

**EFEECTO DE DIFERENTES MEDIOS DE
CRECIMIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO
EN EL CULTIVO DE CHAMPIÑONES
(*Agaricus bitorquis* (Quelet) Sacc.)**

Enrique Duarte Barillas

ZAMORANO
Departamento de Horticultura

Junio, 1998

**EFEECTO DE DIFERENTES MEDIOS DE
CRECIMIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO
EN EL CULTIVO DE CHAMPIÑONES
(*Agaricus bitorquis* (Quelet) Sacc.)**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

presentado por

Enrique Duarte Barillas

Zamorano-Honduras

Junio, 1998

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Enrique Duarte Barillas

Zamorano-Honduras
Junio, 1998

**EFEECTO DE DIFERENTES MEDIOS DE CRECIMIENTO SOBRE
EL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE CHAMPIÑONES
(*Agaricus bitorquis* (Quelet) Sacc.)**

presentado por

Enrique Duarte Barillas

Aprobada:

Alfredo Montes, Ph.D.
Asesor Principal

Alfredo Montes, Ph.D.
Jefe de Departamento

Raúl Pinel, Ing. Agr.
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano Académico

Roque Barrientos, M.B.A.
Asesor

Keith Andrews, Ph. D.
Director

Odilo Duarte, Ph. D.
Coordinador PIA

DEDICATORIA

A mi madre, Vilma de Duarte

A mi abuelos, Ramón Barillas y Judith de Barillas

A mis hermanos: Teresita, Ramón y Marcos

A Sara Durán

A toda mi familia

A mi Alma Mater, la Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano”

A mi país Guatemala

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional.

A Sara Durán por su cariño y apoyo en todo este tiempo.

A Aldo Sinnibaldi, Sra. María Ester de Solares, Lic. Estela Castillo por su colaboración y aportes al desarrollo de esta investigación.

A las familias Durán y Gallozzi por todas sus atenciones.

A mis asesores, en especial al Dr. Montes y a Raúl por su apoyo y dedicación al presente trabajo.

A mis amigos del PIA: Alvaro Pérez, Aristides Escobar, Lex Sandoval, Sergio Leal, Juan Peñaherrera, Fidel Méndez, Anabell Payés, Julio Hassing, Oscar García, Jack Camino, Edison Jeréz, Marco Haro, Alex Avilés, Edgar Freire, Miguel Fajardo, Elbin Ramírez, Juan Pagán, René Barrientos, Alfredo del Pino, Rubén Gallozzi, Guillermo Toruño, Juan Olaechea, Carlos Bravo, Emmerson Salazar y Roderico Méndez.

A Doña Nolvia Ramos por su ayuda.

Al Departamento de Horticultura.

RESUMEN

Duarte Barillas, Enrique 1998. Efecto de diferentes medios de crecimiento sobre el rendimiento en el cultivo de champiñones (*Agaricus bitorquis* (Quelet) Sacc.). Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, El Zamorano, Honduras 50 p.

Actualmente el champiñón (*Agaricus sp.*) es el hongo más cultivado en el mundo. Su cultivo es una rama bien establecida y de gran competencia a nivel internacional. La presente investigación se realizó en el Departamento de Horticultura de la Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano” y tuvo como objetivo valorar diferentes formulaciones del medio de crecimiento con el fin de obtener el máximo rendimiento. Se tomaron como variables diferentes materiales celulósicos; paja de arroz, heno de pasto estrella y casulla de arroz; yeso o carbonato de calcio; melaza; y gallinaza y urea como suplemento nitrogenado. Los medios se suplementaron con gallinaza y/o urea para llevarlos a 1.5% de nitrógeno al inicio del compostaje. Se realizó un compostaje por 19 días, posteriormente fueron pasteurizados con vapor en la cámara de cultivo por tres horas a 60 °C y se le dió un acondicionamiento de 48 horas. Se sembró una libra de semilla por m². A los 14 días se colocó una capa de cobertura de 2.5 cm de espesor, la cual estuvo constituida por musgo esfanguíneo y cal. La cosecha se inició a los 44 días después de la siembra y se obtuvo un rendimiento máximo de 3.79 kg/m². El factor más importante para inducir la cosecha fue la ventilación. Se presentó una correlación directa e intensa entre el porcentaje de nitrógeno contra el costo ($r = 0.829$, $p = 0.0001$) y el rendimiento ($r = 0.656$, $p = 0.0009$). La variación entre los rendimientos se debieron a los tratamientos ($p = 0.004$). Mediante un análisis de contrastes se logró determinar que los mejores resultados se obtuvieron utilizando paja de arroz como ingrediente básico ($p = 0.01$) y no se observaron diferencias significativas entre el uso de yeso o carbonato de calcio, el uso o no de melaza; ni entre utilizar gallinaza como complemento nitrogenado o sólo utilizar urea.

Palabras clave: compost, hongos comestibles, medio de crecimiento, rendimiento.

PRODUCCION DE CHAMPIÑONES EN ZAMORANO

Los champiñones o mejor conocidos como hongos, constituyen un cultivo que poco a poco va teniendo mayor auge dentro de la población y se ven ya no sólo en las pizzas sino acompañando otro tipo de comidas, como ensaladas, carnes, etc. Este cultivo a nivel internacional tiene gran competencia y se vuelve cada vez más popular por su exquisito sabor, su alto valor nutricional (30% de proteína) y por las propiedades terapéuticas que se le atribuyen. Sin embargo, en Honduras es poco o nada lo que se conoce sobre ellos.

En este cultivo se necesita controlar tres factores para poder obtener cosechas exitosas, estos factores son: temperatura, humedad y circulación de aire fresco. Se puede realizar en cuartos o bodegas que se encuentren, bien en desuso o construir instalaciones nuevas para ese uso en particular ya que se necesitan cuartos cerrados y acondicionados para poder manejar los tres aspectos antes mencionados.

En la Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano” se hicieron unos ensayos con diferentes fórmulas para el crecimiento de los hongos y así poder determinar cual es el mejor para este cultivo. Los materiales que se usaron fueron la paja de arroz, el heno de pasto estrella y la casulla de arroz como materiales base en la elaboración de lo que se conoce como “medio de crecimiento”. Como podemos observar, son subproductos de la agricultura que de otra manera son subutilizados o desechados y con este cultivo se les está dando una utilidad.

Además de los subproductos agrícolas se probaron diferentes combinaciones y cantidades de: yeso, carbonato de calcio, melaza, gallinaza y urea.

Todos estos componentes se mezclaron en diferentes cantidades para obtener varios tipos de medios y se fueron revolviendo de igual manera hasta formar mezclas homogéneas llamadas compost. Estos estuvieron listos a los 19 días, después de voltearlos cada 3 días. Luego de cumplido este tiempo, se metieron a los cuartos para colocarlos en unos cajones de madera y se desinfectaron con vapor a 60 °C por tres horas.

Para la siembra se utilizó una libra de semilla por m². A los 14 días se colocó una capa de musgo esfanguíneo para que se iniciara la cosecha. A los 44 días después de la siembra se cosecharon, obteniendo un rendimiento máximo de 3.79 kg/m².

En base a la experiencia ganada en este ensayo se recomienda usar como medio la paja de arroz porque dio los mejores resultados, además se insta a los productores a realizar este tipo de pruebas como alternativa de producción.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
...	
Resumen.....	vi
Nota de prensa.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 Clasificación.....	2
2.2 Morfología, anatomía y reproducción.....	2
2.3 Necesidades nutritivas.....	3
2.4 Valor nutritivo.....	4
2.5 Instalaciones.....	4
2.6 El cultivo.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Localización y duración.....	18
3.2 Instalaciones.....	18
3.3 Producción de cultivo puro y semilla.....	18
3.4 Tratamientos y diseño experimental.....	19
3.5 Preparación del compost.....	20
3.6 Pasteurización.....	20

3.7	Siembra.....	21
3.8	Cobertura.....	21
3.9	Cosecha.....	22
3.10	Control de plagas.....	22
3.11	Análisis de resultados.....	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	23
4.1	Producción de cultivo puro y semilla.....	23
4.2	Preparación del compost.....	23
4.3	Pasteurización.....	24
4.4	Siembra.....	27
4.5	Cobertura.....	27
4.6	Cosecha.....	28
4.7	Análisis de resultados.....	29
5.	CONCLUSIONES	33
6.	RECOMENDACIONES	34
7.	BIBLIOGRAFIA	35
8.	ANEXOS	37

1. INTRODUCCION

Actualmente el champiñón (*Agaricus sp.*) es el hongo comestible más cultivado en el mundo, seguido por el shiitake (*Lentinula edodes*). En 1990 la producción mundial de champiñón fue de 1,200,000 TM lo que corresponde a 56.2% del mercado mundial de hongos comestibles (Quimio *et al.*, 1990).

El cultivo del champiñón es una rama bien establecida y de gran competencia a nivel internacional. Para obtener cosechas exitosas se necesita controlar el ambiente: temperatura, humedad y la circulación de aire fresco. Puede ser cultivado todo el año en cualquier clima si se le dan las condiciones necesarias. Uno de los limitantes en los países tropicales es el costo relativamente alto de la refrigeración artificial (Lambert, 1972).

El champiñón, como todo hongo, carece de clorofila, por lo cual obtiene su alimento absorbiendo compuestos inorgánicos y orgánicos de los substratos donde se desarrolla (Chang y Miles, 1989). La mayoría de los nutrientes son obtenidos de la lignina, celulosa, hemicelulosa y proteína, por lo que se desarrolla en substratos que son principalmente desechos o subproductos de la agricultura, tales como rastrojos de cereales, etc., los cuales de otra forma serían desechados o subutilizados.

El medio de crecimiento ideal para su cultivo está formado por paja de trigo, la que da una buena estructura y crea una buena aireación, y estiércol de caballo, el cual posee los microorganismos especializados para una descomposición adecuada. Ambas fuentes son escasas y difíciles de conseguir en el trópico, por lo que se hace uso de substratos artificiales, basados en rastrojos de cereales.

La presente investigación tuvo por objetivo valorar diferentes formulaciones para el medio de crecimiento que ofrezcan el máximo rendimiento, tomando como variables diferentes materiales celulósicos; el uso de yeso y carbonato de calcio como regulador de pH y fuente de calcio; gallinaza y urea como suplementos nitrogenados; y melaza como suplemento de carbohidratos.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 CLASIFICACION

El champiñón pertenece al reino Mycetozoa, división Amastigomycota, subdivisión Basidiomycota, clase Basidiomycetes, subclase Holobasidiomycetidae, orden Agaricales. En el orden Agaricales se encuentran los hongos que son de mayor tamaño, muchos de ellos comestibles (Alexopoulos & Mins, 1979).

Se conocen tres especies a las que se le da el nombre de champiñón, Agaricus bisporus (Lange) Imbach, Agaricus bitorquis (Quelet) Sacc. y Agaricus subrufescens Peck. Según López (1990), la característica que hace diferentes a estas especies son los carpóforos o frutos, además de tener diferentes requerimientos climáticos, aunque el substrato sobre el cual se desarrollan sea el mismo.

