....	3
Clasificación.....	3
Nombre científico.....	4
Valor nutricional del hongo.....	4
Contenido de agua.....	5
Proteína.....	5
Aminoácidos.....	5
Grasas.....	5
Carbohidratos y fibra.....	6
Factores ambientales y nutrición del hongo.....	6
El sustrato.....	7
Suplementos.....	8
Preparación del sustrato.....	9
El proceso del compostaje.....	10
Método de dos fases o método corto.....	11
Fase I.....	11
Fase II.....	11
Método largo.....	12
Compost con estiércol de caballo.....	12
Compost sin estiércol de caballo o sintético.....	13
La pasteurización.....	14
Pasteurización con vapor.....	14
Pasteurización con bromuro de metilo.....	15
La siembra.....	15
Desarrollo del cultivo.....	16
Desarrollo del cultivo con <i>A. bisporus</i>	17
Desarrollo del cultivo con <i>A. bitorquis</i>	17
La cobertura.....	17
Ejecución de la cobertura.....	18
Cuidados tras la cobertura.....	18

La cosecha.....	19
Multiplicación de la semilla.....	20
III MATERIALES Y METODOS.....	21
Ubicación.....	21
Semilla.....	21
Producción de semilla.....	21
Cultivo puro.....	22
Elaboración del sustrato.....	22
Asepsia en la cámara de crecimiento.....	23
Introducción del sustrato a la cámara de crecimiento.....	24
La siembra.....	24
Aplicación de la capa de cobertura.....	25
Cosecha.....	26
Control de enfermedades e insectos.....	26
Análisis económico.....	26
Inversiones.....	26
Costos.....	27
Utilidades y rentabilidad.....	27
IV RESULTADOS.....	28
Producción de semilla.....	28
Producción de cultivo puro.....	28
Elaboración del sustrato.....	29
Cámara de crecimiento y pasteurización.....	30
Contenido de nitrógeno del sustrato.....	30
pH del sustrato.....	30
La siembra y crecimiento del micelio.....	31
La cobertura.....	31
Sanidad.....	31
Otros hongos.....	31
Insectos.....	32
La cosecha.....	32
Rendimiento.....	32
Calidad.....	32
Periodo de cosecha.....	33
Relación superficie - área de cultivo.....	33
Análisis económico.....	33
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
VI RESUMEN.....	37
VII BIBLIOGRAFIA.....	38
VIII ANEXOS.....	39

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Balance de ingresos y egresos para 10.7 metros cuadrados de cultivo.....	40
Anexo 2. Balance de ingresos y egresos para 65.7 metros cuadrados de cultivo (Proyección).....	41
Anexo 3. Inversiones para 10.7 metros cuadrados de cultivo.....	42
Anexo 4. Inversiones para 65.7 metros cuadrados de cultivo.....	43
Anexo 5. Fotografía mostrando los materiales utilizados en la elaboración del compost.....	44
Anexo 6. Fotografía mostrando la calidad del champiñón a cosechar.....	45

I. INTRODUCCION

Todas las plantas tiene origen silvestre y han sido adaptadas con el tiempo a condiciones ambientales, reproduciendo artificialmente su hábitat. El cultivo de hongos como el champiñón, Agaricus bisporus y Agaricus bitorquis, involucra por ello la reproducción artificial de las condiciones necesarias para completar su ciclo de vida.

En el siglo XVIII en Francia, ya se usaba el primer método sistemático del cultivo de champiñón que hoy conocemos. A finales de 1800 se logró obtener micelio puro a través de esporas seleccionadas, haciéndolas crecer en estiércoles desinfectados. Este logro, sumado al conocimiento del cultivo, sienta las bases para una producción comercial, eficiente e intensiva del champiñón. Así fue como a principios de este siglo en Estados Unidos, el mayor productor de champiñones en América, se incrementó el cultivo de este hongo utilizando cualquier estructura en desuso como graneros, invernaderos, túneles de trenes, bodegas o cualquier otra estructura que sirviera para este propósito.

Entre los mayores productores y consumidores de estos hongos están: Estados Unidos, Francia e Italia (Rambelli, 1983). Una de las características de estos países son las condiciones ambientales en las regiones que producen champiñones, teniendo en común temperaturas frescas a través de todo el año o la mayor parte de él, así como una alta humedad relativa. Estas características permiten al cultivador de champiñones reducir sus costos. El rango de temperatura, según López (1990), de 15-25°C es el necesario durante el transcurso de todo el ciclo del cultivo, alternándose según la etapa del mismo. Ambas, temperatura alta y baja humedad relativa, no sólo pueden aumentar los costos, sino hacer más difícil el cultivo al productor principiante debido al intensivo cuidado de mantener óptimos estos dos factores ambientales, sobre todo si se trata de una producción familiar o artesanal.

El champiñón es un hongo de sabor y aroma exquisitos. Este posee características nutricionales que lo hacen comparable con la carne y propiedades terapéuticas como antibiótico y anticancerígeno natural que lo ubican como uno de los mejores alimentos orgánicos (Rambelli, 1983). Estos atributos lo han hecho muy popular entre vegetarianos y personas que gustan de alimentos naturales, sanos y de toda persona que gusta de sus características organolépticas.

Un factor interesante en la producción del champiñón, es la facilidad de formular sustratos que resulten de muy bajo costo, utilizando productos de la finca que en su mayoría son desperdiciados o subutilizados. En nuestros países estos sustratos pueden hacerse con residuos de cosecha de distintos cultivos, junto a desperdicios de la producción animal, desarrollando, así, una agricultura sostenible en la que los recursos son utilizados al máximo, reduciendo el subsidio de otros sistemas.

Otro beneficio que ofrece la producción de este hongo es la utilización del sustrato sobrante del cultivo como fertilizante orgánico, que puede ser regado en el campo y contribuir de esta manera al reciclaje de nutrientes que de otra manera se perderían.

El cultivo del champiñón es una actividad intensiva. La flexibilidad de los sistemas de producción de este hongo permiten un mayor aprovechamiento del área superficial, hasta el punto de darle a 1 m² de superficie, 3 a 5 m² de cultivo. Esto no sólo confirma lo atractiva que puede volverse esta actividad, sino también la posibilidad de crear una empresa agrícola en un área reducida, ya que en nuestros países el costo de la tierra es elevado. Se puede agregar a esto que el cultivo del champiñón no nos limita a un mercado de producto fresco, sino que ofrece la oportunidad de combinarlo con procesos industriales.

Lo anterior indica que la producción de champiñones intensiva y eficiente tanto en el Valle del Zamorano como en el resto del trópico, tiene varias dificultades por ser la alta temperatura y baja humedad relativa predominantes durante casi todo el año.

Por las razones antes expuestas, este estudio tiene el objetivo de evaluar la producción de champiñones en las condiciones del Valle del Zamorano, evaluando el rendimiento del cultivo y su calidad, la susceptibilidad a plagas y enfermedades y cuantificando el periodo de producción de este hongo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. CLASIFICACIÓN

Los hongos pertenecen al reino Mycetae. Esta clasificación se basa en características que los hacen diferentes de los demás organismos. Las más importantes de estas características son:

1. Incapacidad para producir su propio alimento; esto se debe a que carecen de clorofila y por lo tanto no pueden sintetizar su propio alimento del bióxido de carbono y el agua.
2. Digestión externa y absorción de los materiales disueltos: el micelio de los hongos produce enzimas que digieren los carbohidratos complejos, lípidos y proteínas y los hace fáciles de absorber por las hifas.
3. Crecimiento en forma de filamentos y paredes celulares compuestas de celulosa o quitina (compuesto asociado con el exoesqueleto de los insectos).
4. Reproducción por medio de esporas, que pueden ser asexuadas, sexuadas o esporas de resistencia.
5. Los hongos absorben hidratos de carbono, proteínas y lípidos de la materia orgánica viva o muerta: debido a estas características, los hongos se pueden dividir en saprófitos, que se alimentan de materia orgánica muerta como la madera o el estiércol, los parásitos, que atacan a organismos vivos y finalmente los simbioses, los cuales se asocian con otro organismo para su mutuo beneficio.

Taxonómicamente el champiñón pertenece a la clase de los Basidiomicetos, orden de los Agaricales. La clase Basidiomicetos se distingue por producir esporas sexuadas, cuatro en general. Estos son órganos en forma de masa que, agrupados, forman el himenio. El himenio tapiza las laminillas del carpóforo, del que existen múltiples formas. Una excepción es el A. bisporus que es basidiomiceto con la particularidad de producir solamente dos esporas por basidio (López, 1990).

El orden Agaricales incluye los hongos que tradicionalmente han sido utilizados para el consumo humano directo. Estos son conocidos por el hombre desde que éste tomó conciencia de su entorno y son de los pocos hongos que muchas veces tienen nombres comunes además de sus nombres científicos. En adición a esto podemos decir que la palabra *mykes*, de la cual se deriva micología, significaba hongo comestible para los antiguos griegos y por lo tanto la micología es el estudio de los hongos comestibles. Los hongos comestibles, según Alexopoulos y Mins (1979), generalmente son sporophoros carnosos, fuertes y en forma de sombrilla que forman sus basidios en la superficie de agallas o platos.

Según Alexopoulos y Mins (1979), los Agaricales ocupan un amplio espectro de hábitats, que van desde el ártico hasta el trópico. Mientras que algunas especies sólo existen en áreas restringidas, otras existen en áreas bastante separadas geográficamente. A pesar de esto la mayoría parece tener preferencia por un hábitat determinado. Algunos se encuentran principalmente en áreas altas y boscosas, otras prefieren áreas pantanosas, y otras muestran preferencia por áreas abiertas como jardines y pasturas. Muchas especies, especialmente las micorrizas, están asociadas con cierta clase de vegetación. En un hábitat determinado los hongos también mostrarán preferencias por determinadas clases de sustratos. Los basidiocarpos de algunos son producidos en el suelo y generalmente se hacen mención de ellos como formas terrestres. Otros se forman en hojas muertas, madera, estiércol y encima de otros hongos. Los hábitats y sustratos diversos reflejan el hecho de que el orden Agaricales está conformado por especies parasíticas, saprófagas y micorrizas.

2.2. NOMBRE CIENTÍFICO

En la producción comercial del hongo se conocen dos especies a las cuales se les da el nombre de champiñón, estas son: Agaricus bisporus (Lange) Imbach., y el Agaricus bitorquis (Quélet) Sacc. Estos nombres han sido reconocidos por muchos años ya, por lo que no dan lugar a confusiones.

Según López (1990), la característica que hacen diferentes a estas especies son: los carpóforos o champiñones.

En A. bitorquis son más grandes y presentan menos micelio, lo que facilita la cosecha, tienen el pie más corto, dos velos y las laminillas del himenio son casi siempre de tonos oscuros. El A. bitorquis es siempre de color blanco. Ambos se desarrollan en el mismo tipo de compost.

