

ZAMORANO

Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

**Evaluación de tres materiales como sustrato y
dos materiales como tierra de cobertura para
el cultivo del champiñón (*Agaricus bisporus*
(Lange) Sing.)**

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

Presentado por:

Luis Rubén García Ortiz

Honduras
Diciembre, 2002

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.

Luis Rubén García Ortiz

Honduras
Diciembre, 2002

**Evaluación de tres materiales como sustrato y dos materiales
como tierra de cobertura para el cultivo del champiñón
(*Agaricus bisporus* (Lange) Sing.)**

presentado por:

Luis Rubén García Ortiz

Aprobada:

M.Sc. Rony Muñoz
Asesor Principal

Jorge Iván Restrepo, M.B.A
Coordinador de Carrera de
Ciencia y Producción
Agropecuaria

M.Sc. José María Miselem
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano Académico

Alfredo Rueda, Ph.D.
Coordinador de área temática

Mario Contreras, Ph.D.
Director Ejecutivo

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre, Gloria Estela, por haberme dado un gran ejemplo en vida y por acompañarme siempre.

A mi papá, Anarco García.

A mis hermanos Gloria y Enrique.

A mis sobrinos Maripaz, Valeria, Enrique José y los que estén en camino.

A Marielos García.

A mis abuelos, tías, tíos, primas y primos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser el creador de todo lo que conocemos y lo que no conocemos, por acompañarme en todo momento, por darme la salud, la fortaleza y el carácter necesario para llegar hasta éste punto de mi vida. También por darme la oportunidad de realizar mis estudios en Zamorano.

A mis padres, por darme un gran ejemplo. A mi papá por haber creído en mi, darme la oportunidad de estudiar en Zamorano, estar siempre conmigo, por haberse preocupado de que todos sus hijos se convirtieran en profesionales y haber hecho el esfuerzo económico.

A mis hermanos por el apoyo que me han dado toda la vida, por haberse preocupado por mí y por los sobrinos que me han dado.

A mi abuelo Rubén, por darnos el ejemplo de trabajo arduo, a mi abuela Tita por darnos el ejemplo de cariño y paciencia. A mis tíos y tías, primos y primas, por la familia que tenemos.

A Marielos García, por ser mi fuente de inspiración, por todo el apoyo que me ha dado, por su amor y comprensión, por tener la paciencia de esperarme y haber sufrido conmigo estos cuatro años. ¡MUCHAS GRACIAS!

A mis amigos de Zamorano, Alejandro Cruz, Roberto Ordóñez, Javier Velasco, Edgar Barillas, Fernando Penagos, Eduardo Gurdián, Ricardo Mejía, Pedro Arguello, Simón Oramas, José Alvarado, Carlos Soto, Mauricio Rivera, Arturo López, Luis Aguilar, Agustín García, Regina de León, Ana Silvia Rivera, Karla Orellana, Gaby Salazar, Cynthia Machado, Kyra Cálix, Eva Borjas, Marlon García, William Moncada, Mario Hurtado, Silvana Arias, Dina Fernández, Daniel Murcia, Nidia Rodríguez, Edwin Vinuesa, René Martínez y a los que no mencioné, gracias por su amistad durante estos años. Hasta siempre colegas.

A mis asesores de tesis, por todos los conocimientos que compartieron conmigo y en especial al Ing. Rony, por haberme dado la atención debida.

A Oscar, Marvin, Raúl, Matute y Anita, por haberme ayudado durante el experimento de mi tesis. A todo el personal de Horticultura, muchas gracias.

A la empresa Bayer, por el apoyo económico que me dieron durante estos cuatro años.

Al Ing. Rolando Amado, por darme la oportunidad de realizar mi pasantía en Bayer.

A mi alma mater y a todas las personas de quienes pude aprender algo en esta escuela.

A las personas que no nombré y que deberían estar, muchas gracias!!!

RESUMEN

García, Luis. 2002. Evaluación de tres materiales como sustrato y dos materiales como tierra de cobertura para el cultivo del champiñón (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing.). Proyecto Especial como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 28 p.