El A. bisporus requiere de temperaturas de 24-25 °C en la etapa de crecimiento, y de 18-21 °C en la etapa de fructificación. El A. bitorquis se desarrolla en temperaturas de 29-30 °C en la etapa de crecimiento y de 25° C en la fructificación, necesita concentraciones de CO₂ más altas que el anterior y es resistente a ciertos virus que atacan al anterior. Sus carpóforos son más grandes y robustos pero presentan un crecimiento más lento y las oleadas son más distanciadas. Además, los champiñones próximos a cosechar se pueden abrir rápidamente, bajando su calidad. Esta especie ha permitido el cultivo en lugares de clima relativamente cálido y en los meses veraniegos, aún sin disponer de mecanismos para control del clima. El A. subrufescens es el menos cultivado. Es el más grande y llega a medir hasta 20 cm de diámetro (Pacioni, 1987; Sobrino & Sobrino, 1994).

El Agaricus bisporus es también conocido como: Psalliota bispora Lange/Moll & Schaef, Psalliota hortensis Cooke/Lange y Agaricus brunnescens Peck. El Agaricus bitorquis posee los siguientes sinónimos: Agaricus edulis Vitt/Moll & Schaef y Agaricus rodmanii Peck (Pacioni, 1987).

2.2 MORFOLOGIA, ANATOMIA Y REPRODUCCION

Se designa como champiñón a la parte reproductora visible y carnosa que se desarrolla por encima del suelo. Su parte vegetativa esta formada por una red de finísimos filamentos llamados hifas, los cuales al entrelazarse de una forma no muy tupida dan origen al micelio. Cuando las hifas se entrelazan en forma compacta dan origen al carpóforo (Vedder, 1996).

Los órganos reproductores del hongo se encuentran situados sobre estructuras conocidas como cuerpos fructíferos, carpóforos o esporocarpos. Estos producen las esporas, las cuales al estar en contacto con el substrato adecuado germinan produciendo una hifa, la cual dará origen al micelio (Pacioni, 1987). Según Kinrus (1976), un hongo produce alrededor de 60 billones de esporas, de las cuales en la naturaleza, sólo una de un billón sobrevive.

El carpóforo desarrollado se compone de dos partes: el pie (estípite) y el sombrero (pileo). El pie está constituido por un conjunto de filamentos micelianos apretados, generalmente es cilíndrico y de longitud variable. El velo es una especie de membrana que une el sombrero con el pie y que recubre el himenium, el cual se desgarrará durante su desarrollo y libera las esporas. El sombrero es el órgano protector del himenium. Es de textura parecida a la del pie. Es globuloso antes de la madurez y se extiende después de la ruptura del velo para pasar a ser ligeramente cóncavo por el levantamiento de los bordes (Rigau, 1985; Deacon, 1990).

2.3 NECESIDADES NUTRITIVAS

Los hongos se encuentran desprovistos de clorofila por lo que son incapaces de utilizar dióxido de carbono, iones minerales y agua para la fotosíntesis. Son heterótrofos y obtienen sus nutrientes absorbiendo materia orgánica e inorgánica soluble de substratos. El organismo vegetativo (micelio) debe tener a su disposición materias orgánicas que se encuentren debidamente degradadas para que puedan ser asimiladas como se presentan o segregando enzimas. Las fuentes de carbono proveen lo necesario para formar compuestos orgánicos y energía para los procesos anabólicos. El nitrógeno es necesario para formar aminoácidos, proteínas y enzimas. Las necesidades de nitrógeno quedan cubiertas por las proteínas y aminoácidos que resultan de la degradación química y biológica del sustrato (Chang & Miles, 1989; Moll, 1986).

Los alimentos carbonados más útiles para el micelio son las hemicelulosas, las celulosas, la lignina y determinados azúcares. Según Rigau (1985), las ligninas representan el alimento por excelencia. Estos se encuentran en cantidades abundantes en el estiércol de caballo y la paja de los establos, enriquecido con nitrógeno que proviene de la orina de caballo. Cuando el contenido de nitrógeno es inferior al requerido, es necesario suplementarlo con la incorporación de abonos nitrogenados. Estos suplementos no son asimilados en forma directa, sino que deben ser transformados en proteínas y aminoácidos por medio del proceso de fermentación llamado compostaje (Moll, 1986). No soporta las sales amoniacales más que en concentraciones muy débiles y no asimila los nitratos (Vedder, 1996).

Requiere además elementos mayores y menores. Entre los elementos mayores se encuentra el potasio, fósforo, calcio, magnesio y azufre, los que generalmente no necesitan ser suplementados, ya que la paja de los cereales posee una buena cantidad. El calcio juega un papel muy importante para el crecimiento del micelio así como para

la fructificación (Moll, 1986). El calcio ocupa un lugar especial, ya que es necesario para neutralizar el ácido oxálico segregado por el micelio, sino, el medio se acidificaría con mucha rapidéz (Vedder, 1996).

Los elementos menores son indispensables y operan en cantidades mínimas. Son suficientes las cantidades existentes en la materia prima y no es necesario suplementarlo. Los principales son cobre, hierro, molibdeno, manganeso, yodo, boro y bromo (Moll, 1986).

El champiñón absorbe O₂ y libera CO₂. Otros productos volátiles expulsados son: etileno, acetona, alcohol etílico y acetato de etilo. El champiñón presenta un antagonismo acentuado para ciertos microorganismos. Los competidores no se podrán desarrollar fácilmente sobre un medio nutritivo bien invadido por el micelio del champiñón (Vedder, 1996).

2.4 VALOR NUTRITIVO

El mayor interés en el valor nutritivo es la calidad y cantidad de proteína que poseen. La composición proximal del champiñón es: 84.4% de agua y en % de materia seca: 30% de proteína (digerible en un 80%), 4.9% de grasa cruda, 9.2% de fibra cruda y 8.5% de cenizas (Chang & Miles, 1989; Chang, 1991).

La proteína de los hongos contiene todos los aminoácidos esenciales que el hombre necesita para su nutrición. El contenido es similar al de la carne, pero inferior en isoleucina, leucina, lisina e histidina (Sánchez, 1994). Cuenta además, con vitamina B1, rivo flavina, vitamina B6, vitamina C, nicotinamina y provitamina D. Entre los elementos minerales hay presencia de calcio, hierro, fósforo, cobalto, magnesio y potasio (Francis, 1983).

2.5 INSTALACIONES

La fase de preparación del compost debe ser realizada en un lugar bajo techo, con piso de hormigón preferiblemente.

Las fases siguientes se pueden realizar en minas, cuevas o en locales debidamente adaptados. El clima de Honduras no es apropiado para el cultivo al aire libre, por lo que para lograr buenos rendimientos es necesario hacerlo en locales. Estos locales cerrados y acondicionados deben permitir regular la temperatura, humedad y ventilación. Los locales pueden ser edificios ya existentes debidamente adaptados. Las paredes deben estar construidas con aislantes térmicos o de materiales muy gruesos. Se utilizan bandejas de madera o metal. Es necesario contar con aire acondicionado y humidificadores para mantener al óptimo el medio ambiente (Sims & Howard, 1972; Lambert, 1972; Moll, 1986).

2.6 EL CULTIVO

El medio en el cual se desarrolla y fructifica el micelio del hongo se compone esencialmente de tres partes: el sustrato o compost, una capa de materia inerte o cobertura y una atmósfera circundante.

El cultivo de champiñones consta de las siguientes fases:

- 1. Aislamiento de cultivo puro y producción del inóculo*
- 2. Producción de compost*
- 3. Pasteurización*
- 4. Inoculación y colonización del sustrato*
- 5. Aplicación de cobertura*
- 6. Producción de cuerpos fructíferos*
- 7. Cosecha*

2.6.1 AISLAMIENTO CULTIVO PURO Y PRODUCCION DE INÓCULO

El cultivo de un hongo puede efectuarse a partir de micelio y esporas. Las esporas del Agaricus son de origen sexual, por lo que presentan gran variabilidad. Para el cultivo del hongo es fundamental disponer de cepas con caracteres constantes, por lo que este procedimiento no es muy utilizado. Por lo tanto, es más utilizado el micelio, pudiendo ser obtenido de laboratorios especializados en los EE.UU. (Pacioni,1987).

Los medios más utilizados para el aislamiento y mantenimiento del micelio están constituidos por soluciones de extractos vegetales, adicionados con sustancias nutritivas. Debe ser solidificado mediante el agar-agar. Pacioni (1987) reporta buenos resultados con los siguientes medios: PDA (Papa-dextrosa-agar), MEA (Extracto de malta-agar) y MPGA (Malta-peptona-agar). Se puede añadir sulfato de gentamicina para prevenir el desarrollo bacteriano. El pH debe estar lo más cerca a la neutralidad, pudiéndose ajustar con ácido clorhídrico o hidróxido de sodio. El medio de cultivo se distribuye en platos Petri o tubos de ensayo, los cuales se tapan con algodón y sonrecubiertos de papel aluminio. Luego son llevados a la esterilización.

Una vez que el medio alcance la temperatura ambiente, se coloca un fragmento de micelio en el medio y se deja incubar a 24 °C. El micelio del hongo deberá colonizar el medio, irradiándose circularmente a partir del inóculo. Debe ser blanquecino, de aspecto algodonoso y blando. Este micelio se conserva a 4 °C en un refrigerador (Pacioni, 1987).

El inóculo corresponde a un extracto de semillas de cereales esterilizadas, llamado comúnmente semilla, blanco o spawn, en donde se desarrollan las colonias del champiñón. Las semillas una vez que son recubiertas por el micelio, constituyen otros puntos de partida de crecimiento, los cuales se dispersarán en el sustrato final (Pacioni, 1987).

Se utilizan semillas de diferentes especies de cereales. Se prefiere utilizar, en orden decreciente, el centeno, el trigo, el sorgo y la cebada. Los granos de arroz tienden a formar amasijos compactos; y el mijo, una vez que se han formado las colonias de micelios, resulta muy difícil separar en unidades singulares (Pacioni, 1987). Rigau (1985) propone usar compost bien fermentado y esterilizado, el cual toma entre 2 a 3 meses para poderse utilizar.

Los granos son colocados en frascos de vidrio. Pacioni (1987) reporta que los granos deben ser colocados en el frasco sin sobrepasar 1/3 de su capacidad, agregándole 180 ml de agua por cada 250 gr de grano. El contenido de agua es muy importante, si es excesivamente seco el micelio tiene dificultades para su desarrollo, mientras que si es muy húmedo se le agrega al mismo inconveniente la ruptura de las semillas, liberándose los almidones, formándose un engrudo que une los granos entre sí y favoreciendo el desarrollo de bacterias. La humedad final debe estar en 50%. Antes de la esterilización se añade una solución tampón, cuya finalidad es mantener el pH lo más adecuado a las exigencias del micelio. Se añade una parte de CaCO₃, cuatro partes de CaSO₄ con nueve partes de agua destilada. Esta solución se añade de una a tres partes por cada 100 gramos de grano.