2.3. VALOR NUTRICIONAL DEL HONGO

El champiñón ha sido reconocido por varios siglos por muchas culturas como un alimento de delicado sabor y aroma muy agradable. Sin embargo, el estudio de su valor nutricional ha quedado relegado a simples análisis proximales. De acuerdo con Chang y Hayes (1978), el contenido de sales (cenizas) es superior que el de las carnes y pescado y casi el doble que el de los vegetales comúnmente consumidos. El contenido de proteína es el doble que el de los espárragos y la papa, cuatro veces el de los tomates y zanahorias y seis veces el de las naranjas.

Por su alto contenido de ácido fólico y una tasa baja de carbohidratos, los hongos son recomendados especialmente a personas diabéticas y anémicas (Rambelli, 1983).

Otros autores le atribuyen ciertas propiedades terapéuticas a los hongos como anticancerígeno.

2.3.1. Contenido de agua

Según Chang y Hayes (1978), el contenido de agua en los hongos frescos es generalmente de 85 a 90%, mientras que los que se secan con aire para la comercialización alcanzan un 5 a 20% de humedad.

2.3.2. Proteína

Este es el componente más crítico que contribuye a darle a los alimentos su valor nutricional. El contenido de proteína cruda en todos los alimentos es calculada con el factor de conversión $N \times 6.25$, basado en la presunción de que las proteínas tienen 16% de nitrógeno, de que el 100% de la proteína es digestible y que no se encuentran sustancias nitrogenadas no protéicas.

Según Chang y Hayes (1978), el contenido de proteína cruda del *A. bisporus* varía de un 24-44%, esto dependiendo de la selección del cultivo que se haya realizado, asimismo se sugiere una digestibilidad de 60-70%.

Flegg et al. (1985), reporta una digestibilidad del 71 al 90% en *A. bisporus*, el cual es menor al de la carne ya que ésta alcanza un 99%.

2.3.3. Aminoácidos

Está bien documentado que en el champiñón están presentes todos los aminoácidos esenciales como también la mayoría de los no esenciales. Del total de aminoácidos, el 25-40% son aminoácidos esenciales. La composición del sustrato influye en la calidad y variedad de los aminoácidos presentes (Chang y Hayes, 1978).

2.3.4. Grasas

La grasa cruda de los hongos puede variar desde menos de 1% hasta tan alto como un 15-20% del peso seco, pero en promedio contienen entre un 2-8% de grasa. Estas grasas son en su mayoría ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, esteroides, esterol ésteres, fosfolípidos (Chang y Hayes, 1978).

Es muy común en los basidiomycetos que tengan una gran proporción de ácido linoleico (ácido esencial en la dieta) tanto como un 63-74% del total de los ácidos grasos. Ácido Palmítico y Esteárico son otros ácidos grasos principales en el hongo (Flegg et al., 1985).

2.3.5. Carbohidratos y fibra

Los hongos frescos contienen relativamente una cantidad grande de carbohidratos (3-28%) y de fibra (3-32%). Según Chang y Hayes (1978), el contenido de carbohidratos está compuesto por una gran variedad de pentosas, metil pentosas, hexosas, disacáridos, amino azúcares.

2.4. FACTORES AMBIENTALES Y NUTRICIÓN DEL HONGO

El champiñón es un saprófito que se alimenta de la materia vegetal muerta. En la práctica se utiliza compost de estiércol con diversos aditivos. Estos aditivos sirven para aumentar la concentración en ciertos nutrientes o corregir el pH. También se han ensayado sustratos totalmente artificiales. El champiñón debido a su falta de clorofila, no puede transformar el dióxido de carbono (CO₂) en azúcares, como lo hacen las plantas verdes, por esto los absorbe del compost. Otro nutriente muy importante es el nitrógeno, constituyente de muchas moléculas orgánicas. El champiñón no puede absorber nitratos y las sales amoniacales le producen toxicidad a bajas concentraciones. Por ello, una forma empírica y tradicional de comprobar la fermentación del estiércol, es oler si ha desaparecido el olor amoniacal. Sólo son útiles en la nutrición del champiñón los compuestos nitrogenados del tipo aminoácido o proteína y combinados con el complejo húmico que tiene, le facilita su asimilación por las células de las hifas. La formación de este complejo húmico es uno de los objetivos que persigue fermentar el estiércol. Estos nutrientes se agotan en el sustrato por lo que la primera oleada de champiñones es siempre la más importante, mientras que las otras van menguando por el agotamiento de los hidratos de carbono fácilmente asimilables.

También es importante el calcio que neutraliza el ácido oxálico producido por el hongo. Si llegase a faltar el calcio la acidez del sustrato se haría insostenible. El micelio también libera alcohol etílico, acetato de etilo, etileno y otras sustancias que contribuyen al olor característico de las champiñoneras.

En cuanto al oxígeno, el hongo respira y necesita, ventilación suficiente para remover el dióxido de carbono que resulta de la respiración. En efecto, el crecimiento del hongo se ve reducido con concentraciones de CO₂ superiores al 2-3% y los granos se forman con concentraciones menores al 0.2%. Por esta razón la ventilación es un tema delicado en el cultivo, sobre todo en los cultivos intensivos en los cuales se intenta sacar el mayor provecho del espacio disponible.

Otro factor importante es el de la temperatura ya que los mejores rendimientos se consiguen dentro de unos márgenes estrechos. Se considera que entre 22° C y 27° C es el rango más adecuado para el crecimiento del micelio, siendo 25° C el óptimo. Si la temperatura supera los 35° C se detiene el desarrollo. Para el desarrollo del grano y el crecimiento del champiñón (carpóforo) el intervalo favorable está entre 10° C y 20° C y parece depender, en primer lugar, de que las demás condiciones, desde la preparación del sustrato hasta esta etapa, hayan sido las requeridas. Si éstas son las adecuadas, el crecimiento será más rápido cuanto más alta sea la temperatura.

La humedad del sustrato durante el crecimiento debe estar entre 62 y 68%. Esta tiene gran importancia en la obtención de buenos rendimientos ya que influye directamente en la aireación del compost y porque la mayor parte del agua del champiñón proviene del agua que está en el sustrato. Si es insuficiente se puede parar el desarrollo y perderse la cosecha, y en el caso de ser excesiva se puede producir asfixia del micelio (López, 1990).

Se ha demostrado que los coloides en el compost se dispersan, dando una textura grasosa, lo cual restringe el crecimiento del micelio. Se encontró que con la adición de sulfato de calcio (yeso) los coloides se agregan, dándole una estructura granular, un incremento de la capacidad de retención de agua y un mejor y mayor crecimiento del micelio (Chang y Hayes, 1978).

2.5. EL SUSTRATO

El sustrato o compost, tiene para el hongo, la función de sostén y fuente de alimento. El micelio con las demás condiciones necesarias, coloniza el sustrato en busca de sustancias nutritivas, al igual que las raíces de una planta en la tierra.

El sustrato es, según Chang y Hayes (1978), una provisión de compuestos orgánicos complejos producidos por otros organismos.

Las mejores características de un sustrato deben medirse en los siguientes aspectos:

1. Que sea totalmente permeable al aire.
2. Que retenga agua sin llegar a saturarse.
3. Que alcance el pH adecuado.

La producción de un compost adecuado se logra con la manipulación de los microorganismos presentes en la paja o heno utilizados. Entre estos microorganismos están los hongos de la clase Actinomicetos, entre otros, que son responsables en gran parte de la fermentación del sustrato y son muy comunes en éste bajo condiciones aeróbicas y de pH neutro a alcalino del

mismo. Algunos de estos hongos son: Micropolyspora faeni, Saccharomonospora viridis, Streptomyces albus, Streptomyces griseus, Streptomyces spp., Thermoactinomyces vulgaris. (Flegg et al., 1985).

La microflora bacteriana varía tanto por el grado de descomposición del compost como por la temperatura que éste vaya alcanzando a través del compostaje. Estas bacterias pueden ser mesofílicas, actuando sobretodo en las etapas iniciales del compostaje (día 0 en adelante), siendo las principales Flavobacterium spp., Pseudomonas spp., Serratia marcescens. Las termotolerantes, como Pseudomonas spp. y Bacillus licheniformis, actúan a partir de la mitad del proceso del compostaje y las termofílicas, como Bacillus coagulans, B. stearothermophilus y B. subtilis, actúan en las etapas medias y últimas de la elaboración del sustrato.

La microfauna y microflora cambia en el sustrato de acuerdo a los cambios físicos y químicos que ocurren durante el tiempo que dure el compostaje.

2.5.1. Suplementos

Hace algunos años las explotaciones de hongos se realizaban en estiércol de caballo principalmente, y éste no tiene el nitrógeno necesario para un buen compost. Debido a esto se deben agregar a éste algunos suplementos para mejorar la composición del mismo. El suplemento nitrogenado más utilizado es la gallinaza, que se puede sustituir por bagazo de cervecera o tortas de semilla de algodón. El nitrógeno también se puede suplementar en forma de urea o de sulfato amónico, en cuyo caso también se añade carbonato de calcio para neutralizar el ácido sulfúrico que se produce.

Según López (1990), si la fuente principal de nitrógeno es el estiércol de caballo el compost debe tener, en el momento de su utilización, entre un 1.8 y un 2% de nitrógeno, con un contenido de amoníaco no superior al 0.2%.

Otro factor a tener en cuenta al agregar nitrógeno, es que el solo aumenta la capacidad de fermentación y por lo consiguiente se deben aportar más hidratos de carbono para alimentar a los microorganismos de la fermentación. Esto se consigue aportando al sustrato semillas de algodón, o cualquier fuente de carbohidratos de rápida asimilación por los microorganismos.

El yeso que se añade con la gallinaza, tiene como misión bajar el la acidez y mejorar la estructura. Por otra parte, aporta calcio que neutraliza el ácido oxálico, producido por el micelio, formando un precipitado de cristales en forma de oxalato de calcio.

El fósforo y potasio se encuentran en cantidades suficientes en las pajas utilizadas debido al uso de fertilizantes inorgánicos en la agricultura. Por esta razón no es necesaria la suplementación de los mismos.

Según Chang y Hayes (1978), los suplementos se formulan de tal manera de alcanzar los requerimientos buscados con los nutrientes aportados. Los nutrientes incluyen carbono y nitrógeno. La relación de estos dos (C:N) se mide en forma de porcentaje (%) de nitrógeno. Para encontrar la relación carbono nitrógeno adecuada, una combinación conteniendo 1.4 a 1.5% de nitrógeno expresado en materia seca debe ser el objetivo al iniciar el proceso de compostaje, el cual si la combinación fue correctamente balanceada tendrá al final un 2.0-2.3% de nitrógeno.

A pesar de que no hay estándares, el contenido de agua debe ser de 75% al momento de hacer la mezcla, para obtener un 67-72% de humedad al completar el compostaje.

2.5.2. Preparación del sustrato

Es necesario, en primer lugar, disponer de un lugar cubierto, con techo suficientemente alto para permitir la ventilación y que se pueda cerrar si las condiciones externas así lo ameritan. Este local debe tener un piso de hormigón fácilmente lavable con agua a presión. Esta superficie deberá tener una ligera inclinación que permita la salida de la escorrentía del agua que sobre de los riegos. Esta agua se recolecta en una fosa y se vuelve a regar con ella el compost para recuperar los nutrientes disueltos.