Actualmente el champiñón es el hongo más cultivado en el mundo. La producción de champiñones en Centroamérica es relativamente nueva y poco conocida. En países desarrollados se ha incrementado su cultivo debido al alto valor nutricional. El sustrato ideal es la paja de trigo y estiércol de caballo. Como tierra de cobertura se usa musgo que debe ser importado. Debido a la escasez de estos materiales en algunos lugares, se requiere desarrollar sustratos y tierras de cobertura como materiales alternativos. La investigación tuvo el propósito de evaluar el efecto de materiales locales de fácil disponibilidad para la elaboración del sustrato utilizado como medio de crecimiento y humus de lombriz como tierra de cobertura. Como sustrato se utilizó paja de arroz (*Oryza sativa*), pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y pasto guinea (*Panicum maximum*), así también musgo con humus de lombriz en proporción 1:1 y solamente musgo como tierras de cobertura en cada uno de los sustratos. Para la elaboración de los sustratos se utilizó una galera con piso de hormigón. Para la pasteurización de los sustratos, siembra, crecimiento vegetativo y cosecha se utilizó una cámara con ambiente controlado. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (BCA) con un factorial de 3×2 . Los mejores rendimientos fueron el sustrato de paja de arroz (20.09 kg/m^2) y la tierra de cobertura de musgo y humus de lombriz (14.45 kg/m^2). La combinación del sustrato de paja de arroz y tierra de cobertura con musgo y humus de lombriz resultó tener el mayor rendimiento (20.58 kg/m^2) y la mayor rentabilidad sobre los costos (213%). La tierra de cobertura de musgo y humus de lombriz ayudó a incrementar el rendimiento en los tres sustratos, pero la calidad del sustrato es determinante para un buen desempeño del hongo.

Palabras clave: Sustrato, tierra de cobertura, hongos.

Abelino Pitty, Ph.D.

NOTA DE PRENSA

PRODUCCIÓN DE CHAMPIÑONES EN ZAMORANO

Los champiñones o también conocidos como hongos, constituyen un cultivo por el cual se va teniendo, poco a poco, mayor cultura de consumo dentro de la población. Ya no solo se ven en pizzas sino también acompañando otro tipo de platos como ensaladas, carnes, etc. En países desarrollados es bastante consumido por su sabor y por sus características nutricionales comparables con la carne, ya que tiene un alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. También se le atribuyen propiedades terapéuticas como antibiótico y anticancerígeno natural. Sin embargo, en Honduras es poco o nada lo que se conoce sobre ellos.

Para tener éxito en este cultivo se deben tener las instalaciones adecuadas para darle las condiciones más favorables al hongo. Se puede realizar en cuartos o bodegas en desuso o bien construir instalaciones nuevas para ese uso en particular ya que se necesitan cuartos cerrados y acondicionados para poder manejar el ambiente del recinto.

En la Escuela Agrícola Panamericana “El Zamorano” se realizó un experimento en el que se probaron tres materiales para la elaboración del medio de crecimiento. Se usaron paja de arroz, pasto estrella y guinea suplementados respectivamente con pollinaza, urea y yeso. Como podemos observar, son la mayoría 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 medios de crecimiento se probaron también dos materiales como tierra de cobertura, la cual es necesaria para obtener un buen rendimiento. Los materiales utilizados como tierra de cobertura en cada uno de los medios de crecimiento fueron promoss y humus de lombriz mezclado con promoss en proporción 1:1.

La elaboración de los medios de crecimiento tardó 20 días en los que se mezclaron los componentes y se hicieron un total de siete volteos. Al terminar su preparación se procedió a llevarlos dentro de la cámara de cultivo donde se pasteurizaron. A los 14 días de haber sembrado se colocó la capa de tierra de cobertura. A los 34 días de haber inoculado los sustratos empezó la cosecha, la cual tuvo una duración de 39 días.

El mejor rendimiento se obtuvo con el medio de crecimiento a base de paja de arroz y tierra de cobertura de humus de lombriz mezclado con promoss (20.58 kg/m²) por lo que se recomienda usar esta combinación.