Quimio et al. (1990), reportan que los granos deben ser puestos en agua hirviendo por 10 a 15 minutos, hasta que se expandan pero que no revienten, luego son colocados en un colador y se deja que se enfrien. Se añade CaCO₃ y CaSO₄ a razón de 1% cada uno en peso fresco, llenándose los frascos en 2/3 de su capacidad. López (1990), reporta el mismo procedimiento, pero añadiendo 3.5 g/kg. de CaCO₃ y 15 g/kg. de yeso, los cuales deben elevar el pH a 7.5 y el último evita que los granos se peguen unos con otros.

Los frascos se tapan y se esterilizan en autoclave durante 15 a 20 minutos a 1 atmósfera de presión. Se dejan enfriar lentamente y se mantienen en observación por 24 horas para detectar contaminaciones bacterianas. Se agitan vigorosamente los frascos para que se separen los granos. Luego se transfiere el micelio procedente del medio de cultivo de agar-agar, el cual comienza a invadir los granos. Se debe agitar ocasionalmente los frascos para separar los granos. Las semillas son recubiertas por el micelio en 15-35 días, a una temperatura de 20-25 °C (Pacioni, 1987).

Se deben hacer trasplantes periódicos para seleccionar sólo las germinaciones vigorosas y libres de contaminates, para mantener el vigor y prevenir la degeneración del micelio (Rigau, 1985). La semilla respira, absorbe oxígeno y libera CO₂, por lo que se puede destruir si le llegara a faltar aire. La semilla se puede almacenar a 2-4 °C por cierto tiempo, siempre y cuando no hayan cambios en la temperatura que puedan causar condensación en el interior de los frascos que puedan asfixiar el micelio. También se pueden almacenar en nitrógeno líquido, el cual tiene una duración ilimitada (Chang, 1991).

2.6.2 PRODUCCION DE COMPOST

Según Vedder (1996), la fermentación se divide en dos fases con fines bien definidos:

Fase I- Fermentación libre o compostaje- Su duración es de 7 a 14 días y el material sufre varios volteos. Se desencadenan procesos químicos y biológicos que no se controlan. Su fin es el de mezclar, airear, suplementar, humedecer y homogenizar.

Fase II- Fermentación dirigida y controlada (FDC)- El compost se coloca en cámaras que reúnan las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y oxigenación. Se compone de dos partes: a) Pasteurización- con la finalidad de matar los organismos perjudiciales. b) Reacondicionamiento- por 6 a 8 días, llevando gradualmente la temperatura de 56 a 48 °C por 6 días. Su objetivo es terminar los procesos biológicos y aumentar la selectividad, favoreciendo el desarrollo de actinomicetos y hongos termófilos.

a. Compostaje

Según Chang y Miles (1989), el compost es la base esencial para un cultivo exitoso ya que ninguna práctica cultural podrá producir una buena cosecha si se realiza en un compost de mala calidad. La preparación del compost depende mucho de la habilidad y la experiencia del individuo.

Según Pacioni (1987), la finalidad de la preparación del compost es preparar un sustrato nutritivo natural, con características tales que el micelio del champiñón se encuentre favorecido por la exclusión de organismos competidores. El sustrato debe ser química y físicamente homogéneo, selectivo, enriquecido con sustancias nutritivas al champiñón y carente de las necesarias para los microorganismos competidores e incapacitado para que se produzcan ulteriores fermentaciones cálidas tras la siembra.

Según Vedder (1978), el sustrato es una provisión de compuestos orgánicos complejos producidos por otros organismos. Debe ser totalmente permeable al aire, debe retener agua sin llegar a saturarse y debe tener el pH adecuado. Según Chang y Miles (1989), el sustrato puede ser definido como un material lignocelulósico en el cual se da el crecimiento, desarrollo y fructificación del micelio del hongo. El procedimiento para la preparación del sustrato se llama "compostaje".

El compost se obtiene mediante un proceso de descomposición microbiana sobre una materia básica formada por residuos vegetales mezclados con deyecciones animales. Su fermentación es el resultado de la actividad de millones de microbios, bacterias y hongos microscópicos que transforman los componentes primarios en sustancias nutrientes asimilables. Además, le proporciona al cultivo un terreno granuloso, esponjoso y suelto (Francis, 1983).

El componente vegetal más empleado es la paja de los cereales, siendo el mejor la paja de trigo ya que se mantiene elástica y permite una buena fermentación aeróbica, que libera progresivamente la lignina. La madera y el aserrín presentan dificultades de fermentación aeróbica y hay persistencia de las materias resinosas que impiden la liberación de las ligninas, siendo poco capaces de conducir a la fructificación del champiñón. El mejor compost es el que proviene del estiércol de caballo mezclado con paja de trigo, los cuales son difíciles de conseguir, por lo que se preparan los compost sintéticos (Rigau, 1985).

En Europa se utiliza frecuentemente la paja de centeno o de trigo, en los Estados Unidos se utiliza también el heno de alfalfa y cañas de maíz y en los países asiáticos se utiliza paja de arroz, sorgo, bagazo de caña de azúcar, restos de maíz y residuos de algodón. Es muy importante que la paja este bien seca y no enmohecida, ya que partiendo de materias no totalmente muertas y secas no se puede preparar un compost de calidad (Vedder, 1996).

Según Rigau (1985), no es recomendable utilizar deyecciones animales en las cuales su alimento fue complementado con productos a base de melaza, ya que son favorables para el desarrollo de microorganismos perjudiciales. Además, estas sustancias azucaradas aglutinan el compost, favoreciendo las fermentaciones anaeróbicas.

La adición de suplementos tiene la finalidad de estimular la acción de las bacterias, actinomicetos y mohos presentes en el estiércol, además de provocar al máximo su desarrollo y crecimiento, por lo tanto los suplementos deben aportar tanto proteínas como azúcares. Para suplementar el nitrógeno se puede utilizar gallinaza, harinas con alto contenido de nitrógeno, urea, sulfato de amonio o cualquier otro material con alto contenido de nitrógeno.

Entre las sustancias minerales empleadas están el yeso (sulfato de calcio, CaSO_4) y la caliza (carbonato de calcio, CaCO_3), los cuales son necesarios para neutralizar la acidéz resultante de la fermentación y tener un pH neutro. Además proporcionan el calcio necesario para el metabolismo del champiñón y evitan la acumulación de elementos como el potasio, sodio, magnesio y fósforo. El yeso también mejora la estructura física del sustrato, ya que favorece la agregación de las partículas coloidales en formaciones granulares que facilitan la aireación del compuesto y aumentan la capacidad de retención de agua (Pacioni, 1987).

Es fundamental partir de una relación equilibrada de carbono-nitrógeno. Esta debe ser al inicio del proceso lo más cercana a 30:1, para disminuir a 17:1 en la fase de siembra. Un desequilibrio en esta relación causa inconvenientes en la fermentación. Un exceso de nitrógeno provoca una dilatación en el tiempo de preparación y se obtiene un producto que ha perdido gran parte de sus cualidades estructurales y nutritivas; si se mantiene inalterado el tiempo de preparación, habrán residuos amoniacales que obstaculizan el crecimiento del micelio (Pacioni, 1987).

Para una adecuada preparación es necesario determinar el contenido de agua y de nitrógeno de los materiales a usar. El contenido de nitrógeno se puede determinar por el método Kjeldhal. Este debe ser inicialmente de 1.5 a 1.7 %, el cual se incrementará durante el compostaje y debe llegar a 2.2 - 2.3 % (Kinrus, 1976).

El pH del compost debe ser alcalino. Durante la preparación del compost el pH debe estar entre 8.2 a 8.6, luego disminuirá, por la acidéz causada por las fermentaciones, a 7.0 y al momento de sembrar debe estar alrededor de 6.0 (Rigau, 1985).

Cuadro 1. Recomendaciones de yeso y carbonato de calcio.

<i>Cantidad</i>	<i>Fuente</i>
<i>18 kg. de yeso / Ton de materia seca</i>	<i>Lambert (1972)</i>
<i>20 kg. de yeso / Ton de paja seca</i>	<i>Penn State University, citado por Kinrus (1976)</i>
<i>28 kg. de CaCO₃ / Ton de materia seca</i>	<i>Ho (1980), citado por Quimio et al. (1990)</i>
<i>100 kg. de CaCO₃ / Ton de paja seca</i>	<i>Francis (1983)</i>
<i>25 - 30 kg. de yeso / Ton de paja seca</i>	<i>Pacioni (1987)</i>
<i>32 kg. de CaCO₃ / Ton de materia seca</i>	<i>Chang y Miles (1989)</i>
<i>26 kg. de yeso / Ton de paja seca</i>	<i>Chang y Miles (1989)</i>
<i>150 kg. de yeso / Ton de paja seca</i>	<i>Sinnibaldi (1996)</i>

El agua se debe considerar como el más importante de todos los elementos del compost, ya que es ella quien gobierna la actividad microbiana. El oxígeno es necesario para el metabolismo de los microorganismos útiles en el proceso de fermentación. Un grado de humedad muy bajo disminuye la actividad microbiana y dispersa el calor de la fermentación. La humedad del compost debe estar entre 67% y 75% (Pacioni, 1987).

En la preparación del compost se debe favorecer el desarrollo de los microorganismos aerobios, los cuales descomponen la materia orgánica en forma rápida y completa, produciendo CO₂, agua y calor. Si llegase a faltar oxígeno se desarrollan microorganismos anaerobios, los cuales producen una descomposición lenta, con escasa producción de calor y con producción de sustancias ácidas, del tipo del ácido sulfhídrico (SH₂) de intenso olor a huevos podridos y metano (CH₄), ambos tóxicos; produciendo un compost no adecuado para el cultivo del champiñón (Pacioni, 1987).

La producción de amonio, con el desarrollo de su olor irritante, es una señal de que los procesos de fermentación proceden en forma adecuada. Este se origina de la descomposición de las proteínas y constituye la sustancia utilizada para el crecimiento de las sucesivas colonias bacterianas (Pacioni, 1987).

El lugar donde se preparara el compost debe ser limpiado con agua y luego debe ser desinfectado. Se puede usar una mezcla de cal viva (20 kg.), sulfato de cobre (3 kg.), cloruro de cal (2 kg) y 100 litros de agua. Esto se debe regar abundantemente por todo el suelo (Rigau, 1985).

En los sustratos secos, los microorganismos se encuentran en estado de letargo, del que sólo salen en presencia de agua. El primer ataque microbiano se realiza sobre el revestimiento céreo de la paja, que impide la penetración del agua. Tras este proceso, el agua ya puede filtrarse entre las fibras, exponiéndolas a la degradación bacteriana. El procedimiento más sencillo y eficaz es el riego, lo importante es que la paja quede uniformemente empapada. Se precisan de 3 días de riegos para los de estiércol de caballo y se requiere el riego en los estiércoles sintéticos cuando se han incorporado los suplementos (Pacioni, 1987).