Habiendo seleccionado los suplementos que se utilizarán, se le agregan a la paja y se hace una mezcla de los mismos hasta dejar una distribución uniforme de los suplementos y la paja.

Según López (1990), al realizar la mezcla se aplican de 600 a 1000 litros de agua por tonelada métrica de mezcla inicial. Casi toda el agua se debe incorporar, en el momento en que se mezclan todos los ingredientes (inicio del compostaje), ya que la pérdida de materia seca durante la fermentación hace que el nivel de humedad aumente. Esta debe de ser al final del proceso de 72%.

Al humedecimiento y la formación de los cordones, junto a los tres primeros días del compostaje (después de que todos los ingredientes han sido incorporados) se le llama el estado de "establecimiento". El fin de este estado marca la sustitución de una población mesofílica primaria (particularmente los hongos) por una predominante termofílica (Flegg et al., 1985).

Por la subsecuente subida de la temperatura en el compost y el ataque de las bacterias a las paredes celulares de la paja, ésta se ablandará y se volverá más absorbente de agua, formándose entonces largos cordones de esta mezcla (windrows). Para prevenir el desarrollo de condiciones anaeróbicas, las secciones verticales y transversales de los cordones de compost son generalmente no mayores de 2.0 X 2.0 metros (Flegg et al., 1985). Según López (1990), con estiércol ya mezclado junto a la paja y los demás ingredientes se forman montones de 1.80 X 1.80 metros y de la longitud que se disponga.

Se debe tener cuidado con el riego, ya que el exceso de agua puede crear condiciones anaeróbicas dentro de los cordones, además podría causar pérdida de nutrientes importantes por goteo y escorrentía. La falta de agua puede retrasar los procesos químicos y microbiales deseados y puede promover el desarrollo de gran número de microorganismos formadores de esporas, especialmente actinomicetos.

Durante el compostaje, se libera calor por la oxidación microbial del material orgánico. Debido a que este material sirve de aislante, mucho del calor es retenido y se forman zonas de temperatura dentro de los cordones. Excepto en las capas exteriores del cordón (donde los microorganismos mesofílicos proliferan), la temperatura se eleva rápidamente a 55-60° C, lo que causa que predominen los organismos termofílicos. El incremento de temperatura lleva a un incremento de la actividad microbial, lo cual causa un incremento aún mayor de temperaturas en el compost. En el centro del cordón las temperaturas pueden alcanzar un máximo de 70-80° C, lo cual reduce la actividad microbial en este lugar. Con el propósito de alcanzar una degradación uniforme del compost, los cordones son volteados frecuentemente para mezclar zonas de diferentes temperaturas (Flegg et al., 1985).

Según López (1990), en 24 horas después de iniciado el proceso la temperatura debe elevarse a 65-75° C en el interior de los cordones.

La descomposición aeróbica de la paja y el estiércol de caballo a altas temperaturas es responsable de la pérdida de cerca de un 50% de la materia orgánica.

2.6. EL PROCESO DE COMPOSTAJE

En el proceso de elaboración del compost o sustrato se utilizan dos métodos, los cuales tienen el fin de acelerar este proceso y el de obtener el mejor sustrato posible.

Con estos métodos se ha reducido el proceso de 3 semanas o más a 7-14 días. De esta manera se reduce también la pérdida de nutrientes del sustrato por la prolongada presencia de microorganismos en el (Flegg et al., 1985).

Estos métodos son muy parecidos en cuanto a la cantidad de tiempo que toman, diferenciándose en el lugar donde ocurren.

Sea cual fuere el método, en el compost acabado casi todos los hidratos de carbono están en forma de celulosa y lignina del complejo lignico-húmico. Con ello el medio resultante es selectivo para el cultivo del champiñón que es capaz de degradar los hidratos de carbono complejos de la materia vegetal, mientras que muchos posibles competidores sólo pueden utilizar azúcares sencillos (López, 1990).

2.6.1. Método de dos fases o método corto

Este método lleva a cabo la primera fase de la fermentación del compost en un área afuera de la cámara de crecimiento y la segunda, dentro de la cámara de crecimiento.

2.6.1.1. Fase I. Flegg et al. (1985), señalan que esta fase se realiza mezclando los diferentes componentes del compost, voltéandolos y humedeciéndolos para alcanzar una humedad de 70-75% (etapa de iniciación). En esta etapa se hacen los cordones con las dimensiones necesarias para que permitan una buena aireación.

Debido a que se necesita una fermentación aeróbica es indispensable el volteo constante de esta masa para renovar el suministro de oxígeno. La temperatura se elevará rápidamente, hasta llegar a alcanzar 75-80° C en el centro del cordón. Con los siguientes volteos el compost irá perdiendo calor debido a la evaporación de agua durante éstos.

Según Chang y Hayes (1978), la fase I toma un periodo mayor de 7 días. Por otro lado, Flegg et al. (1985), establecen una duración de 7-10 días. En ésta se da mayor énfasis al tamaño y forma del cordón para maximizar la actividad microbial, proceso que se continuará en la fase II.

2.6.1.2. Fase II. Esta fase se lleva a cabo en una habitación bien aislada y preparada para soportar diferentes grados de temperatura y humedades.

El compost proveniente de la fase I es puesto en estantes de madera o en bandejas de madera o aluminio. Inmediatamente después de llenados estos recipientes se eleva la temperatura a 60° C con vapor, aunque se puede realizar esta pasteurización en cualquier momento de la fase II. Esta fermentación altamente aeróbica y termofílica dura usualmente entre 5-8 días (Flegg et al., 1985).

Una característica de esta fase es que se reducen los niveles de amoníaco, la cual es altamente tóxica para el crecimiento del hongo. Este amoníaco y nitratos son convertidos a proteínas por microorganismos. Esta degradación del amoníaco causa un descenso en el pH, de alcalino a neutro. El amoníaco que se volatiliza es necesario removerlo rápidamente con un sistema de ventilación que permita la eliminación de varios volúmenes de aire por hora.

El contenido de humedad debe estar en un 70% para mantener un óptimo de crecimiento de los microorganismos.

El tiempo que se necesita para completar la fase II del compostaje es gobernado por tres principales factores:

- 1) la temperatura,
- 2) el nivel inicial de amoníaco, y
- 3) la aireación.

La aireación es extremadamente importante. Un descenso del oxígeno de 19 a 14% incrementa la concentración de dióxido de carbono, lo cual dobla el tiempo requerido para completar la fase II.

La pasteurización forma parte de esta fase y es por ello que la desinfección del cuarto o cámara de crecimiento se realizan simultáneamente junto con el acondicionamiento del sustrato, además de las practicas de limpieza y sanidad que se realizan antes y después de cada ciclo de producción.

2.6.2. Método largo

Este proceso de lleva a cabo afuera del cuarto o cámara de crecimiento.

Chang y Hayes (1978), describen este método como prolongación de la fase I hasta 16 días. Los ingredientes son mezclados y colocados en cordones de una forma apropiada para producir un acortamiento en la fase II. La fase II se limitaría principalmente a la pasteurización con vapor.

López (1990), caracteriza la realización de este método en 14 días, con un número determinado de volteos que se realizan de la siguiente manera: 4-5 días de iniciado el compostaje se mezcla de nuevo y se deshacen los agregados que hayan quedado presentes, a los 3-4 días se voltea de nuevo y se intercambian las diferentes zonas del compost, 3 días después se voltea volviendo a intercambiar las capas, y 2 días después se realiza el última volteo.

Al final se deshacen los cordones y entran a la pasteurización. Con el compost listo se llenan los recipientes que se encuentran en el cuarto o cámara de crecimiento, y es en este momento que se pasteurizan. Otros pasteurizan el medio afuera de la cámara de crecimiento para luego llenar los recipientes.

2.7. COMPOST CON ESTIÉRCOL DE CABALLO

Según López (1990), el compost preparado con estiércol de caballo después de la fermentación debe reunir las siguientes características: color verde-pardusco, la paja debe estar resistente y húmeda (si la humedad es la adecuada aparecen algunas gotas al apretar un puñado de compost con la mano) y estar pegajoso. Además debe tener una concentración inferior de 0.45% de amoniaco antes de la pasteurización, o menor de 0.2% al momento de la siembra y un pH igual o superior a 8. El contenido de nitrógeno debe de estar entre 1.8 y un 2.0% al momento de la siembra.

2.8. COMPOST SIN ESTIÉRCOL DE CABALLO O SINTÉTICO

La baja disponibilidad de estiércol de caballo, ha hecho que se intente sustituir esta materia prima por otros materiales disponibles en el lugar. En Europa la materia prima utilizada suele ser la paja de trigo, aunque puede ser paja de arroz (como en Asia) residuos de cultivo de algodón, caña de azúcar o maíz. En general, se puede utilizar cualquier materia vegetal muerta, que tenga la forma y consistencia de la paja. A esta materia prima se deben añadir suplementos nitrogenados en forma orgánica o mineral e hidratos de carbono fácilmente asimilables.

Partiendo de 1 tonelada de paja de cereal seca, de trigo o centeno que es lo ideal, se pueden conseguir hasta tres toneladas de compost según los suplementos que se añadan. En un primer momento se apilan las pacas hasta una altura de dos metros y se van regando con agua, una solución de urea o purines de cerdo, dependiendo de los otros aditivos. El compost debe tener un contenido final de 1.6% de nitrógeno sobre materia seca al término de la fermentación libre.

Entre las pacas se ponen capas de 150 kilogramos de gallinaza por tonelada, de 100 a 200 kilogramos de materias vegetales ricas en nitrógeno, como harina de algodón, de soya, etc.. También se pueden utilizar abonos minerales como el sulfato amónico, sólido o disuelto en agua de riego. Este riego se mantiene por 2 ó 3 días, recogiendo el agua de escorrentia para volverlo a utilizar y evitar las pérdidas.

En total se deben utilizar entre 2.5 y 3.5 metros cúbicos de agua por tonelada de compost. Al acabar la humidificación se dejan la pacas apiladas durante una semana, durante la cual se eleva la temperatura, signo inequívoco del inicio de la fermentación.

Tras estos días se deshacen las pacas y se pica la paja, mezclándola con los aditivos. En este momento, en los sistemas mixtos que utilizan una cierta cantidad de estiércol de caballo, se mezcla la paja con los aditivos y el estiércol. Se forma un cordón como en el caso del estiércol, añadiendo como suplementos 200 kilogramos de gallinaza o materias vegetales nitrogenadas. Se riega, si es preciso, para uniformizar la humedad. Al igual que con el estiércol, la temperatura debe subir hasta los 65-75° C y a los tres o cuatro días se desmonta el cordón rápidamente y se añaden 50 kilogramos de yeso, más el agua necesaria. El volteo se repite cada 2-4 días, dependiendo de la evolución de la temperatura. Los periodos tienen tendencia a hacerse más cortos; si bien la elevación de la temperatura suele ser rápida, el tiempo durante el cual se mantiene se va reduciendo a cada vuelta. Normalmente son suficientes 4 volteos (12-15 días), para obtener un producto apto para la pasteurización, que, por cierto, tiene un aspecto parecido al compost de estiércol.