Licda. Sobeyda Álvarez

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. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	
1.1.1 Objetivos específicos.....	
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Clasificación.....	3
2.2 Morfología, anatomía y reproducción.....	3
2.3 Factores ambientales y nutrición.....	4
2.4 Producción de Compost.....	5
2.5 Inoculación y colonización del sustrato.....	6
2.6 Tierra de cobertura.....	6
2.7 Cosecha.....	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 Ubicación.....	8
3.2 Tratamientos y diseño experimental.....	8
3.3 Proceso de producción.....	9
3.3.1 Preparación del compost.....	9
3.3.2 Pasteurización y acondicionamiento.....	10
3.3.3 Siembra y crecimiento vegetativo.....	11
3.3.4 Tierra de cobertura.....	11
3.3.5 Rastrillado.....	12
3.3.6 Estimulación para la transición.....	12
3.3.7 Cosecha.....	12
3.4 Post-cosecha y comercialización.....	12
3.5 Variables medidas en el ensayo.....	13
3.6 Análisis económico.....	13
3.6.1 Presupuesto parcial.....	13
3.6.2 Análisis de dominancia.....	13
3.6.3 Tasa de retorno marginal.....	13
3.1.6 Rentabilidad sobre los costos.....	13
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4.1 Preparación del compost.....	14

4.2	Pasteurización y acondicionamiento.....	15
4.3	Siembra y crecimiento vegetativo.....	15
4.4	Tierra de cobertura.....	16
4.5	Cosecha.....	16
4.6	Análisis estadístico.....	17
4.7	Análisis económico.....	18
5.	CONCLUSIONES.....	23
6.	RECOMENDACIONES.....	24
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
8.	ANEXOS.....	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Materiales evaluados para elaborar compost y tierra de cobertura en el ensayo.....	9
2.	Tratamientos y su formulación.....	9
3.	Análisis bromatológico después de pasteurización y acondicionamiento en los tres sustratos en porcentaje sobre la materia seca.....	15
4.	Efecto de los tres sustratos, las dos tierras de cobertura y sus interacciones en el rendimiento (kg/m ²).....	17
5.	Presupuesto parcial de los costos variables para las interacciones en los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.....	19
6.	Análisis de dominancia para las interacciones en los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.....	21
7.	Tasa de retorno marginal para los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura que fueron dominantes en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.....	22
8.	Rentabilidad sobre los costos para las interacciones en los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Temperatura del sustrato durante la pasteurización y acondicionamiento.....	10
2.	Temperatura de los materiales en los volteos al centro de los cordones.....	14
3.	Curva de beneficios netos.....	21

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Costos comunes de insumos para los tratamientos.....	27
2.	Costos de mano de obra para los tratamientos.....	28
3.	Costos de insumos y mano de obra comunes para los tratamientos.....	28

1. INTRODUCCIÓN

La producción de champiñones en la región es relativamente nueva y poco conocida. Actualmente el champiñón (*Agaricus bisporus*) es el hongo comestible más cultivado en el mundo. En países desarrollados se ha incrementado este cultivo debido a sus propiedades nutricionales, ya que es rico en proteínas, vitaminas y minerales. Un kilogramo de champiñones secos contiene tanta proteína como un kilogramo de carne de vacuno, es bajo en carbohidratos, grasas y colesterol.

El champiñón como todo hongo carece de clorofila, es un organismo heterótrofo, éstos son todos los seres vivos que no son capaces de sintetizar los hidratos de carbono por lo cual obtiene su alimento absorbiendo compuestos inorgánicos y orgánicos de los sustratos donde se desarrolla (Vedder, 1979).

El medio de crecimiento ideal para su cultivo es la paja de trigo, que provee una buena estructura al sustrato, y el estiércol de caballo como fuente de nitrógeno. Debido a la escasez de estos materiales en algunos lugares, se han desarrollado otros sustratos elaborados con otro tipo de material vegetal seco y estiércol proveniente de aves por lo general.

Para obtener rendimientos exitosos se necesita controlar el ambiente donde se desarrolla el champiñón. Se debe contar con las instalaciones debidas para proporcionarle al hongo la temperatura, humedad, ventilación y asepsia necesaria para su apto desarrollo. Puede ser cultivado en casi todos los climas si se le dan las condiciones necesarias. Una limitante podría ser el alto costo de la energía en algunos países. El proceso de producción total para la producción de champiñones incluye cuatro etapas: la fermentación libre, la fermentación controlada, la siembra y crecimiento vegetativo y el crecimiento generativo (Muñoz, 2001).