Se extiende la paja troceada y se riega abundantemente. Se mezclan los aditivos y se le agrega una tercera parte de estos al hacer el montón inicial, con excepción del yeso y/o carbonato de calcio. Según Francis (1983), el tratamiento del compost artificial tiene unas tres semanas de duración mientras que Vedder (1996) recomienda 14 días. Al realizar la mezcla se aplican de 600 a 1000 litros de agua por tonelada métrica inicial. Se debe incorporar casi toda el agua en la mezcla inicial, ya que la pérdida de materia seca durante la fermentación hace que el nivel de humedad aumente (López, 1990).

El material mojado y mezclado se coloca en cúmulos de una anchura de 150-180 cm y a una altura de 120-180 cm. Las partes laterales han de ser lo más verticales posible y el estrato exterior ha de estar comprimido. Pueden usarse laterales de madera apuntados para la preparación del cúmulo. Dimensiones inferiores no permiten alcanzar la temperatura adecuada en la zona central del cúmulo, y dimensiones superiores crean condiciones de anaerobiosis (Pacioni, 1987).

El cúmulo provoca una aireación forzada de la parte inferior a la superior con efecto de "chimenea". El aire penetra por los lados y proporciona el oxígeno necesario para la actividad metabólica de los microorganismos aeróbicos (Francis, 1983).

Durante la degradación de la paja las dimensiones se reducen, la estructura se hace más densa y se reduce la aireación. Las condiciones anaeróbicas se producen al cabo de 2-4 días, por lo que se recurre a voltear los cúmulos. La fermentación reduce el volumen inicial entre 10 y 30 % (Francis, 1983).

Después del compostaje, los carbohidratos fácilmente descomponibles, que sirvieron de alimento a hongos y bacterias, tiende a disminuir y el sustrato ya no es favorable para estos competidores. Las proteínas se incrementan como resultado de la actividad de los microorganismos que convierten materiales con nitrógeno simple a proteínas complejas (Chang y Miles, 1989).

La finalidad del volteo es la de prevenir las condiciones anaeróbicas de la fermentación, permitiendo una descomposición homogénea del sustrato. El yeso se añade fragmentado en forma homogénea en el segundo volteo, ya que de hacerlo en el primero sería perjudicial para los organismos productores de amoníaco. Después de cada volteo hay que rehacer el cúmulo a sus dimensiones originales (Francis, 1983).

La elevación de la temperatura se produce debido a una sucesión concadenada de microorganismos capacitados para desarrollarse a temperaturas medias (5-32 °C) llamados mesofílicos, o más elevadas, que son llamados termofílicos. El remojo estimula el crecimiento de las bacterias mesofílicas y los hongos, que utilizan rápidamente los azúcares simples produciendo amonio, lo que permite el desarrollo de las colonias bacterianas. Los mesofílicos se mantienen en la parte externa mientras que los termofílicos en la parte interna. Las bacterias ocupan la zona más cálida, continuando con la producción de amonio, mientras que a su alrededor se desarrollan colonias blancuzcas de actinomicetos. En el fondo del cúmulo se forma una zona de asfixia anaerobiótica, donde la temperatura se eleva hasta cerca de 50 °C (Pacioni, 1987).

Se dan dos tipos de reacciones según la temperatura. Hasta los 72 °C hay reacciones biológicas, mientras que las reacciones químicas se inician en los 65 °C, llegándose a producir incluso la caramelización. En la zona más caliente la descomposición se produce más rápidamente que en las restantes, pero el mejor compost se obtiene en la zona mediana, donde se desarrollan abundantemente los actinomicetos. Para recrear lo más aproximadamente las características de esta zona se somete el sustrato a una segunda fase de fermentación dirigida y controlada (Pacioni, 1987).

Según Deacon (1990), se reconocen tres fases de actividad de los hongos durante la formación del compost:

- *Hongos predominantes mesofílicos, los cuales se presentan en los primeros días, pero mueren por la alta temperatura y no vuelven a aparecer. Se encuentran entre estos Alternaria, Cladosporium, Aspergillus, etc.*
- *Hongos termofílicos y termotolerantes, aparecen después de una temperatura máxima (60-80 °C) y persisten por mucho tiempo.*
- *Hongos termotolerantes y mesofílicos, los cuales colonizan o permanecen activos. Entre estos se encuentran el Fusarium, Doratomyces y Coprinus spp. El champiñón puede introducirse en el compost en esta etapa, dado que es mesofílico; sin embargo, se debe introducir antes de que Coprinus se establezca por completo, porque el crecimiento puede ser inhibido.*

Antes de entrar a la pasteurización el compost debe poseer las siguientes características: color verde negruzco uniforme, paja bastante resistente, humedad de 72%, olor de amoníaco, pH de 8 o superior, pegajoso y que aún ensucie las manos, ligeramente manchado por actinomicetos blancos, sobre todo en las partes secas y un contenido de nitrógeno de 1.6 a 1.8%.

Según Chang & Miles (1989), entre más profundas sean llenadas las camas, será mayor el rendimiento. Recomienda llenarlas entre 15 a 18 cm de profundidad, en la cual se utilizan entre 100 a 120 kg. de compost por m². Kinrus (1976) afirma que entre más húmedo este el compost, menos compactado se debe colocar; y entre más seco se encuentre, debe ser colocado más firmemente.

b. Pasteurización

Después de colocar el compost en las bandejas, deben ser sometidas a tratamiento para eliminar parásitos animales, adultos y larvas, esporas de parásitos que puedan volverse competidores y gran parte de las bacterias. El más utilizado es la pasteurización, la cual se realiza con vapor de agua, el cual debe elevar la temperatura del compost a 60 °C por tres horas.

Luego que el compost es colocado en las camas, los microorganismos presentes comienzan a crecer y a reproducirse, creando una mayor demanda de oxígeno y alimento. Si estas dos se encuentran presentes el crecimiento microbial continúa hasta que alcanza su mayor desarrollo en el cual la temperatura se eleva hasta un punto máximo. La pasteurización se debe realizar en este punto (Vedder, 1996; Kinrus, 1976).

Se ha demostrado que el compost al que se le ha incorporado melaza o sucrosa esta libre de amoníaco al inicio del compostaje, comparado con aquel en el que no se utilizó sucrosa. Este tipo de compost (o cualquiera libre de amoníaco) puede ser fumigado con bromuro de metilo en lugar de la pasteurización (Flegg et al., 1985; citado por Sinnibaldi, 1996).

c. Reacondicionamiento

Su finalidad es controlar el desarrollo y acabado del proceso de fermentación. La ventilación es uno de los factores más críticos ya que provee oxígeno a los microorganismos y regula la temperatura del compost. Se debe mantener el compost entre 48 – 53 °C hasta que no quede olor a amoníaco. La conversión de amonio a proteína microbiana es realizada por los organismos termofilicos, los cuales se desarrollan entre 48-53 °C; mientras más tiempo esté el compost en este rango, más amonio será convertido. Luego se baja la temperatura rápidamente a 25-30°C. La duración total de la pasteurización y el acondicionamiento es de 7 a 10 días (Vedder, 1996; Kinrus, 1976).

Pasadas varias horas de la pasteurización, a veces se ven formas algodonosas de micelio, los cuales son hongos termófilos totalmente inofensivos que luego desaparecen. Un contenido mayor de 7.5 indica la presencia de restos de amonio.

El compost debe ser de un color uniforme pardo-oscuro, la paja se debe romper fácilmente pero aún conservando su elasticidad, humedad de 65 - 66 % la cual al comprimirlo apenas aparezca líquido entre los dedos, ausencia de amoníaco, pH de 7.5 o inferior, no debe ser pegajoso. Debe estar blanco moteado con puntos blancos de actinomicetos y un 1.8 - 2% de nitrógeno (Vedder, 1996).

Según Rigau (1985), los principales accidentes de la fermentación son los siguientes:

- *Estiércoles verdes: se deben a una fermentación imperfecta. Se pueden dejar que fermenten más en las camas antes de desinfectarlos. Hay que tener cuidado al momento de inocular, pues una siembra muy temprana corre el riesgo de ser destruida por una brusca elevación de temperatura.*
- *Estiércoles grasosos: generalmente son producidos por fermentaciones anaeróbicas, por volteos demasiado espaciados y por exceso de humedad. Es preferible rechazarlos ya que son desfavorables para el champiñón.*
- *Estiércoles quemados: sucede cuando la fermentación ha sido llevada demasiado lejos, por lo que se desecan y forman placas grisáceas que se desmenuzan. Una humidificación de las partes secas lo remedia.*

2.6.3 INOCULACION Y COLONIZACION DEL SUSTRATO

Terminada la pasteurización del compost es importante que el micelio del champiñón se desarrolle lo más rápido posible, ya que es muy sensible a las infecciones que podrían interferir con el desarrollo del micelio. Su rápido desarrollo permite frenar el de los competidores (Vedder, 1996).

Quimio et al. (1990) reporta que se utilizan 6 kg. de semilla por tonelada de compost húmedo. Sinnibaldi (1996) reporta el uso de 12 kg por 100 metros cuadrados de cultivo.

Según Moll, (1986), el compost se levanta con dos dedos y se introduce el blanco a una profundidad de 2-3 cm. El compost soltado de nuevo se aprieta ligeramente para asegurar el contacto. La separación de los puntos de siembra variará de 5 a 15 cm. Según Francis, (1983), se debe regar al voleo 80% de la semilla y mezclarlo con el compost, el 20 % restante se esparce sobre la superficie y se comprime el sustrato. Es preciso cubrir el compost con papel o lámina de plástico para alcanzar un concentración de 5,000 a 10,000 ppm de CO₂ que necesita para su rápido desarrollo y para mantener la humedad.

Se debe mantener la temperatura entre 25 –27 °C y la humedad relativa entre 90 –95%, lo cual se logra humedeciendo regularmente los muros y el suelo. La ventilación depende de la temperatura del compost y no se debe añadir aire fresco. En algunos casos el micelio

no progresa y forma enseguida filamentos espesos y el compost se hace negruzco, lo cual es consecuencia de un mal compost que pudiera estar demasiado húmedo y graso, mala estructura o que su pasteurización se haya desarrollado mal y hayan quedado residuos de amoníaco (Vedder, 1996).

El período de incubación dura entre 12 – 14 días, cuando el micelio haya invadido los 2/3 de la masa del compost, se debe colocar la capa de cobertura (Vedder, 1978).

2.6.4 APLICACION DE COBERTURA

La cobertura constituye el envoltorio que se coloca sobre la superficie del compost invadido por el micelio. Es indispensable para conseguir la fructificación del micelio y se le atribuyen las siguientes funciones: formar un medio de transición entre el compost y la atmósfera circundante, representa un soporte mecánico para los carpóforos y sobre todo para reserva de agua (Moll, 1986; Vedder, 1996).