En cualquier compost sintético, las proporciones de los macronutrientes deben ser aproximadamente: N:13, P:4, K:10, y el porcentaje de nitrógeno en materia seca, antes de entrar a la pasteurización, debe de estar alrededor de 1.5%. La humedad al igual que el estiércol de caballo, debe de ser de 72% y el pH igual o superior a 8 unidades. Si se presentan estas condiciones, son altas las posibilidades de obtener compost a bajo precio y con diversos materiales (López, 1990). Según Rambelli (1983), el pH final del compost hecho con gallinaza debe de estar entre 7 y 7.2.

2.9. LA PASTEURIZACIÓN

Hace tiempo que una explotación champiñonera no se puede concebir sin la pasteurización. Una de las razones importantes por la que se realiza pasteurización es porque elimina organismos perjudiciales, especialmente nemátodos e insectos que puedan, más adelante, afectar el cultivo, así como esporas de hongos que pudieran ser competencia o parásitos del mismo champiñón.

El proceso de la pasteurización comienza con el desmonte de los cordones de compost y la colocación de este en el lugar de pasteurización, el cual en las explotaciones modernas también es el de cultivo. Lo ideal es pasteurizar el sustrato en el mismo lugar de cultivo para evitar más traslados y trabajos antes de proceder a la siembra (López, 1990).

La pasteurización se puede realizar con calor húmedo o vapor, calor seco o con bromuro de metilo.

2.9.1. Pasteurización con vapor

El vapor, según Chang y Hayes (1978), es el agente tradicional de pasteurización, el que se inyecta para aumentar la temperatura a 60 C por una a dos horas. Esto se hace 24 a 48 horas después de haber iniciado la fase II del compostaje en el "método corto". La continua producción de alta temperatura en este método propicia una pérdida de nutrientes lo cual estimula una etapa extra de actividad en el compost que se denomina "fermentación secundaria", por lo que completar la fase II después de la pasteurización es crítico. En la práctica el punto final es determinado por la ausencia de amoníaco en el compost y en el aire.

Para el "método largo" López (1990), señala que en la pasteurización se debe mantener una temperatura de 56-58° C durante al menos doce horas. Temperaturas inferiores no llegan a destruir todos los microorganismos presentes y si se calienta a más de 60° C, se inician procesos de descomposición de proteínas, con gran desprendimiento de amoníaco. Si las instalaciones lo permiten, puede elevarse la temperatura a 62° C durante una hora para acabar con los microorganismos más resistentes.

Una instalación que permita la circulación de aire en la sala, facilita que la temperatura sea uniforme en todas las zonas del compost, siempre que no se admita aire frío del exterior. En ambos casos, método largo o corto, después de haber alcanzado las temperaturas adecuadas en el tiempo necesario se debe bajar rápidamente la temperatura hasta los 45-47° C y dejar que vaya descendiendo, aproximadamente un grado diario, hasta alcanzar los 36-38° C, lo que ocurre en una semana o un poco más. Entonces, si se ha controlado

convenientemente la temperatura y se ha respetado el grado de humedad necesario en el compost, podremos prepararlo todo para la siembra.

El compost bien pasteurizado presenta poca actividad de microorganismos y no desprende amoníaco ni malos olores. La estructura debe de ser semejante a la del humus, poco denso y de color pardo oscuro, sin llegar a ser negro.

2.9.2. Pasteurización con bromuro de metilo

Este es un fumigante muy utilizado ya por muchos productores como sustituto del vapor. Debido a que este fumigante es altamente tóxico para los mamíferos cuando es inhalado. Precauciones especiales son requeridas para su utilización. (Chang y Hayes, 1978).

Se ha demostrado que el compost en el que se ha incorporado melaza o sucrosa está libre de amoníaco al inicio del compostaje, comparado con aquel en que no se utilizó sucrosa. Este tipo de compost (o cualquiera libre de amoníaco) puede ser fumigado con bromuro de metilo en lugar del procedimiento normal de pasteurización (Flegg et al., 1985).

2.10. LA SIEMBRA

Según Flegg et al. (1985), después de haber bajado la concentración de amonio a 10-20 mg/g, se deja que la temperatura del baje a 25° C y se inocula con la semilla ("Spawn") de Agaricus bisporus o A. bitorquis. A pesar de que inicialmente algo del nitrógeno haya estado en forma inorgánica, al momento de la siembra la mayoría está en forma orgánica. La relación carbono: nitrógeno (C/N) durante el compostaje hasta el momento de la siembra cae de 30:1 a 15:1, y el pH del compost cuando es aniquilada está en 7.0-7.5. Estos cambios físicos y químicos llevan a declinar las poblaciones previamente establecidas de bacterias termofílicas, actinomicetos y hongos que sobrevivieron la pasteurización.

En cuanto a cómo se realiza prácticamente la siembra, lo primero que se debe establecer es la cantidad de "blanco" (semilla) que se empleará de acuerdo con las siguientes consideraciones:

cuanto más micelio se siembre mayor será la velocidad de invasión y disminuirán las oportunidades para los hongos parásitos que pudieran afectar el cultivo. Por otra parte, el "blanco" resulta un factor de costo que interesa optimizar y en consecuencia se debe llegar a un punto medio y tener en cuenta que, aumentando la cantidad de "blanco," llegará a un punto en el que el acortamiento de los ciclos no compensará el mayor costo.

Una vez establecida la cantidad que se va a emplear, se saca el "blanco" de la cámara frigorífica y se lleva a la sala de cultivo donde se desmenuza. Actuando de esta manera, se da tiempo al hongo para empezar su actividad y las hifas se reparan con rapidez. Todos estos manejos se deben realizar con aperos y materiales esterilizados, sobretodo si han aparecido parásitos en el última cultivo (en este caso, lo más aconsejable es eliminar todos los útiles que no se puedan esterilizar).

Al día siguiente, se reparte un 75-80% de los granos sobre la superficie del compost, teniendo en cuenta que su humedad no debe de ser inferior al 65% ni superior al 68%, en la capa exterior. Si no se da esta condición, se riega con medida, vale más repetir la operación que encharcar el compost.

Tras repartir el "blanco" se mezcla con el compost, con máquinas en las grandes explotaciones, y se iguala la superficie, sembrando el resto de los granos sobre ella. En resumen, la siembra debe facilitar una invasión rápida del compost por el micelio y además de ser uniforme, procurando evitar las infecciones y la falta de humedad (López, 1990).

La primera tarea después de la siembra, consiste en igualar y compactar la superficie del sustrato aniquilada. La finalidad de esto es obtener una capa de sustrato de espesor uniforme para que la aparición de los champiñones sea regular por toda la superficie y evitar la acumulación de gases en ciertos puntos. También es necesario disponer de una superficie plana para poder realizar una buena cobertura. El compactado se realiza con diversos medios, dependiendo del tamaño de la explotación y de su mecanización, pudiendo usarse las manos, planchas de metal o prensas (López, 1990). Luego del compactado se procede a poner una capa de plástico o papel, evitando que toque la superficie del sustrato, con el propósito de mantener la humedad.

2.11. DESARROLLO DEL CULTIVO

El A. bisporus y el A. bitorquis son dos especies muy afines por lo que tienen requerimientos muy similares de un sustrato que les provea sostén y nutrientes para completar su ciclo. Por esta razón el compost utilizado en A. bisporus puede utilizarse en A. bitorquis. Sin embargo, durante el desarrollo del cultivo estas dos especies tienen demandas diferentes, principalmente en temperatura, así como una diferencia en el tiempo en que entran a producción.

2.11.1. Desarrollo del cultivo con A. bisporus:

Después de haber cubierto con el plástico o papel el estante o bandeja, comienza un periodo durante el cual el micelio irá colonizando el sustrato con mayor o menor velocidad dependiendo de las condiciones de la siembra y del cultivo.

Según López (1990), la fase de invasión dura entre 8 y 25 días, siendo las condiciones óptimas: una humedad de 90%, temperaturas de 24-26° C para el compost y de 20-40° C en el aire del local de cultivo durante el crecimiento vegetativo. Para el crecimiento y formación del carpóforo (luego de la cobertura) lo ideal es mantener unos 20° C en el aire y 24 a 26° C en el compost.

Rambelli (1983), también propone una humedad de 90%, pero al inicio del cultivo este aconseja una temperatura de 18-23° C.

Al principio, la actividad del micelio es muy fuerte y la temperatura del sustrato aumenta aproximadamente por una semana, con gran producción de CO₂ por la fuerte respiración del hongo. Por ello es necesario ventilar suficientemente durante las horas del día más adecuadas para mantener la temperatura deseada. La humedad no se debe de mantener regando abundantemente, sino nebulizando agua y mojando paredes y suelo.

A partir del octavo día desde la siembra se comienza a vigilar el compost, buscando los signos que anuncien la necesidad de la cobertura. Cuando llega este momento, en la superficie del compost se ven unas marcas redondeadas y que sobresalen del nivel del sustrato, debido a la actividad del micelio en el interior (López, 1990).

2.11.2. Desarrollo del cultivo con A. bitorquis

Se desarrolla en el mismo compost de A. bisporus a temperaturas bastante elevadas (30° C durante el crecimiento vegetativo y de 23° a 26° C para la formación y crecimiento de los carpóforos), reduciendo los costos de control ambiental, además de la gran ventaja de ser resistente a virus que atacan a los cultivos de champiñón. El crecimiento de este puede ser más lento, los plazos entre oleadas pueden llegar a los 10 días.

Ocurre con frecuencia que es atacado por parásitos del cultivo, no tanto por ser más sensible a ellos sino porque se mantienen a mayor temperatura (López, 1990).

2.12. LA COBERTURA

Cuando el micelio ha colonizado el sustrato, es el momento de provocar la fructificación o la aparición del champiñón, objetivo del cultivo.

El principal factor que propicia esta fructificación es la variación de la relación carbono/nitrógeno en el sustrato. Se ha demostrado que relaciones altas C/N inducen el crecimiento vegetativo, mientras que al ir disminuyendo ésta (por el consumo que realiza el hongo de los nutrientes ricos en carbono, hidratos de carbono principalmente) se llega a un punto en el cual se desencadena la fructificación. Para que se de una buena fructificación también se deben dar otras condiciones. Una de estas condiciones parece ser la asociación de ciertas bacterias o contaminantes, cuyos metabolitos serían coadyuvantes de la aparición de los carpóforos. La humedad debe ser suficiente y la ventilación de los lechos de siembra reducida para mantener una diferencia de concentración importante del CO₂ entre el compost y el ambiente del local. De hecho, antes de la cobertura, el sustrato contiene 5 veces más CO₂ que el aire del ambiente y esta diferencia incluso aumenta después de la cobertura (López, 1990).

También, según Chang y Hayes (1978), la capa de cobertura no se debe considerar como un sustrato que sirve solamente de soporte físico al carpóforo sino como una asociación de éste con una microflora que beneficia la transición de micelio a fruto.

Según López (1990), la cobertura funciona como un reservorio de agua para el crecimiento. Para conseguir esta característica, se mezclan elementos de dos tipos diferentes. Para retener agua, dar volumen y esponjosidad se utiliza turba o, recientemente, materiales sintéticos esponjosos. Para dar consistencia o plásticidad se utilizan arenas, tierras o arcillas. Estos dos componentes se mezclan en diferentes proporciones, siendo muy común 50% de cada uno. El material de cobertura debe tener un pH neutro (6.5-7.5) y es conveniente suplementarlo con un 5-10% de caliza, que actúa como amortiguador de los cambios de pH.

2.12.1. Ejecución de la cobertura

Una vez conseguido el material de cobertura éste se debe tratar con vapor o una solución de formol. Ya disipados los vapores del formol se humedece la tierra, dejándola empapar y escurrir antes de cubrir el compost. Durante este intervalo se retira el papel o plástico que cubría el lecho de cultivo. Sobre éste se depositan 3-5 cm. de tierra de cobertura bien igualada y repartida sobre toda la superficie. No deben de quedar zonas con espesores diferentes porque la fructificación sería desuniforme y se producirían problemas a la recolección (López, 1990).

2.12.2. Cuidados tras la cobertura

El control de la humedad es muy importante ya que las necesidades son elevadas. Para que no se seque, es conveniente regar cada día una cantidad cercana a 1 litro por metro cuadrado. Se debe regar poca cantidad para mantener la porosidad de la cobertura a fin de que permita un intercambio gaseoso del hongo con el medio.

El riego se debe realizar con goteros muy finos a baja presión o vaporizadores. Además se aconseja regar varias veces con poca cantidad.

Tras esperar 2-4 semanas, dependiendo de la temperatura del local, se observan los filamentos del micelio en la superficie, todo el compost y la cobertura están invadidos y va a comenzar la fructificación.

Se remueve ligeramente la cobertura con un rastrillo hecho de clavos de 1 pulgada, lo que tiene como consecuencia un relanzamiento de la actividad del micelio, inducido por la reparación de las hifas y la aireación con su aporte de oxígeno. La ventilación se mantiene para que el nivel de CO₂ en la superficie no sea superior al 10%. Comienza entonces a verse engrosamientos formados por acumulación de filamentos que van aumentando rápidamente de tamaño; son los granos (López, 1990).

Según Chang y Hayes (1978), la concentración de dióxido de carbono debe ser inferior a 0.1% y la humedad relativa sobre 80% si el movimiento del aire sobre la cama es lento y de 90% si el movimiento es vigoroso.

2.13. LA COSECHA

Los granos que aparecen al principio no se deben de regar porque son muy sensibles al agua, pero se debe mantener una humedad relativa de 85-90%. Al alcanzar estos granos 1 cm. de diámetro se pueden empezar a regar varias veces sin encharcar. La cantidad total de agua viene a ser de 1 a 2.5 litros de agua por kilogramo de champiñones que se quieran recolectar en la primera oleada, agua que se reparte entre evaporación y transpiración del hongo.

Pocos días después de la aparición de los granos (4 ó 5 si las condiciones son las requeridas) se podrá iniciar la recolección. La cosecha se mantiene por 3 ó 4 días con gran producción de CO₂, el cual la ventilación debe de remover sin corrientes de aire. Corrientes fuertes de aire causan excesiva transpiración y la aparición de escamas en el hongo.

Al término de estos días comienza la formación de la siguiente oleada. Las oleadas se suceden con una frecuencia que depende de la variedad cultivada y de la temperatura (López, 1990).

Durante este período de cosecha, la temperatura ambiental será inferior que la anterior. El intervalo de 14-18° C es el adecuado. Según Chang y Hayes (1978), el rango de temperatura ideal para *A. bisporus* en esta etapa es de 15-16° C.

El 65-75% de la cosecha total se habrá recogido al final de la tercera oleada. El rendimiento puede llegar a ser, si se siguió una técnica adecuada, de 35 kilogramos de champiñón por metro cuadrado, habiendo utilizado 100 kilogramos de compost de buena calidad por metro cuadrado y cesando el cultivo tras la tercera oleada (López, 1990).

2.14. MULTIPLICACIÓN DE LA SEMILLA

Para la multiplicación de la semilla es necesario obtener un cultivo puro del micelio del hongo o tener semilla ya preparada.

Para el cultivo puro existen varias formulaciones que tratan de servir como medio selectivo para el crecimiento del micelio del champiñón. Algunos de estos medios se encuentran en el mercado preparados en forma de polvo, al cual sólo se le debe añadir agua y corregir el pH si es necesario. Estos medios deben ser tolerantes a altas temperaturas ya que deben pasar por el proceso de esterilización (120° C por 1 ó 2 horas) y no perder nutrientes por la hidrólisis de hidratos de carbono o desnaturalización de factores vitamínicos (López, 1990).

Según Flegg et al. (1985), un medio de cultivo ampliamente utilizado es el extracto de malta agar al 2%.

Se sabe que para realizar la siembra se debe disponer de gran cantidad de "blanco" y en una presentación que resulte manejable y se pueda mezclar homogéneamente. Hoy en día las presentaciones más utilizadas son granos de cereales o gránulos inertes de tipo Vermiculita o Perlita.

Para multiplicar el micelio sobre granos de cereal (trigo, centeno, sorgo...) se cuecen los granos en agua, durante un cuarto de hora con el cuidado de que no revienten. Una vez cocidos se dejan reposar, se escurren y airean hasta que la humedad desciende al 40-50%. Entonces se añaden 3.5 g/Kg de carbonato de calcio para disminuir la acidez, la cual debe estar cercana a pH 7.5. También es necesario añadir 15 g/Kg de yeso, para evitar que los granos se peguen unos con otros.

Sobre la perlita o vermiculita el proceso es el mismo, iniciándose por humedecer el material y añadiéndole una cantidad ligeramente superior de salvado de trigo igualmente humedecido. Por los mismos motivos citados se añaden carbonato de calcio y yeso.

El paso siguiente consiste en introducir los granos en bolsas de plástico, tarros o botellas resistentes al calor y en las cuales se dejará vacío el tercio superior. Estos recipientes se esterilizan y acto seguido se inoculan con un cultivo puro o con otro frasco de semilla, pasando a incubarse a una estufa. Durante la incubación deben agitarse los frascos cada tres o cuatro días, hasta que los granos se vean totalmente recubiertos de micelio con aspecto algodonoso. Estas preparaciones se pueden guardar a una temperatura de 1-2° C durante varias semanas (López, 1990).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN

El ensayo realizado se llevó a cabo en el laboratorio de Microbiología, de la sección de Tecnología de Alimentos y en las instalaciones de producción de hongos de Zona III, ambas secciones del Departamento de Horticultura de la Escuela Agrícola Panamericana, la cual se encuentra en el Valle del Río Yeguaré, a 31 kilómetros al este de Tegucigalpa D.C, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Geográficamente está ubicada a 14 grados latitud Norte y 87 grados longitud Oeste y a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar.

3.2. SEMILLA

La semilla que se utilizó en éste estudio corresponde a la especie A. bitorquis, proveniente de el CENTA, el cual esta ubicado en el Valle de Zapotitán, El Salvador. La presentación de la semilla fue en granos de sorgo, invadidos por el micelio del hongo, en frascos de vidrio de 500 ml. Para su conservación fueron mantenidos a una temperatura de 5° a 7° C.

3.3. PRODUCCIÓN DE SEMILLA

Debido a la poca cantidad de semilla se tuvo la necesidad de propagar la misma con una metodología reportada por López (1990):

1. Se hirvió granos de trigo por 15-20 minutos, evitando que el grano reventara.
2. Se dejó escurrir los granos de trigo.
3. Se dejó aerear por 2 horas, con el fin de alcanzar una humedad de 40-50%.
4. Se agregó según el peso de los granos antes de hervir (en base a peso fresco): 0.5% de CaCO_3 (carbonato de calcio); 0.5% de Ca(OH)_2 (cal apagada) o CaSO_4 (Yeso), y 3% de pulimento de arroz (semolina).
5. Después se mezclaron uniformemente estos ingredientes y se llenaron 6 frascos (de 500 ml.) hasta 2/3 de su capacidad.

6. Se introdujeron a un autoclave por 70 minutos a 121°.
7. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente.
8. Se inoculó la semilla con material vegetativo (cultivo puro).

Para lograr condiciones asépticas, la inoculación se llevó a cabo en un cuarto aislado, habiendo sido fumigado con una solución al 15% de formalina. Toda el área de trabajo durante la inoculación se limpió con alcohol al 70%, así como todo instrumento que lo permitió, se flameó con un mechero de gas.

9. Inmediatamente después de inoculado se cubrió la boca del recipiente con una filmina de parafina, la cual permitió el intercambio gaseoso.

10. Se mantuvo a una temperatura de 25-27°C.

11. Se agitó cada frasco con un intervalo de 3 días.

Se repitió este proceso, utilizando grano de sorgo en vez del trigo.

3.4. CULTIVO PURO

Debido a la necesidad de semilla, se utilizaron diferentes tipos de medios de crecimiento para producir material vegetativo, que servirían luego, como fuente de inóculo. Estos medios fueron: 1) Extracto de malta Agar (EMA) al 2%.

2) Extracto de malta Agar (EMA) al 2% + 1% de glucosa.

3) Agar de papa y dextrosa (PDA) al 2%.

4) Agar de papa y dextrosa (PDA) al 2% + 0.5% de glucosa.

Todos los medios se realizaron con agua destilada. Además a todos éstos se les corrigió el pH con una solución 1N de hidróxido de sodio (Na(OH)), hasta subirlos a 7.0.

Cada medio fue puesto en 6 platos petri y esterilizados en un autoclave a 121° C. por 70 minutos.

Se les dejó enfriar a temperatura ambiente y fueron inoculados con granos invadidos por micelio del hongo (semilla), dejando en cada plato 2 a 3 granos. Se aseguró cada plato Petri con una cinta de parafina, que además de mantener aislado el cultivo, permitió el intercambio gaseoso. Fueron mantenidos a una temperatura de 25-27° C. en una estufa.

La desinfección del cuarto y los materiales utilizados se realizó de la misma manera que en la producción de semilla.

3.5. ELABORACIÓN DEL SUSTRATO

La producción del compost se realizó en las instalaciones de Zona III, sección del Depto. de Horticultura, iniciándose el día 24 de julio de 1,996. El método corto de elaboración de sustrato fue el utilizado.

DIA 1: Bajo un área techada se mezclaron 700 lb. de paja de arroz con 75 lb. de gallinaza (4% de nitrógeno), hasta que se obtuvo una mezcla homogénea. A esta mezcla se le dió una altura de 1.60 metros y 2.0 metros de ancho de base. A esto se añadió 120 galones de agua, 2 lb. de urea y 2 litros de melaza, estos dos últimos disueltos en el agua de riego. La aplicación de urea y melaza se fraccionaron en 4 porciones aproximadamente iguales para realizar una distribución uniforme de estos materiales.

DIA 2: No se realizó ninguna actividad.

DIA 3: Se volteó la mezcla y se intercambiaron la distintas zonas del sustrato. Se procuró en éste y en los sucesivos volteos que las partes de los extremos del montón quedaran en la parte media y viceversa. Se añadió agua para reponer la que se había perdido por evaporación. En el agua que se añadió se mezclaron 1 lb. de urea y 2 litros de melaza, repartiendo estos en 4 fracciones iguales, uniformemente distribuidas.