Una tierra calcárea se carbonata con el aire y se compacta con la humedad, una tierra silíceo (arena) no retiene agua. Las mejores cualidades se obtienen con una tierra silíceo-calcárea. Se pueden utilizar como cobertura tierra virgen, arena y tierra o musgo. Para ser aplicadas deben ser humedecidas. No se debe utilizar tierra que haya sido obtenida de un lugar fertilizado con estiércol procedente de viejos cultivos de champiñones (Rigau, 1985)

Según Rigau (1985), la aplicación de una cobertura consiste en recubrir el compost con una capa de 2 cm de espesor. Tiene como fin:

- *Restringir la actividad vegetativa para favorecer la fructificación.*
- *Facilitar la recolección de los champiñones adultos sin arrancar los granos jóvenes.*
- *Aislar el compost del medio exterior, regulando cambios bruscos de temperatura.*
- *Aportar un correctivo al pH del medio.*
- *Proporcionar una protección contra plagas y enfermedades.*

Francis (1983), agrega que constituye un soporte para el desarrollo de los tallos. Además, la humedad que resulta de la evaporación eleva la humedad de la capa de aire donde se desarrollan los hongos, mejorando la calidad.

Según Deacon (1990), el micelio del hongo produce metabolitos volátiles que estimulan el crecimiento de bacterias en la capa de cobertura, particularmente del género Pseudomonas. Estas bacterias parecen ser esenciales para la producción, quizás por que hacen al Fe^{++} disponible, el cual es necesario para el desarrollo de los carpóforos.

Debe tener un pH entre 7.2 - 7.8. Debe ser desinfectada o pasteurizada para prevenir enfermedades, nemátodos e insectos (Kinrus 1976). Vedder (1996), recomienda utilizar carbonato de calcio para elevar el pH y ser prudente cuando se use cal apagada ($Ca(OH)_2$), ya que si se mezcla a la cobertura sólo unos días antes de cubrirla, el pH

será demasiado elevado. Sin embargo, cuando el champiñón comience a invadir, el pH disminuirá por los ácidos segregados por el micelio, especialmente el oxálico; pero, se perderá parte de la primera oleada.

El espesor depende principalmente de la profundidad de la capa del compost. Una cobertura espesa presenta menos problemas que una delgada, sobre todo para el riego. Debe tener un espesor de 3.5 a 4 cm , lo que supone 3.5 m³ de cobertura para 100 m² de cultivo.

La entrada de aire fresco debe ser mínima para incrementar el CO₂ a 10,000 ppm y la temperatura debe ser de 25 °C. Pasados 5-7 días, el micelio comenzará a aparecer en la superficie de la cobertura. En el caso de A. bisporus es conveniente rascar toda la superficie llegando al límite con el compost y mezclándola bien, con lo cual se espera una oleada mayor y más uniforme, pero para A. bitorquis se ha demostrado que es perjudicial ya que cada perturbación del micelio disminuye el rendimiento (Vedder, 1996).

2.6.5 PRODUCCION DE CUERPOS FRUCTIFEROS

Al cabo de 3 semanas después de colocar la cobertura aparecerán índices de fructificaciones próximas. Estas aparecen de dos formas: en granos, que son pequeños abultamientos bien blancos, repartidos en toda la superficie, o en pata de araña, que son filamentos algodonosos repartidos por la superficie de la cobertura. Estas diferencias son debidas a la naturaleza del recubrimiento (Rigau, 1985).

La aparición de los cuerpos fructíferos está influenciada por la profundidad de la capa de cobertura . No se debe introducir aire fresco hasta que el 40% de la superficie haya sido invadida por el micelio. La humedad se debe mantener en 85-95% y la temperatura se debe mantener entre 23-25 °C. El movimiento del aire encima de la cobertura es muy importante. Si es insuficiente durante mucho tiempo el micelio se desarrolla abundantemente en la superficie sin formar granos, lo cual es conocido como moho y a temperatura ambiente demasiado baja y con demasiado movimiento de aire el micelio no sube en la cobertura y los granos se forman profundamente, disminuyendo su calidad ya que los sombreros aparecen con partículas de la cobertura (Vedder, 1996).

2.6.6 COSECHA

La formación de botones tiene lugar generalmente mediante oleadas, las cuales son muy marcadas al principio y disminuyen con el tiempo. La primera oleada aparece después de 20 a 26 días después de colocada la cobertura. Los champiñones se deben elegir en función a su grado de madurez y no por su tamaño. Los criterios de madurez se basan en la forma del sombrerillo así como en el grado de tensión del velo. La recolección se debe efectuar diariamente (Moll, 1986).

Los hongos son arrancados antes que el sombrerillo se abra para mostrar las agallas, lo cual se puede determinar cuando al pasar el dedo entre el borde del sombrero y la parte superior del pie se sienta una ligera flexión al hacer poca presión. El sombrero se toma con los dedos y se le hace un movimiento de torsión para evitar que se estropeen los jóvenes granos vecinos (Rigau, 1985).

Después que se sacan los hongos grandes, una cantidad elevada de jóvenes botones mueren, ya que se rompen los filamentos que los unen con su suministro de elementos nutritivos. Estos deben ser eliminados para evitar que se descompongan. Luego se cortan los cabos y se clasifican de acuerdo con su tamaño y defectos (Lambert, 1972).

La ventilación (aporte de aire fresco y evacuación del aire viciado) y el reciclaje (movimiento del aire) son factores muy importantes en la cosecha. La ventilación pretende mantener el nivel de CO₂ del aire adecuado, mientras que el reciclaje se usa para evitar la acumulación local de CO₂, permitir una evaporación suficiente y evitar diferencias demasiado grandes de temperatura. Cuando es superior a lo recomendado provoca que los hongos desarrollen un pie muy alargado y un sombrero pequeño que se abre rápidamente; si es demasiado alto provoca en los granos jóvenes la formación de un pie grueso en forma de cebolla. El cantidad de riego depende de la cantidad de evaporación. Es necesario proporcionar un litro de agua/m² por kg de champiñón, no rebasando los dos litros por m² en cada riego. Es importante ventilar y reciclar el aire después de regar para evitar manchas bacterianas (Vedder, 1996).

Tras la recolección completa de un grupo, persiste una cepa formada por una amalgama de tierra, filamentos micelianos y residuos de la base del pie. Esta cepa debe ser arrancada cuidadosamente con un cuchillo, ya que favorece la vegetación de hongos parásitos. Es necesario recubrir los huecos con cobertura nueva. Es necesario mantener la humedad del compost a 45 % y la cobertura cerca de la saturación (Rigau, 1985)

Se recomienda asperjar agua clorinada a 175-200 ppm desde que empiezan a aparecer los champiñones para promover color y calidad (Kinrus (1976)).

Cuando la producción finaliza por que ya no es rentable se retira el compost lo más alejado de la explotación, ya que se convierte en un refugio de todos los parásitos del champiñón, tanto de enfermedades como de insectos. Este compost constituye un fertilizante de gran valor, el cual contiene 1.3% de N, 0.91% de ácido fosfórico, 1.38% de potasa y 2.9% de cal (Rigau, 1985).

Después de retirar el compost, se debe limpiar cuidadosamente el local. Se debe desinfectar con sulfato de cobre y hexaclorociclihexano, el cual debe ser asperjado en todo el local (Vedder, 1996).

2.6.7 POST-COSECHA

Los champiñones deben ser almacenados a 95-98% de humedad relativa para prevenir su deshidratación, la cual ennegrecerá el sombrero y pie del hongo. Almacenados a 4.5°C tienen una vida de 2 días, mientras que almacenados a 0-1.5°C se logra aumentar a 5-7 días. No son sensibles a etileno. Se han logrado obtener hasta 15 días de vida postcosecha en atmósfera controlada, con 3% de O₂ y 10% de CO₂. Entre los desordenes de postcosecha mas importantes se encuentra la apertura del velo y el daño por frio (menos de 0.6°C), los cuales se pueden evitar haciendo un buen control de la temperatura (Suslow & Cantwell, 1997).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION Y DURACION

El ensayo se realizó en la instalación de producción de hongos de la Zona III del Departamento de Horticultura de la Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano”. Esta se encuentra ubicada en el Valle del Río Yeguaré, a 32 kilómetros al este de Tegucigalpa, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Geográficamente esta ubicada a 14° latitud norte y 87° longitud oeste y a una altura de 800 msnm.

El experimento tuvo una duración de 16 semanas, iniciándose el 20 de enero de 1998 y concluyendo el 11 de mayo del mismo año.

3.2 INSTALACIONES

Para la etapa de preparación del compost se utilizó un galpón con piso de tierra con 10 divisiones, utilizando una división por cada tratamiento. Para la etapa vegetativa y de fructificación se utilizaron dos cuartos cerrados, unidos entre sí. Se contó con un equipo de aire acondicionado y un humidificador para ambos. Las bandejas de cultivo fueron hechas de madera de pino curada, de 25 cm de alto x 95 cm de ancho y de largo variable. Se contó con 52 bandejas, obteniéndose un área de cultivo de 52m².

3.3 PRODUCCION DE CULTIVO PURO Y SEMILLA

Para la producción de semilla se obtuvo el cultivo puro del laboratorio *Fungi Perfecti* de los EEUU. Su presentación fue en un tubo de ensayo con micelio de *Agaricus bitorquis*. Se realizaron 20 subcultivos en platos petri con medio PDA (agar de papa y dextrosa) manteniéndolos a una temperatura de 24 °C.

Para la producción de semilla se utilizaron 3.36 kg. de sorgo. Se lavaron e hirvieron por 10 minutos en agua, evitando que los granos reventaran. Luego se dejaron escurriendo y aireando por 2 horas. Se mezcló el 1% de su peso en fresco con CaCO₃ y Ca SO₄. Se llenaron 20 frascos de 500 ml a 2/3 de su capacidad y fueron esterilizados en un autoclave por 1 hora a 122°C y a una presión de 1 kg/cm². Se dejó a temperatura ambiente por 24 horas con el fin de detectar contaminaciones y que enfriara. La inoculación se realizó en una cámara de flujo laminar, inoculándose con pequeñas porciones del cultivo puro y cubriendo la boca de cada frasco con una filmina de parafina. Luego se colocaron en una incubadora a 24 °C y cada cinco días fueron agitados con el fin de acelerar la inoculación.

Al momento de la siembra, la semilla descrita anteriormente no se encontraba lista aún, por lo que se utilizó semilla preparada proveniente de los EEUU. La semilla correspondió a la especie *Agaricus bitorquis*. La presentación de la semilla fue en granos de trigo invadidos por el micelio, contenida en dos bolsas plásticas de 10 lbs cada una.

3.4 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Las materias primas para formular los medios de crecimiento fueron paja de arroz, heno de pasto estrella, casulla de arroz, gallinaza, urea, melaza, carbonato de calcio (CaCO_3) y yeso (CaSO_4).

El método de producción fue el reportado por Sinnibaldi (1996). La formulación base para el experimento fue:

- 365 kg de paja de cereal
- 38 kg de gallinaza
- 55 kg de yeso
- 1 kg de urea
- 1 kg de melaza

Se realizó un ajuste en la cantidad de gallinaza y urea a la fórmula, porque demostró que su contenido de nitrógeno era muy bajo (Anexo 1).

Cuadro 2. Tratamientos y su formulación.