DIA 4: No se realizó ninguna actividad.

DIA 5: Se volteó de nuevo, agregando agua a las partes que se observaron secas o poco húmedas.

DIA 6: No se realizó ninguna actividad. Se revisó la humedad, que debió estar alrededor de 70%, de una manera empírica: se tomó un puñado de compost y al apretarlo no debía de escurrir, pero si debía humedecer la mano o soltar unas pocas gotas.

DIA 7: Se volteó. Se aplicó un riego ligero mientras ocurría el volteo. Durante el volteo se revisó por cualquier signo de fermentación anaeróbica. Se revisó también la temperatura del compost.

DIA 8: No se realizó ninguna actividad.

DIA 9: Se volteó y aplicó un riego ligero por encima.

DIA 10: No se realizó ninguna actividad.

DIA 11: Se volteó.

DIA 12: Se revisó la temperatura.

DIA 13: Se volteó.

DIA 14: No se realizó ninguna actividad.

DIA 15: No se realizó ninguna actividad.

DIA 16: Se volteó. Durante el volteo se aplicaron 105 lb. de yeso (Sulfato de Calcio o Sal Gypsum), procurando una buena distribución. Se aplicó un riego ligero por encima.

DIA 17: No se realizó ninguna actividad.

DIA 18: Se volteó.

DIA 19: Estuvo lista la mezcla.

Los materiales se muestran en el **anexo 5**.

3.6. ASEPSIA EN LA CÁMARA DE CRECIMIENTO

En la cámara de crecimiento se llevó a cabo la inoculación del sustrato, es por ello que la asepsia fue muy importante en este lugar.

Una semana antes de introducir el sustrato a este cuarto, se desinfectó con una solución de hipoclorito de calcio a 400 partes por millón aplicado a las paredes, techo, piso, y estantes. Dos días después de la desinfección con cloro se aplicó una solución de 20 partes por mil de oxícloruro de cobre, de la misma manera en que se realizó con el cloro.

3.7. INTRODUCCIÓN DEL SUSTRATO A LA CÁMARA DE CRECIMIENTO

El día 19 de la elaboración del sustrato, se encontraba lista la mezcla y se procedió a la introducción de ésta a la cámara de crecimiento, la cual fue previamente desinfectada.

DIA 1: El primer paso fue llenar los estantes con la mezcla. Son tres los estantes y cada uno tiene una dimensión de 1.52 metros de ancho, 0.205 metros de profundidad y 3.06 metros de largo. Después del llenado se procedió a uniformizar la superficie de cada estante, dándole a cada uno la altura de 0.17 metros. Esto se logró en los dos estantes superiores, ya que el compost producido no fue suficiente para llenar el inferior, por lo que se decidió hacer en éste un camellón de 3.06 metros de largo, 0.17 metros de alto y con un ancho en la base de 0.35 metros. En total, se obtuvieron 10.70 m² de superficie con cultivo, siendo el área superficial de la cámara de crecimiento de 12.32 m².

Luego del llenados los estantes se prendió el sistema de ventilación en abierto (entrada de aire fresco), para permitir una buena circulación de aire.

DIA 2: Se mantuvo la ventilación hasta el día 4.

DIA 4: Se cerró el sistema de ventilación (recirculación del aire) y se procedió a la pasteurización. La pasteurización se realizó con vapor, utilizando la caldera perteneciente a la sección de producción de plántulas del Departamento de Horticultura. Este procedimiento tuvo una duración de 6 horas, lo que no fue suficiente para llegar a la temperatura de 60° C por 3 horas que era el objetivo.

DIA 5: De nuevo se colocó en abierto el sistema de ventilación y se abrió la puerta lo cual permitió que se secara el exceso de agua que había dejado el vapor.

DIA 6: Se cerró el sistema de ventilación y se procedió nuevamente al proceso de pasteurización, el cual duró 10 horas. Se alcanzó la temperatura de 60-61° C por 3 horas.

DIA 7: Se mantuvo cerrado el sistema de ventilación para permitir una buena circulación de aire. Se revisó la temperatura.

DIA 8: Se revisó la presencia de amonio en el aire, así como la temperatura del aire y del compost.

DIA 9: La mezcla estaba lista para la siembra.

3.8. LA SIEMBRA

La siembra se realizó cuando la temperatura del compost había descendido a 25° C, lo que ocurrió 3 días después de la pasteurización.

Se utilizaron 2.5 lb. de semilla procedente del CENTA, cuya presentación fue granos de sorgo invadidos por el micelio del hongo. El 80% de la semilla se repartió sobre la superficie del compost, para luego ser mezclada en éste. El 20% restante se repartió sobre la superficie del compost. Luego de la inoculación, se procedió nuevamente a uniformizar y compactar ligeramente la superficie del sustrato, lo cual se realizó con una regla de madera de 30 cm. de largo y 5 cm. de ancho, debidamente desinfectada con cloro.

Al terminar de igualar y compactar la superficie del sustrato se cubrió cada estante con un plástico negro, evitando que éste tuviera contacto directo con el sustrato, además proporcionó un ambiente totalmente oscuro para el crecimiento del micelio.

Especial cuidado requirió la humedad relativa, por lo cual se regaba el piso con agua, además de poner a funcionar un humidificador, con el fin de alcanzar una humedad relativa de 90%.

Debido a un descenso en la temperatura, al tercer día de la siembra se pusieron a funcionar dos bombillos de 250 watts cada uno, con el propósito de elevar la temperatura del ambiente y del compost; estas condiciones junto a la humedad relativa fueron vigiladas diariamente.

Las temperaturas en que se mantuvo esta etapa fueron de 26-27° C para el compost y 28-29° C para el ambiente.

Este ambiente se mantuvo así por 17 días a partir de éste.

3.9. APLICACIÓN DE LA CAPA DE COBERTURA

A los 20 días de la siembra, cuando se observó el crecimiento del micelio sobre el sustrato, se quitó el plástico que cubría cada estante, así como los dos bombillos, y se procedió a la elaboración de la capa de cobertura.

Para la elaboración de la capa de cobertura se utilizaron 100 lb. de musgo y 5 lb. de cal. El musgo se depositó en dos bolsas con 50 lb. cada una y se desinfectaron con vapor a una temperatura de 70° C por 15 minutos. Después de la desinfección se mezcló el musgo con 5 lb. de cal y se humedeció hasta su saturación. Luego, escurriendo ligeramente el musgo, se aplicó una capa uniforme de 5 cm. de altura sobre el sustrato.

El sistema de aire acondicionado se puso en abierto y en la función de enfriamiento, para remover el CO₂ y bajar la temperatura del sustrato a 20° C.

Se mantuvieron riegos ligeros todos los días sobre el musgo, ya que éste por la corriente de aire del sistema de ventilación se secaba. El humedecer el piso del cuarto fue una práctica diaria para mantener alta la humedad del ambiente. El riego se realizó con una bomba de aspersión, evitando el flujo directo de la bomba hacia el musgo y procurando una nebulización.

3.10. COSECHA

A los 22 días de haber efectuado la cobertura (2 de octubre de 1,996.), aparecieron los primeros carpóforos. En este momento se redujo la temperatura del sustrato a 18-19° C, obteniendo una temperatura del ambiente de 22° C.

El riego se manejó de la misma manera, pero a razón de 1 a 2.5 litros por metro cuadrado y en general, tratando de mantener una humedad en el compost de 65 a 68%, que es lo ideal para el hongo.

La cosecha se realizó manualmente. El hongo se tomaba por el "sombbrero" y al mismo tiempo de darle un ligero giro se arrancaba. El criterio de cosecha fue el de esperar a que tuviera el máximo desarrollo sin que se rompiera el velo y quedaran expuestas a la vista las laminillas del himenio.

Después de cosechados fueron llevados a la planta de Poscosecha del Depto. de Horticultura, donde se procedió a limpiarlos y colocarlos en bandejas cubiertas con una filmina plástica. La presentación consistió en 200-250 gramos de champiñones por bandeja. Eran conservados a 4-5° C o despachados al Puesto de Ventas de la Escuela Agrícola Panamericana.

3.11. CONTROL DE ENFERMEDADES E INSECTOS

Para el control de enfermedades se utiliza Benlate a una concentración de 0.5 por mil. La aplicación se realizó con una bomba de aspersión manual a alta presión. Esta aplicación se realizó junto con el riego.

El control de insectos se llevó a cabo con el insecticida comercial en aerosol Baygon de la casa Bayer. La aplicación fue una aspersión rápida sobre el sustrato o en las áreas donde se presentaban daños por los insectos.

3.12. ANÁLISIS ECONÓMICO

3.12.1. Inversiones

El primer paso para realizar el análisis económico, fue hacer un listado de las inversiones y equipos necesarios para la producción de champiñones en éste estudio. La depreciación por año de las inversiones se calculó en base a la vida útil de las instalaciones y equipo que se utiliza. La depreciación, repartida igualmente en cuatro ciclos del cultivo por año, fue introducida como costo de producción de un ciclo de cultivo (**Anexo 3**).

De la misma manera se realizaron proyecciones para la ampliación de las instalaciones de producción de hongos de Zona III, así como para la adaptación de otro cuarto para este propósito (**Anexo 4**).

3.12.2. Costos

El análisis de costos de producción del cultivo en estudio, incluyó para todos los materiales e insumos, su costo unitario, la cantidad, así como el total de cada uno de los materiales usados. En el análisis de costos se tomaron en cuenta, además de las depreciaciones, los costos administrativos, así como un 5% de imprevistos. A los costos del cultivo se sumó el costo de oportunidad del dinero, siendo éste el 30% anual de los costos totales, que es lo que el banco nos pagaría si invirtiéramos nuestro dinero en el. Esto significa, que si no producimos estamos perdiendo al menos el 30% al año del total de nuestra inversión (**Anexo 1**).

Los costos de producción, para la ampliación de los locales, se estimaron en base a la cantidad de materiales e insumos requeridos por el cultivo en estudio, con la variante de utilizar arena, tierra y cal como ingredientes de la capa de cobertura. Se utilizó esta variante en la proyección de costos de la ampliación del área de cultivo, ya que además de que resultan de menor precio, tienen una mayor disponibilidad (**Anexo 2**).

El precio de 1 Dollar al realizar el estudio fue de 12.60 Lempiras.

3.12.3. Utilidades y rentabilidad

Las utilidades fueron obtenidas con la siguiente fórmula:

$$\text{Ventas totales} - \text{Costos totales}$$

La rentabilidad se expresó como porcentaje en base a las utilidades netas y los costos totales, utilizándose para ello la siguiente fórmula:

$$(\text{Utilidades netas} / \text{Costos totales}) * 100$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PRODUCCIÓN DE SEMILLA

No se encontró ninguna diferencia entre el sorgo y el trigo como sustrato para el crecimiento del micelio, presentando ambos granos, un crecimiento rápido y vigoroso del hongo. Se puede atribuir ésto tanto al nivel nutricional de estos cereales, como a la textura y tamaño del grano.

El primer signo visible del crecimiento del micelio sobre los granos ocurrió a las 72 horas de la inoculación, como un crecimiento algodonoso de color blanco.