Tratamiento			Gallinaza	Urea	Melaza	CaSO ₄	CaCo ₃
T1	paja de arroz-	250 kg	40 kg	2 kg	1 Lt	36 kg	-----
T2	paja de arroz-	250 kg	40 kg	2 kg	1 Lt	-----	36 kg
T3	heno de estrella-	250 kg	40 kg	2 kg	1 Lt	36 kg	-----
T4	heno de estrella-	250 kg	40 kg	2 kg	1 Lt	-----	36 kg
T5	casulla de arroz-	250 kg	45 kg	5 kg	1 Lt	36 kg	-----
T6	casulla de arroz-	250 kg	45 kg	5 kg	1 Lt	-----	36 kg
T7	paja de arroz-	250 kg	40 kg	2 kg	1 Lt	-----	36 kg
T8	paja de arroz-	250 kg	40 kg	2 kg	-----	36 kg	-----
T9	paja de arroz-	250 kg	-----	3 kg	1 Lt	36 kg	-----

Para determinar las diferencias de rendimiento entre los tratamientos se realizó el ensayo con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento (con excepción de T9 que contó con dos repeticiones y se estimó un valor para la tercera repetición según la fórmula para determinar valores perdidos de Yates (1933)). Las unidades experimentales fueron las camas de cultivo.

3.5 PREPARACION DEL COMPOST

Se mezclaron los componentes y se formó un cúmulo por cada tratamiento, añadiéndole agua hasta saturarlos. Se realizaron cinco volteos y tuvo una duración de 19 días. En cada volteo se revisó la temperatura del interior del compost y se le agregó agua en las partes que se observaban con poca humedad. En el cuarto volteo se agregó el yeso y el carbonato de calcio de manera que quedara bien distribuido. Se tomaron diariamente las temperaturas de la parte media del compost a 25 cm de profundidad.

Cuadro 3. Dimensión inicial de los cúmulos (m).

Tratamiento	altura	longitud	anchura	volumen (m ³)
T1,T2,T7,T8,T9	1.20	2.50	1.40	4.10
T3,T4	1.15	2.40	1.40	3.86
T5,T6	1.14	2.5	1.00	2.85

Las instalaciones fueron lavadas cuidadosamente con agua, luego se desinfectaron utilizando una bomba de aspersión con una solución de hipoclorito de calcio a 400 ppm más una solución de oxiclورو de calcio a 200 partes por mil a las paredes, piso, techo y camas.

A los 19 días de preparación del compost se introdujo a los cuartos de crecimiento. Se llenaron las camas a una altura de 25 cm de profundidad y se emparejaron y compactaron ligeramente, alcanzando una altura de 20 cm. Se mantuvieron cerrados los sistemas de ventilación y se dejó de esta forma por cinco días con el fin de que se elevara la temperatura como resultado de la actividad microbial.

3.6 PASTEURIZACION

Cinco días después de la introducción se procedió a la pasteurización, utilizando para ello una caldera portátil. Cada cuarto fue pasteurizado por separado. La caldera fue puesta en marcha y a las 4 horas la temperatura del aire alcanzó los 60 °C, la cual se mantuvo por 3 horas y se llevó a 61°C por media hora adicional. Se dejó que la temperatura bajara lentamente. A los 6 días la temperatura del aire y del compost fue de 25 °C y se procedió a la siembra.

3.7 SIEMBRA

La cantidad de semilla disponible fue suficiente sólo para sembrar un cuarto, por lo cual se descartó el otro y se retiró el medio, realizando una buena limpieza. Se contó finalmente con 29 m² de cultivo. En la inoculación fueron utilizadas 20 libras de semilla, las cuales fueron distribuidas 80% colocadas en la superficie al voleo y revueltas con el compost en los 10 primeros cm y el resto se repartió en la superficie tratando que quedara lo más uniformemente distribuido. Se uniformizó y compactó ligeramente la superficie del compost, y luego se cubrieron las bandejas con plástico, evitando que quedaran en contacto directo, para mantener la humedad e incrementar la concentración de CO₂. Se encendió ocasionalmente el aire acondicionado en forma de retorno para mantener la temperatura del compost en 25 °C. Se realizaron tres riegos diarios, con una bomba de aspersión de 15 litros, mojando las paredes, el techo, el piso y la parte exterior de las bandejas con el fin de mantener en un 80 % la humedad relativa. Se tomaron temperaturas máximas y mínimas diarias del ambiente y del compost.

3.8 COBERTURA

Para la cobertura se mezclaron 130 kg de musgo esfanguíneo con 5.7 kg de cal hidratada. Se humedeció hasta que quedara empapado, dejándolo luego que escurriera. Fue desinfectado con vapor de agua por 10 minutos a una temperatura de 100 °C.

A los 14 días después de la siembra se colocaron 2.5 cm de cobertura sobre cada tratamiento, procurando que la capa fuera uniforme en todas partes.

A los siete días se pasó un rastrillo de madera con clavos de una pulgada sobre la cobertura con el fin de romper la capa de micelio y que se regenerara más fuerte. El riego fue controlado por medio del nebulizador a razón de cinco litros, cuatro veces al día y la ventilación continuó cerrada.

A los seis días de realizado el rastrillado se permitió la entrada de aire fresco en el sistema de ventilación para disminuir la concentración de CO₂ y aumentar el O₂ con el fin de provocar la fructificación y la temperatura fue disminuida a 23 °C.

Pasados 13 días desde la entrada de aire fresco y al notar que los granos no desarrollaron se procedió a disminuir la temperatura a 19 °C y a realizar una abertura de 15 x 15 cm en la pared para facilitar la expulsión de CO₂. Cuatro días más tarde, al no haber respuesta positiva se decidió a abrir la puerta y colocar un cedazo, además se colocó un ventilador para que aspirase el aire interno y lo expulsara, favoreciendo la ventilación.

El riego fue realizado con una bomba de aspersión. Se regó el piso, paredes y techo cuatro veces al día y cuando los granos comenzaron a desarrollar se regó la cobertura a razón de 0.5 lt por m².

3.9 COSECHA

La cosecha se inicio a los 32 días de colocada la cobertura, a los 46 días después de la siembra y a los cinco días después de haber permitido una mejor ventilación. Los hongos fueron arrancados con una ligera torsión y se elimino el pie con los restos de cobertura y micelio. Se empacaron en bandejas de 200-250 gramos y fueron cubiertas con filmina plástica. Para su almacenamiento se mantuvieron a 5°C .

3.10 CONTROL DE PLAGAS

Se utilizó *Benlate* a los cuatro y siete días de aplicada la cobertura y después de la primera oleada a razón de 1 gramo por m² diluído en agua como preventivo de hongos competidores. Para control de insectos se aplicó *Pirenona* (Piretroide al 6%) a los siete días de aplicarla cobertura. Se presentaron problemas con roedores (*Mus musculus*), los cuales realizaron cuevas en el compost, presentando peligro por contaminación, se eliminaron con rodenticidas comerciales.

3.11 ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis estadístico se realizó con el programa “ Statical Analysis System” SAS®. Se realizó una correlación entre el porcentaje final de nitrógeno del compost, el costo total por m², el rendimiento y el número de hongos/m² para identificar la relación que existe entre cada una de las variables. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

Se realizó un análisis de varianza y separación de medias de Duncan para determinar como influyeron las fuentes de variación en el rendimiento y para establecer la significancia de las diferencias entre las medias de los tratamientos.

<u>Fuentes de Variación</u>	<u>Variables Respuesta</u>
a. Tratamientos	a. Rendimiento (kg/ m ²)
b. Repeticiones	
c. Nivel de altura	

Se realizó un análisis de contrastes entre los materiales usados para formular los tratamientos y así establecer a que se debieron las diferencias entre los tratamientos.

Se realizó un estado de resultados para cada tratamiento, con el fin de determinar la rentabilidad sobre costos de cada tratamiento y luego se determino el punto de equilibrio unitario y en lempiras con la siguiente formula:

$$\text{Punto de equilibrio unitario} = \frac{\text{Costos fijos}}{\text{Precio de venta} - \text{Costo variable unitario}}$$

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 PRODUCCION DE CULTIVO PURO Y SEMILLA

En la producción de los cultivos puros se apreciaron los primeros crecimientos de micelio a las 72 horas de haber sido realizada la inoculación. Los cultivos estuvieron listos al cabo de 2 semanas, cuando el tamaño medio de la masa de micelio fue aproximadamente de 2 cm de diámetro. Los frascos con semilla comenzaron a presentar crecimientos del micelio a los 3 días. La mezcla y agitación de estos resultó ser muy eficaz para acelerar la inoculación de los granos, y tardó 9 semanas en estar totalmente inoculada. Se presentó contaminación en todos los frascos, debido a un ataque de hormigas que perforaron la filmina. Para la siembra se tuvo que recurrir a utilizar semilla proveniente de los EE.UU. (ver anexo 5).

4.2 PREPARACION DEL COMPOST

La suplementación nitrogenada resultó ser ligeramente menor a la recomendada (entre 1.5 - 1.7 % N), tal como se ilustra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido inicial de nitrógeno. (Ver anexo 1)

Tratamiento	% N Total
T1,T2 ,T7,T8	1.44
T3,T4	1.52
T5, T6	1.49
T9	1.52

Los procesos de compostaje tuvieron las siguientes características (ver anexo 5):

T1, T2, T3, T4, T7 y T8. Todos se comportaron de igual manera, comenzando a producir aumentos en la temperatura a los 4 días y a liberar amonio a los 5 días. Las temperaturas en las partes medias fueron de 55 °C y se detectaron fermentaciones anaeróbicas en las partes centrales-inferiores de los cúmulos (primeros 5 cm), con fuerte olor a metano y a sulfuro. Se les añadió agua a las partes que se notaban secas. Se observó la presencia de hongos superiores silvestres, los cuales se identificaron como *Coprinus* (Guzmán, 1979). Al final se presentó de un color pardo oscuro con partes blanquecinas que indicaban un desarrollo de colonias de actinomicetos, signo de un buen compost., con excepción de T2 y T7 que se observaron grasos.

T5 y T6. Comenzaron a liberar calor al día siguiente de haberse hecho la mezcla, llegando a temperaturas internas de 55 °C y con una gran liberación de amonio. Su temperatura disminuyó a 35 °C a los tres días y después de los 2 volteos siguientes se volvió a elevar a 55 °C, siendo la liberación de amonio elevada. En los últimos volteos su temperatura se elevó tan sólo a 35 °C y el amonio disminuyó. También se observaron fermentaciones anaeróbicas como las descritas anteriormente.

T9. La elevación de la temperatura ocurrió a los 6 días y a los 7 días comenzó a liberar amonio. Por lo demás se comportó igual que los primeros tratamientos.

La fermentación microbial sobre los materiales compostados hicieron que las dimensiones originales se redujeran (Ver cuadro 5).

Cuadro 5. Volúmen de los cúmulos al inicio y al final del compostaje y porcentaje de disminución.

Tratamiento	Volumen inicial m ³	Volumen final m ³	% de disminución
T1,T2,T7,T8,T9	4.10	1.70	58
T3, T4	3.86	1.80	53
T5, T6	2.85	1.95	31

4.3 PASTEURIZACION

Al momento de iniciar la pasteurización, la temperatura del compost se había elevado a 38 °C, debido a la actividad de los microorganismos presentes en el compost. La temperatura se mantuvo a 60 °C por tres horas y a 61 °C por media hora, liberándose una gran cantidad de amonio al ambiente. La temperatura del compost presentó los cambios indicados en la figura 1.