El crecimiento del micelio se facilitó por el tamaño del grano, lo que hizo fácil la diseminación del hongo entre los granos. Su crecimiento se vio beneficiado también por el proceso de cocción en agua y esterilización en autoclave, la cual dió a éstos, una textura que les facilitó a las hifas su penetración en ellos.

Los granos fueron muy susceptibles a contaminación, presentándose en 23 de los 24 (95%) frascos inoculados, hongos y bacterias. Esto se puede atribuir a que los granos no son un medio selectivo para el crecimiento del micelio, debido a la alta diversidad y calidad de los nutrientes que poseen éstos, así como también, por la falta de equipo que disminuya el riesgo de contaminación.

4.2. PRODUCCIÓN DE CULTIVO PURO

4.2.1. Extracto de malta agar (EMA) al 2%

Presentó un buen crecimiento en 4 de los 6 (66.66%) platos Petri en que se inoculó. Este medio superó a los otros tres ya que el micelio llenó en su totalidad el volumen del plato Petri. Esto se puede atribuir a que el hongo en la fase de micelio tiene un requerimiento mayor de malta, principal componente de éste medio, además se presentó contaminación en 3 de los 6 platos utilizados (50%).

4.2.2. Extracto de malta agar (EMA) al 2% + glucosa al 1%

Se presentó un buen crecimiento en 4 de los 6 platos Petri (66.66%). Esto se puede atribuir a la adición de una fuente de hidratos de carbono fácilmente asimilable como es la glucosa.

Se presentó contaminación en 5 de los 6 platos (83.33%). Este alto grado de contaminación se puede atribuir a que la glucosa, por ser un nutriente básico para la mayoría de microorganismos, no fue un sustrato selectivo para el crecimiento del micelio del champiñón.

4.2.3. Agar de papa y dextrosa (PDA) al 2%

Este fue el peor de los cuatro medios. En éste medio el crecimiento fue pobre y de bajo vigor, presentándose un crecimiento irregular en 4 de los 6 platos Petri inoculados (66.66%).

La contaminación se presentó en 5 de los 6 platos Petri inoculados (83.33%), pero con menor intensidad que el medio de EMA y glucosa.

4.2.4. Agar de papa y dextrosa (PDA) al 2% + glucosa al 0.5%

Este medio tuvo un crecimiento vigoroso y uniforme en 3 de los 6 platos (50%) inoculados, en los cuales el crecimiento del micelio llenó en su totalidad el volumen de los platos. Esto puede deberse a la combinación de carbohidratos complejos y simples como lo son almidones y azúcares.

Se presentó contaminación en 4 de los 6 platos (66.66%) inoculados.

Además de la baja selectividad de los medios, el alto grado de contaminación se puede atribuir a las condiciones en que se realizó la inoculación, las cuales no fueron las óptimas, ya que se careció de el equipo para obtener asepsia total.

4.3. ELABORACIÓN DEL SUSTRATO

El proceso de compostaje inició el 24 de julio de 1,996, y tuvo una duración de 19 días, durante los cuales la mezcla se volteó 8 veces.

El día 7, antes de proceder al tercer volteo, el compost había alcanzado en promedio 63° C en su interior. Esto se debió a un buen establecimiento en el compost de microorganismos descomponedores de la materia orgánica.

Al final del proceso de compostaje, el color de la mezcla fue de pardo oscuro, pudiéndose identificar los materiales que lo componían inicialmente. No se percibieron malos olores, ni zonas que parecieran podridas por descomposición de tipo anaeróbico. El olor a amonio era muy bajo.

4.4. CÁMARA DE CRECIMIENTO Y PASTEURIZACIÓN

Después de llenar los estantes, en total se obtuvieron 10.7 metros cuadrados de cultivo, con un espesor del compost de 17.0 centímetros.

En total, el compost estuvo expuesto a 16 horas de vapor, y se concluyó esta actividad cuando alcanzó una temperatura de 60-61° C por tres horas. Esta prolongada exposición al vapor se debió a que la cámara no es totalmente hermética, ya que se observó fugas de vapor por varias partes del cuarto. Al final de la pasteurización no se percibía olor a amonio en el compost ni en el ambiente.

4.5. CONTENIDO DE NITRÓGENO DEL SUSTRATO

La cantidad de gallinaza suplementada al inicio de la elaboración del sustrato, fue para obtener, en un proceso de compostaje de 14 días, 1.8% de nitrógeno en base a peso seco después de la pasteurización.

El contenido de nitrógeno en el sustrato, en base a peso seco, después de la pasteurización y antes de la siembra fue de 1.18%. La merma en el contenido final de nitrógeno se debió a los 5 días adicionales que pasó el sustrato expuesto a la acción de los microorganismos durante el proceso de compostaje.

4.6. PH DEL SUSTRATO

El pH obtenido después de la pasteurización del sustrato, y antes de la siembra fue de 7.36.

4.7. LA SIEMBRA Y CRECIMIENTO DEL MICELIO

El primer crecimiento del micelio sobre el sustrato se observó a los 9 días de realizada la siembra, pero de manera poco uniforme y en pequeñas áreas; 15 días después de la siembra, un 40% de la superficie del compost estaba invadida, pero de forma irregular, además, mostrándose zonas con crecimiento más vigoroso que otras; a los 19 días se pudo observar que el micelio ya había invadido el 70% de la superficie del sustrato, lo que indicó la necesidad de poner la capa de cobertura.

4.8. LA COBERTURA

La cobertura tuvo un pH final de 8.3. Esto se debió a una sobreaplicación de cal en el musgo.

4.9. SANIDAD

4.9.1. Otros hongos

No se presentó ningún ataque severo de hongos parásitos o competidores (hongos inferiores) en el sustrato o cobertura durante el transcurso del cultivo, como tampoco se observaron daños de virus o bacterias en el hongo. Sólo se observó un ataque muy leve de un moho verde (*Trichoderma* sp.), el cual se presentó en un área pequeña del sustrato (antes de la cobertura). La razón de esto fue que el sustrato se comportó como un medio selectivo para el crecimiento del micelio del champiñón debido a la baja cantidad de hidratos de carbono simples que el proceso de compostaje consumió, además de un adecuado proceso de pasteurizado que recibió el mismo.

Se observó el crecimiento de hongos (superiores) silvestres en el sustrato, pero, aparte de poblar una pequeña área del cultivo, no fueron competencia para el champiñón, ya que el micelio de éste presentó mayor vigor.

4.9.2. Insectos

El único insecto que se observó durante el cultivo, específicamente durante la cosecha, fue el Trips. Este insecto raspaba el hongo, produciendo pequeñas manchas de color pardo, pero el número de estos insectos y el daño producido fue bajo.

4.10. LA COSECHA

Los primeros carpóforos se observaron el 2 de octubre de 1,996, a los 22 días de la aplicación de la capa de cobertura.

Los primeros hongos cosechados fueron de tamaño grande (10 cm. de diámetro del sombrero), reduciendo su tamaño a medida que la cosecha avanzó. Esto se puede atribuir al consumo por el micelio de las sustancias nutritivas del sustrato, ya que en ésta etapa el hongo requiere más energía.

Al inicio la aparición de los hongos fue de manera irregular y en pequeñas cantidades, con una tendencia a uniformizarse y a aumentar la aparición de carpóforos, a medida que la cosecha avanzaba. La irregularidad de las cosechas se debió al tipo de siembra que se utilizó, la cual no permitió una profundidad adecuada, para una germinación uniforme de la semilla. La mala de uniformidad en la aparición de los champiñones también se puede atribuir a que por falta de practica en el cultivo no se pasó en su debido tiempo, el rastrillo por la cobertura.

4.10.1. Rendimiento

El rendimiento obtenido en los 10.7 metros cuadrados de cultivo, a los 35 días de iniciada la cosecha, fue de 5.6 libras/m². Este rendimiento es aproximadamente el 40% de la cosecha total esperada.

4.10.2. Calidad

En general se observó una calidad excelente en la champiñón cosechado. Una muestra de la calidad cosechada se observa en el **anexo 6**, en esta fotografía aparecen los hongos emergiendo de la capa de cobertura.

La calidad tuvo mucha relación con cambios en la temperatura, ya que pequeños incrementos en ésta ocasionaron manchas oscuras en el hongo, así como cabezas totalmente abiertas, las cuales no eran comerciables.

4.11. PERÍODO DE PRODUCCIÓN

El período de producción, desde la elaboración del sustrato, hasta la primera cosecha requirió de 71 días. Estos 71 días podrían acortarse hasta en 10-15 días, ya que por la falta de experiencia en este cultivo se tuvieron retrasos en algunas etapas. El período de cosecha, si las condiciones fueran óptimas, puede tener una duración de 45 días.

4.12. RELACIÓN SUPERFICIE-ÁREA DE CULTIVO

El área superficial de la cámara de crecimiento utilizada para este estudio fue de 12.32 m². El área de cultivo de un estante fue de 4.65 m², de lo que se puede deducir que se obtuvo una eficiencia en el uso del área de 37.75% por estante.

Los dos estantes superiores obtuvieron un área de cultivo de 9.33 m², y el tercero de 1.37 m², dando como resultado un total de 10.7 m² cultivados. Con el uso de los estantes la eficiencia en el uso del área aumentó a un 86.85%, la cual hubiera aumentado a un 113.23%, si se hubieran utilizado en su totalidad los tres estantes. Esto significa que en cada metro cuadrado de superficie se podrían cultivar 1.13 metros cuadrados de champiñones.

En el caso de la ampliación del área de cultivo, se espera obtener un 60% de eficiencia de utilización de la superficie. Esto se puede lograr con un buen diseño y planeación de las instalaciones.

4.13. ANÁLISIS ECONÓMICO

Haciendo una proyección de la cosecha de 14.5 libras por metro cuadrado en el cultivo en estudio, la rentabilidad obtenida después de sustraer los costos fijos y variables es de 19.67%. Esto se debe principalmente a que no se utilizó toda el área de cultivo disponible (**Anexo 1**).

Para la ampliación del área de cultivo, se espera lograr un 116.65% de rentabilidad. Esta rentabilidad aumentará, no sólo por el incremento de la superficie del cultivo, sino también por disminuir el costo por metro cuadrado del mismo, debido al aumento en eficiencia en el uso del espacio (**Anexo 2**). En los costos de producción hay una disminución de aproximadamente 10 Lps. solo por cambiar de musgo y cal, a tierra, arena y cal, como ingredientes de la capa de cobertura.

El material que tubo el mayor costo en la producción del hongo es el yeso. Este material representó el 60% de los costos de producción, entre materiales y mano de obra.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como principal conclusión de este estudio se encontró que es posible la producción de champiñones en las condiciones del Valle del Zamorano.

La sanidad durante el cultivo fue excelente, lo que estuvo asociado a un buen proceso de pasteurización, así como de medidas sanitarias preventivas. El ataque de insectos fue mínimo y no significativo económicamente, por lo que no se consideró un factor determinante en la producción del hongo en estas condiciones, aunque se recomienda poner en el sistema de ventilación que disminuyan aún más el ingreso de insectos.