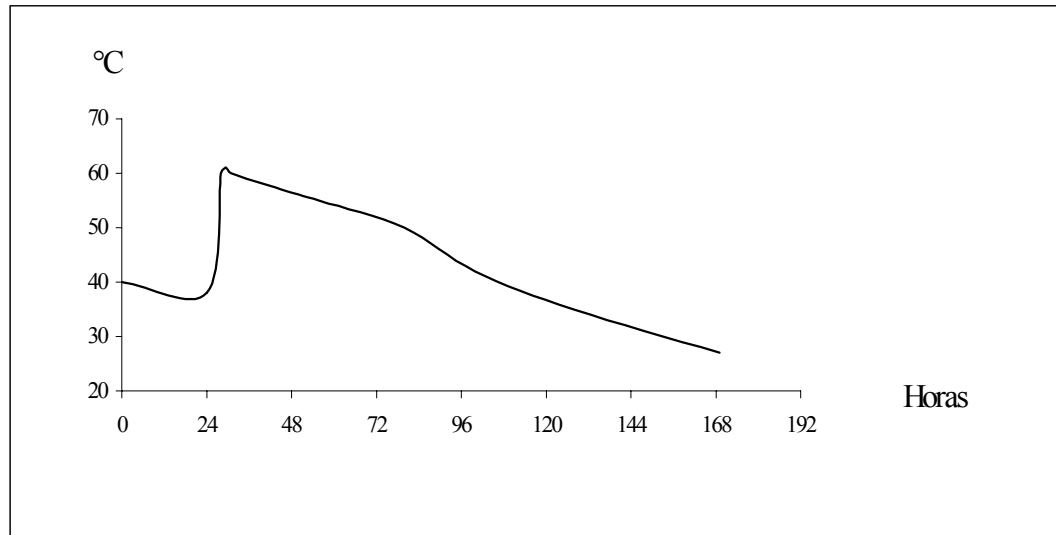


Figura 1. Temperatura del compost en la pasteurización.

El olor a amonio fue muy fuerte hasta el tercer día. Se permitió la entrada de un poco de aire fresco y a los 6 días todavía se sintió la presencia de amonio en el aire por lo cual se procedió a ventilar el cuarto.

El compost presentó un color pardo oscuro y con excepción de los tratamientos T5 y T6, tenían partes blancuzcas en su superficie, las cuales eran colonias de actinomicetos que son señal de que el compost se ha preparado de forma adecuada y que es apto para la siembra. Con excepción de los T5 y T6, todos presentaron una capa de micelio de color blancuzco, los cuales correspondían al género *Coprinus*, el cual es resistente a la pasteurización y es apto para competir con el *Agaricus* por el sustrato. Su desarrollo se vio favorecido principalmente por el amonio que quedó en el aire al no ser fijado totalmente en el compost por los hongos termofílicos ya que la temperatura había descendido a menos de 47 °C a los tres días. T2, T4 y T7 se observaron pegajosos, grasos y con algo de olor a amonio.

En los cuadros 6 y 7 se puede observar la humedad, el pH y el porcentaje de nitrógeno de los tratamientos antes y después de pasteurizar.

Cuadro 6. Humedad, pH y % de nitrógeno antes de pasteurizar.

Tratamiento	Humedad	pH	% de Nitrógeno
T1	61.77	7.78	1.33
T2	68.33	8.38	1.44
T3	70.00	8.05	1.47
T4	59.68	8.60	1.54
T5	47.70	6.41	0.66
T6	42.71	6.57	0.55
T7	66.45	8.12	1.64
T8	68.59	7.77	1.20
T9	67.19	7.90	1.31

Cuadro 7. pH y % de nitrógeno después de la pasteurización.

Tratamiento	pH	% de Nitrógeno
T1	7.66	1.56
T2	8.33	1.59
T3	7.98	1.68
T4	8.52	1.76
T5	6.02	0.53
T6	6.28	0.45
T7	7.98	1.83
T8	7.58	1.53
T9	7.67	1.47

Todos presentaron niveles de nitrógeno menores a los recomendados, posiblemente por un exceso en el tiempo de compostaje. Los T5 y T6 tuvieron niveles muy bajos a pesar de que en un inicio tuvieron cantidades adecuadas.

Con excepción de T5 y T6, todos aumentaron el porcentaje de nitrógeno después de la pasteurización debido a una segunda fermentación. T5 y T6 lo disminuyeron probablemente debido a la naturaleza de sus componentes (casulla), la cual es pobre en carbohidratos y no adecuada para el desarrollo de microorganismos termófilos capaces de fijar el amonio liberado durante la pasteurización.

El pH disminuyó ligeramente después de la pasteurización en todos los casos, pero aún fue demasiado alto. Un pH mayor a 7.5 indica que hay presencia de amonio, lo cual podría deberse a una deficiencia en la temperatura y tiempo del acondicionamiento. Los tratamientos en los cuales se utilizó CaCO₃ (con excepción de T5), se mostraron grasosos.

4.4 SIEMBRA

La semilla comenzó a regenerar su micelio al cabo de 3 días. A partir de este punto cada tratamiento se comportó como se describe a continuación:

T1 y T7. El micelio colonizó el 80% de la superficie y los primeros 10 cm de profundidad al cabo de 10 días. A los 14 días toda la superficie estuvo cubierta y sólo en una pequeña parte se notó contaminación con *Coprinus*.

T2. Sólo se observó el desarrollo de micelio de la semilla superficial, pero al cabo de 7 días su desarrollo fue nulo. A los 14 días sólo hubieron pequeñas porciones de micelio en el compost y se observó el desarrollo de *Coprinus*.

T3, T8 y T9. El desarrollo del micelio fue en éstos el más fuerte y el que más rápido invadió. No se observó contaminación.

T4. A los 14 días sólo el 50 % de la superficie del compost estuvo colonizada por el micelio y hubo contaminación de *Coprinus*.

T5 y T6. Se observó el desarrollo del micelio pero de una forma más gruesa y vigorosa pero menos abundante. A los 14 días el 80 % de la superficie se encontraba invadida y hubo penetración del micelio en los primeros 10 cm del compost pero de una forma irregular.

En todos los casos, el micelio se presentó de un color blanco azulado.

La temperatura del cuarto se mantuvo a 25 °C.

4.5 COBERTURA

La cobertura tuvo un pH de 7.5. Los primeros signos de micelio sobre la superficie comenzaron a aparecer a los tres días de haber sido colocada. Al momento de pasar el rastrillo, cada tratamiento presentó las siguientes características:

T1. La mayor parte de la superficie presentó micelio.

T2. El micelio se presentó sólo en partes muy reducidas y hubo una alta cantidad de *Coprinus* presente.

T4, T7. Hubo muy poco micelio y alta presencia de *Coprinus*.

T5, T6. Se presentó micelio superficial, pero de una forma irregular.

T3, T8, T9. Presentaron una alta cantidad de micelio.

A continuación se detallan algunas características de los tratamientos al momento de permitir el ingreso de aire fresco:

T1, T3, T9 y T8. Presentó micelio en toda su superficie.

T2. No presentó micelio y se observó un alto desarrollo de *Coprinus*.

T4 y T7. El micelio se presentó de manera irregular y hubo bastante *Coprinus*.

T5. Muy poco micelio superficial.

T6. No se observó micelio.

El micelio observado en todos los anteriores fue de color blanquecino y de un aspecto más compacto que el observado en el compost y se comenzó a hacer cada vez más grueso. A los cinco días de permitir la entrada de aire fresco se observaron los primeros granos (primordios) y a los 5 días siguientes se observó lo siguiente:

T1, T7, T8. Alta cantidad de granos.

T2, T6. Muy pocos granos.

T3, T9. Fue el que más granos tuvo con mucho micelio superficial.

T4, T5. Regular cantidad de granos.

Su desarrollo se detuvo y formó lo que es conocido como moho o “mousse” en el cual se forma una gran cantidad micelio y granos superficiales que no se desarrollan debido a una alta concentración de CO₂. Cuando se disminuyó la temperatura a 19 °C y se hizo la abertura en la pared, los granos siguieron de la misma forma, por lo que se decidió mantener la puerta abierta y colocar una puerta con cedazo para que hubiera mayor circulación de aire y disminuyera el CO₂. A las 24 horas de realizado lo anterior se comenzó a observar el brotamiento de nuevos granos, mientras que los que estaban antes formados no continuaron su desarrollo. Los primeros granos aparecieron con un sombrero estrecho y pie muy ancho, lo cual se debió a falta de ventilación por lo que se decidió mantener abierta la puerta siempre. Los granos continuaron su desarrollo y estuvieron listos para cosecha al cabo de cuatro días de emerger.

4.6 COSECHA

La cosecha tuvo una duración de 28 días. Se recolectaron los hongos de las primeras cuatro oleadas, siendo cada oleada de aproximadamente tres días de producción y una semana de diferencia entre cada oleada (ver anexo 2). Los rendimientos de cada tratamiento y sus repeticiones se pueden observar en el anexo 3. Los hongos fueron cosechados cuando tuvieron un diámetro máximo de 3.5 cm, teniendo un peso medio de 22.21 gr cada uno ($\sigma = 2.69$) (ver anexo 5).

Se observaron manchas bacterianas en algunos hongos, debido principalmente a que el hongo quedó muy húmedo después del riego y el reciclaje de aire fue insuficiente, por lo cual después de cada riego se procedió a reciclar el aire.

Se observaron también anomalías en la forma exterior del hongo. Hubo desarrollo de botones con la base muy gruesa y la cabeza pequeña, conocido como botones en forma de cebolla y hongos con el tallo alargado y cabeza pequeña, los que se abrieron aún estando pequeños. Lo anterior fue debido a deficiencias en el sistema de ventilación, que causaron un exceso de CO₂. También se observó el desarrollo de escamas en el sombrero, debido a falta de humedad en el aire, pero su aparición fue mínima.

No se detectaron enfermedades causadas por hongos ni problemas con plagas insectiles.

Los rendimientos por tratamiento y repetición pueden observarse en el anexo 3.

4.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se excluyó el T2 ya que no se cosechó nada debido a un mal establecimiento del micelio en la siembra, probablemente murió por un exceso de amonio.

En el cuadro 8 se muestran los resultados de la correlación de Pearson:

Cuadro 8. Correlación entre % N, costo total, rendimiento y # hongos/ m².

Variables	%N		Costo Total		Rendimiento	
	R	α	R	α	R	α
# hongos / m ²	0.6467	0.0011	0.3413	0.1201	0.9679	0.0001
Rendimiento	0.6568	0.0009	0.3910	0.0719		
Costo	0.8294	0.0001				

Se presentó una correlación directa e intensa entre el porcentaje de nitrógeno contra el costo, el rendimiento y el número de hongos, lo cual indica que el contenido de nitrógeno del compost es determinante en el rendimiento, el número de hongos/ m² y en el costo. El rendimiento está muy relacionado con el número de hongos/ m².

El cuadro 9 nos da la influencia de las fuentes de variación sobre el rendimiento.

Cuadro 9. Análisis de Varianza

Fuente de Variación	F	g.l.	α
Tratamientos	6.70	7	0.0040
Repeticiones	1.52	2	0.2653
Nivel de altura	0.42	2	0.6699

El análisis de varianza nos indica que las diferencias de rendimiento se deben a los tratamientos (P= 0.004) y no a las repeticiones ni al nivel de altura en que se encuentren colocadas las bandejas.

El cuadro 10 nos indica los resultados de las comparaciones de medias.

Cuadro 10. Comparación de medias. Prueba de Duncan en rendimiento (kg/ m²).

Tratamiento	Rendimiento (kg/ m ²)	Duncan 5%
T7	3.79	a
T1	3.18	a
T8	2.94	a
T9	2.81	a
T3	2.42	ab
T4	0.97	bc
T6	0.39	c
T5	0.17	c

En la prueba de comparación de medias de Duncan no se observaron diferencias significativas entre los T1, T3, T7, T8, T9 ni en los tratamientos T4, T5, T6; pero sí hubieron diferencias entre los dos grupos.

En T5 Y T6 los rendimientos fueron muy bajos debido a que el medio resultó muy pobre en nutrientes, principalmente en nitrógeno (0.53 y 0.45 %).

Los rendimientos de T1, T7, T8 y T9 son superiores al reportado por Sinnibaldi (1996), el cual fue de 2.54 kg/m²; pero muy inferiores si se comparan con los obtenidos en explotaciones comerciales bien tecnificadas, los cuales se sitúan alrededor de 17 kg/ m² (Vedder, 1996).

En el cuadro 11 se observan contrastes entre los materiales que variaron para cada tratamiento para conocer a que se deben las diferencias de rendimiento.

Cuadro 11. Contrastes

Contraste	R ² =0.84	F	α
yeso vs carbonato de calcio		2.31	0.1593
paja de arroz vs heno		8.77	0.0143
paja de arroz & heno vs casulla		21.32	0.0010
melaza vs no melaza		2.69	0.1321
gallinaza vs no gallinaza		1.25	0.2894

Se puede apreciar que las diferencias entre los tratamientos se debieron a los materiales celul[osicos utilizados (paja de arroz, heno y casulla), siendo lo mejor la paja de arroz. El uso de yeso o carbonato de calcio; la gallinaza como fuente nitrogenada; y el uso o no de melaza no tuvieron influencia sobre el rendimiento.

Un factor muy importante en el rendimiento y que sólo se logró determinar cualitativamente, fue la ventilación, pues su deficiencia en la etapa de producción pudo haber ocasionado que los rendimientos disminuyeran.

En cuanto al análisis económico se realizó un estado de resultados y se determinaron los puntos de equilibrio por tratamiento (anexo 4), los cuales se pueden observar en el cuadro 12.

Cuadro 12. Ingresos, egresos, rentabilidad sobre costos y puntos de equilibrio por tratamiento.

	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Ingresos	175	133	53	9	14	208	162	154
Egresos	217	226	220	206	200	212	217	225
Resultado	-42	-93	-167	-197	-186	-4	-55	-71
Rentabilidad sobre costos (%)	-19	-41	-75	-95	-93	-2	-25	-31
Pto. de equilibrio (kg/m ²)	6.16	--	--	--	--	4.01	7.49	13.79
Punto de equilibrio (Lps.)	339	--	--	--	--	219	408	749

Con los rendimientos obtenidos la actividad no fue rentable. Se deben incrementar los rendimientos por encima del punto de equilibrio para obtener ganancias. Los rendimientos se deben mejorar dándole un manejo adecuado y corrigiendo las deficiencias explicadas anteriormente.

5. CONCLUSIONES

El tiempo de acondicionamiento del compost posterior a la pasteurización fue insuficiente para incorporar el amonio liberado, afectando el rendimiento por pérdidas de nitrógeno y afectando la siembra por sus efectos tóxicos a la semilla.

Los medios basados en casulla de arroz no alcanzaron el nivel de nitrógeno esperado a pesar de haber sido suplementados adecuadamente, ya que la casulla es muy pobre en carbohidratos, lo cual dificulta a los microorganismos termofílicos transformar y fijar el nitrógeno suplementado.

El factor más importante para inducir a la cosecha es la ventilación. Si es insuficiente no se induce o el desarrollo de los hongos se ve afectado, produciéndose anomalías físicas y disminución en el rendimiento. Después de cada riego es muy importante reciclar el aire para disminuir la humedad y prevenir enfermedades bacterianas.

Los mejores resultados se obtuvieron utilizando como materia prima paja de arroz, ya que su fibra es más permeable, más densa y compacta que la del heno, lo cual permite una mejor fermentación y desarrollo del micelio.

No se encontró diferencia significativa entre utilizar yeso o carbonato de calcio; ni entre utilizar gallinaza y urea o solamente urea como fuente nitrogenada; ni en el uso o no de melaza.

Los bajos rendimientos se deben a la deficiencia en nitrógeno del medio, ya que se demostró que el nitrógeno posee una correlación directa con la productividad del compost. Otro factor que afectó en un alto grado fue la inadecuada circulación del aire, que ocasionó retraso en la aparición de la cosecha.

Con los rendimientos obtenidos, la actividad no logra ser rentable. Sin embargo, mejorando el manejo, puede llegar a constituir una actividad lucrativa.

6. RECOMENDACIONES

Dar un adecuado acondicionamiento al compost después de la pasteurización, manteniendo una temperatura entre 47–55 °C hasta que el amonio se haya fijado en el compost.

No utilizar casulla de arroz ya que es muy pobre en nutrientes y suplementarla con materiales ricos en carbohidratos sería antieconómico.

Mejorar las instalaciones para proporcionar una adecuada ventilación y reciclar el aire inmediatamente después de cada riego.

Utilizar como ingrediente base la paja de arroz.

Realizar un adecuado estudio de mercado e iniciar la producción comercial, dejando las instalaciones actuales para estudios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALEXOPOULOS, C.P., MINS, C.W. 1979. Introductory mycology. New York, USA. John Wiley & Sons. 632 p.
- CHANG, S.T., MILES, P.G. 1989. Edible mushrooms and their cultivation. Boca Raton, Florida, USA. CRC Press,. p. 81-89, p.171-187
- _____. 1991. Cultivated mushrooms. pag. 221-239. *En*: Aurora, D.K., Mukerji, K.G., Marth, E.H. (eds.). Handbook of applied mycology- Foods and feeds. New York, USA. Marcel Dekker.
- DEACON, J.W. 1990. Introducción a la micología moderna. Mexico. Editorial Limusa. 350p.
- FLEGG, P.B., SPENSER, D.M., WOOD, D.A. 1985. The biology and technology of the cultivated mushroom. Littlehampton, U.K. John Wiley & Sons. p. 29-231
- Citado por: Sinnibaldi, A. 1996. Producción de champiñones bajo las condiciones del Valle del Zamorano. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 45p.
- FRANCIS. 1983. Cultivo rentable de champiñones y trufas, manual práctico. España. Editorial De Vecchi. 127 p.
- GUZMAN, B.. 1979. Identificación de los hongos. Mexico. Limusa. 450 p.
- KINRUS, A. 1976. Information on mushroom growing and the mushroom industry. USA. American Mushroom Institute. 54 p
- LAMBERT, E.B. 1972. El cultivo del champiñon en los Estados Unidos. Mexico. Centro Regional de Ayuda Tecnica. AID. 13 p.
- LOPEZ CONTINI, E. 1990. Cultivo del Champiñón, la Trufa y otros Hongos. España. Editorial Aedos. 132 p.
- LOPEZ, G., LOPEZ, J. 1995. Introducción al micro SAS: Aplicación de experimentos Agrícolas. Costa Rica. CATIE. 119 p.
- MOLESTINA, C.J. 1988. Fundamentos de comunicación científica y redacción técnica. Costa Rica. IICA. 268 p.

- MOLL, H.M. 1986. El champiñón, economía, producción y comercialización. España. Universidad de Zaragoza. 87 p.
- PACIONI, G. 1987. El cultivo moderno del champiñón. España. Editorial De Vecchi. 73 p.
- QUIMIO, S.T., CHANG, S.T., ROYSE, D. 1990. Technical guidelines for mushroom growing in the tropics. Roma, Italia. FAO. 153 p.
- RAMBELLI, A. 1983. Manual on mushroom cultivation. Roma, Italia. FAO. 65 p.
- RIGAU, A. 1985. Champiñones y trufas. Barcelona, España. Editorial Sintet, S.A. 167 p.
- SANCHEZ. 1994. Producción de hongos comestibles. México. CIES. 107 p.
- SIMS, W.L, HOWARD, F.D. 1972. Growing mushrooms. California, USA. Division of Agricultural Sciences, University of California. 7 p.
- SINNIBALDI, A. 1996. Producción de champiñones bajo las condiciones del Valle del Zamorano. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 45p.
- SOBRINO, E., SOBRINO E. 1994. Tratado de horticultura herbácea. Tomo III. Hortalizas de hoja, raíz y hongos. España. Editorial Aedos. 313 p.
- SUSLOW, T.V., CANTWELL, M. 1997. Produce facts: Recommendations for maintaining postharvest quality: mushrooms. California. University of California. 3p. <http://pom44.ucdavis.edu/pfmus.html>
- VEDDER, P.J.C. 1978. Cultivation. pag. 377-390. *En*: Chang, S.T., Hayes, W. (eds.). The biology and cultivation of edible mushrooms. New York. Academic Press.
- _____. 1996. Cultivo moderno del champiñón. España. Grupo Mundi-Prensa. 369 p.
- YATES, F. 1933. The analysis of replicated experiments when the field results are incomplete. *Emp. Jour. Exp. Agri.*, 1: p. 129-142.
- Citado por: LeCLERG, E.L., LEONARD, W.H., CLARCK, A.G. 1966. Field plot technique. Minnesota. Burgess Publishing Company. P. 146-147

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Recomendaciones de yeso y carbonato de calcio	9
2.	Tratamientos y su formulación.....	19
3.	Dimensiones de los cúmulos.....	20
4.	Contenido inicial de nitrógeno.....	23
5.	Disminución del volúmen de los cúmulos por el compostaje.....	24
6.	Humedad, pH y % de nitrógeno antes de pasteurizar.....	26
7.	PH y % de nitrógeno después de la pasteurización.....	26
8.	Correlación entre % N, costo total, rendimiento y # hongos/ m ²	29
9.	Análisis de varianza.....	30
10.	Comparación de medias. Prueba de Duncan en rendimiento (kg/ m ²).....	30
11.	Contrastes.....	31
	
12.	Ingresos, egresos, rentabilidad sobre costos y puntos de equilibrio por tratamiento.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura

1. Temperatura del compost en la pasteurización..... 25

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Formulación en base a % de nitrógeno.....	38
2.	Período de producción de los tratamientos y sus repeticiones.....	39
3.	Rendimiento total por tratamiento y repetición.....	43
4.	Estado de resultados.....	44
5.	Fotografías.....	52