La especie que se utilizó presentó buen vigor y resistencia a enfermedades, ya que no se observó en ningún momento que sufriera del ataque de hongos parásitos, virus o bacterias. La calidad del hongo fue muy buena, observándose una relación de esta con la temperatura y humedad relativa.

En lo referente a la producción de semilla, los granos de trigo o sorgo funcionaron muy bien como sustratos, siendo determinante tener instalaciones adecuadas, así como de personal capacitado para llevar a cabo la multiplicación del micelio de una manera aséptica.

De la misma manera, el extracto de malta agar fue un buen medio de cultivo para el crecimiento del micelio, pero la falta de equipo y experiencia dificultaron obtener material que sirviera de inóculo.

Se logró identificar los factores críticos para tener éxito en el cultivo del champiñón, estos son: producción de un buen sustrato, realizar una adecuada pasteurización, usar semilla sana y fresca, llevar un riguroso control de la temperatura y humedad relativa y tener un buen sistema de ventilación.

En lo referente al aspecto económico, el champiñón tiene un gran potencial, ya que con un manejo adecuado la rentabilidad de este cultivo puede llegar a ser alta.

Se recomienda seguir investigando sobre este cultivo en Zamorano, así como aumentar el área de cultivo existente para tener una producción continua durante el año. También se recomienda adquirir el equipo y material necesario para para la producción de semilla de buena calidad y entrenar a una persona en esta tecnología.

VI. RESUMEN

Como todo cultivo, el champiñón, (*Agaricus bitorquis* (Quélet.) Sacc.), tiene su origen en un hábitat natural que le permite completar su ciclo de vida. Los elementos que mejor definen a este hábitat son la temperatura y humedad relativa. Estos factores requieren especial cuidado y atención ya que los mejores rendimientos se obtienen dentro de márgenes estrechos de temperatura y humedad. Este estudio tiene el objetivo de producir champiñones bajo las condiciones del Valle del Zamorano. Estas condiciones son lo opuesto a las requeridas por el hongo, alta temperatura y baja humedad relativa, por lo que proporcionarle un ambiente adecuado es lo más importante en esta localidad.

Se elaboró un sustrato, materia orgánica parcialmente descompuesta, a través de un método de compostaje, el cual es altamente aeróbico y termofílico. Este le proporcionó al micelio del hongo un medio selectivo para su crecimiento y desarrollo, el cual le permitió completar su ciclo de vida. El sustrato base fue paja de arroz y además fue suplementado con gallinaza y yeso para obtener las características físicas y químicas ideales para el desarrollo óptimo del cultivo. Para hacer de este cultivo una actividad rentable fue indispensable realizar la pasteurización del sustrato, la cual probó ser muy eficiente y confiable, ya que no se observaron daños por hongos patógenos o parásitos en el hongo ni en el sustrato.

A los 20 días de la siembra se realizó la aplicación de la capa de cobertura, que consistió en poner un mantillo de 5 cm. de espesor de musgo con un 5% de cal sobre el sustrato, el cual tubo la función de propiciar la fructificación al modificar la concentración de CO₂.

A los 22 días de la aplicación de la capa de cobertura aparecieron los primeros carpóforos. En ese momento se redujo la temperatura del sustrato de 25°C a 18°C, lo cual tuvo un buen efecto en la calidad del hongo cosechado. En total el cultivo tuvo una duración hasta la primera cosecha de 71 días.

El rendimiento hasta el día 35 de la cosecha fue de 6.6 libras por metro cuadrado. Este rendimiento se consideró como un 40% de lo esperado.

Para la producción de semilla se utilizaron granos de sorgo y trigo. Para la evaluación de estos granos como sustrato para semilla se realizó una observación comparativa, en la cual no se encontró diferencia alguna en el vigor y velocidad de desarrollo del micelio, siendo ambas de muy buena calidad. Las inoculaciones podrían haber tenido más éxito si se hubieran contado con las instalaciones adecuadas para realizar los trasplantes de manera aséptica.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ALEXOPOULOS, C.P.; MINS, C.W. 1979. Introductory mycology. 3 ed. New York, E.U.A., John Wiley & Sons. 632 p.
- CHANG, S.T.; HAYES, W.A. 1978. The biology and cultivation of edible mushrooms. Nueva York, E.U.A., Academic Press. p. 131-335
- FLEGG, P.B.; SPENCER, D.M.; WOOD, D.A. 1985. The biology and technology of the cultivated mushroom. Littlehampton, U.K, John Wiley & Sons. p. 29-231
- LOPEZ CONTINI, E. 1990. Cultivo del champiñón, la trufa, y otros hongos. España, Editorial Aedos. 132 p.
- RAMBELLI, A. 1983. Manual on mushroom cultivation. Roma, Italia, FAO. 65 p.

VIII. ANEXOS

BALANCE DE INGRESOS EGRESOS			ANEXO I.	
Para 10.70 metros cuadrados de cultivo				
INGRESOS	Unidad	Cantidad	Precio Lempiras	Total Lempiras
Ventas (Rdto. 14.5lb/m ²)	Libra	155.00	25.00	3,875.00
Subproductos	Libra	280.00	0.05	14.00
I Subtotal				3,889.00
EGRESOS	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Materiales:				
Paja de arroz	libra	700.00	0.05	35.00
Gallinaza	libra	75.00	0.05	3.75
Yesso	libra	105.00	12.60	1,323.00
Urea	libra	3.00	1.45	4.35
Melaza	litro	3.00	1.20	3.60
Semilla	libra	3.50	80.00	280.00
Cloro	libra	0.40	15.51	6.20
Oxícloruro de Cobre	gramo	250.00	0.03	7.50
Renta de la Caldera	hora	12.00	1.00	12.00
Kerosene	galon	13.00	16.55	215.15
Energia electrica:				
antes de la siembra	kilowat/hr	30.00	0.80	24.00
despues de la siembra	kilowat/hr	159.00	0.80	127.20
Cobertura:				
musgo	libra	40.00	3.40	136.00
cal	libra	5.00	0.40	2.00
Mano de obra:				
compostaje	hora	14.00	2.86	40.04
introducirlo	hora	6.00	2.86	17.16
siembra	hora	4.00	2.86	11.44
cobertura	hora	5.00	2.86	14.30
cosecha	hora	6.00	2.86	17.16
riego	hora	3.00	2.86	8.58
limpieza del local	hora	2.00	2.86	5.72
Costos de producción	Metro Cuad	10.70	214.41	2,294.19
Costo de administración				114.71
(5% de costos de produccion.)				
Imprevistos				154.75
(5% de costos de produccion.)				
Depreciaciones				470.21
Costo de oportunidad del dinero				215.93
(30% anual por tres meses.)				
II Subtotal				3,249.79
III Utilidades I - II				639.21
IV Rentabilidad III/II				19.67

BALANCE DE INGRESOS EGRESOS

ANEXO 2.

Para 65.7 metros cuadrados de cultivo

INGRESOS	Unidad	Cantidad	Precio	Total
			Lempiras	Lempiras
Ventas (Rdto. de 20lb/m2)	Libra	1,315.00	25.00	32,875.00
Subproductos	Libra	1,075.00	0.05	53.75
I Subtotal				32,928.8
EGRESOS	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Materiales:				
Paja de arroz	libra	4,301.40	0.05	215.07
Gallinaza	libra	460.00	0.05	23.00
Yeso	libra	645.20	12.60	8,129.52
Urea	libra	18.43	1.45	26.72
Melaza	litro	18.43	1.20	22.12
Semilla	libra	21.50	80.00	1,720.00
Cloro	libra	1.20	15.51	18.61
Oxicloruro de Cobre	gramo	550.00	0.03	16.50
Renta de la Caldera	hora	28.00	1.00	28.00
Kerosene	galon	30.00	16.55	496.50
Energia electrica:				
antes de la siembra	kilowat/hr	60.00	0.80	48.00
despues de la siembra	kilowat/hr	340.00	0.80	272.00
Cobertura:				
arena	metro cub	1.69	80.00	135.20
tierra	metro cub	1.69	80.00	135.20
cal	libra	66.00	0.40	26.40
Mano de obra:				
compostaje	hora	90.00	2.86	257.40
introducirlo	hora	36.84	2.86	105.36
siembra	hora	24.56	2.86	70.24
cobertura	hora	30.70	2.86	87.80
cosecha	hora	36.84	2.86	105.36
riego	hora	18.42	2.86	52.68
limpieza del local	hora	18.00	2.86	51.48
Costos de producción	Metro Cuad.	65.75	183.17	12,043.4
Costos de administración				602.17
(5% de costos de produccion.)				
Imprevistos				723.78
(5% de costos de produccion.)				
Depreciaciones				820.07
Costo de oportunidad del dinero				1,009.92
(30% anual por tres meses.)				
II Subtotal				15,199.4
III Utilidades I - II				17,729.4
IV Rentabilidad III/II				116.65

PRODUCCION DE CHAMPIÑONES		ANEXO 3.		
Plan de inversiones para 10.7 metros cuadrados de cultivo				
CONCEPTO	Precio	Vida	Valor de	Depreciacion
	Inicial Lps.	Util	Rescate	Anual Lps.
Construcciones:				
-Cámara 1	23,285.00	30.00	0.00	776.17
Equipo:				
-Bomba asper(15lt.)	2,200.00	8.00	0.00	275.00
-Aire acondicionado(1)	2,268.00	10.00	0.00	226.80
-Estantes:				
-Cámara 1	900.00	7.00	0.00	128.57
-Termómetro(2)	500.00	5.00	0.00	100.00
-Carretilla(2)	950.00	7.00	150.00	114.29
-Trinches(2)	400.00	7.00	50.00	50.00
-Plástico(10 m2)	68.00	1.00	0.00	135.00
-Cubetas(4)	150.00	2.00	0.00	75.00
TOTAL POR AÑO				1,880.82
TOTAL POR CICLO				470.21

PRODUCCION DE CHAMPIÑONES		ANEXO 4.	
Estimado de inversiones para 65.7 metros cuadrados de cultivo			
CONCEPTO	Precio	Vida	Valor de
	Inicial Lps.	Util	Rescate
			Depreciacion
			Anual Lps.
Construcciones:			
-Cámara 1(17.08 m2)	32,000.00	30.00	0.00
-Cámara 2(19.47 m2)	13,000.00	15.00	0.00
			1,066.67
			866.67
Equipo:			
-Aire acondicionado(2)	4,536.00	10.00	0.00
-Estantes:			
-Cámara 1	900.00	7.00	0.00
-Cámara 2	1,100.00	7.00	0.00
-Termómetro(2)	500.00	5.00	0.00
-Sistema de riego:			
-Camara 1	1,000.00	15.00	0.00
-Camara 2	1,000.00	15.00	0.00
-Carretilla(2)	950.00	7.00	150.00
-Trinches(2)	400.00	7.00	50.00
-Plástico(20m2)	135.00	1.00	0.00
-Cubetas(4)	150.00	2.00	0.00
			66.67
			66.67
			114.29
			50.00
			135.00
			75.00
TOTAL POR AÑO			3,280.27
TOTAL POR CICLO			820.06



ANEXO 5 Materiales utilizados en la elaboración del compost



ANEXO 6. Calidad del champiñón al momento de la cosecha