El proceso de fermentación libre comprende la mezcla y fermentación del compost. En la fermentación controlada se pasteuriza el sustrato y se acondiciona para la siembra. Inmediatamente después de la siembra comienza el crecimiento vegetativo, el micelio del hongo empieza a invadir el sustrato. Finalmente se llega a la etapa del crecimiento generativo que comprende la formación del champiñón y su cosecha.

El presente ensayo se realizó en la sección de producción de champiñones de la Zamoempresa de Cultivos Intensivos de El Zamorano, en donde tradicionalmente se utiliza paja de arroz y pollinaza para elaborar el compost. Debido a la escasez de la paja de arroz en ciertos meses del año en la zona y también con el afán de disminuir costos se vio la necesidad de investigar sobre otros materiales que sustituyeran a la misma. Con los objetivos de abaratar costos y buscar alternativas se buscó también un material para sustituir al musgo utilizado que es necesario usar como tierra de cobertura, el cual es un insumo importado.

La presente investigación tuvo el propósito de evaluar diferentes materiales vegetales para la elaboración del compost, así como también el efecto de usar humus de lombriz como tierra de cobertura. En la formulación de los sustratos se utilizaron paja de arroz (*Oryza sativa*), pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y pasto guinea (*Panicum maximum*).

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de materiales locales de fácil disponibilidad para la elaboración del compost utilizado como medio de crecimiento y humus de lombriz como tierra de cobertura en el cultivo del champiñón.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la paja de arroz, el pasto estrella y guinea como materiales para la elaboración del compost.
- Evaluar el humus de lombriz como tierra de cobertura.
- Determinar la rentabilidad de los materiales locales.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CLASIFICACIÓN

El champiñón pertenece al reino Fungi, filo Basidiomycota, clase Homobasidiomicetes, subclase Himenomicetes, orden Agaricales, familia Agaricaceae y género *Agaricus*.

Se conocen tres especies a las que se les da el nombre de champiñón, *Agaricus bisporus* (Lange) Sing., *Agaricus bitorquis* (Quelet) Sacc. y *Agaricus subrufescens* (Peck). Según López (1990), la característica que hace diferentes a estas especies son los carpóforos, además de tener diferentes necesidades climáticas, aunque el sustrato sobre el cual se desarrollan sea el mismo. La especie de mayor importancia comercial es *Agaricus bisporus* de la cual, existen varias cepas (Albarracín y Di Fiore, 1998).

2.2 MORFOLOGÍA, ANATOMÍA Y REPRODUCCIÓN

Los champiñones son los carpóforos o fructificaciones, la parte 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; este vive totalmente bajo tierra. Frecuentemente, estos filamentos se aglomeran, y se pueden observar a simple vista. Cuando las hifas se entrelazan en forma compacta dan origen al carpóforo (Vedder, 1979).

El color blanco del micelio es debido, entre otras causas, al aire que encierran los pequeños huecos entre filamentos y a los cristales de oxalato cálcico que recubren el micelio. En ciertas condiciones, el micelio forma cordones espesos por aglomeración de numerosos filamentos micelianos. Al final de estos cordones aparecerán a su vez los carpóforos, en forma de pequeñas bolas, llamados granos o primordios (Vedder, 1979).

El desarrollo de estos granos da lugar a los carpóforos, constituidos por pie (estípite) y sombrero (píleo). El pie esta constituido por un conjunto de filamentos de micelio 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 desgarrar 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 (Ferran, 1969).

Cuando una espora se encuentra en un medio favorable, germina y se desarrolla, dando un filamento espeso y globuloso, el tubo germinativo. El tubo germinativo continúa desarrollándose y se ramifica, formando así el micelio (Vedder, 1979).

2.3 FACTORES AMBIENTALES Y NUTRICIÓN

El champiñón es un organismo heterótrofo, estos son todos los seres vivos que no son capaces de sintetizar los hidratos de carbono u, ocasionalmente, otras sustancias. El champiñón, que pertenece a este grupo, está desprovisto de clorofila y por lo tanto puede crecer perfectamente en oscuridad total. Pero esto significa también que debe encontrar en el sustrato los hidratos de carbono (azúcar, materia celulósica, etc.) listos para consumo, lo mismo que otras sustancias orgánicas, como proteínas y grasas. El champiñón crece, como la mayoría de los hongos, sobre materias de origen vegetal muertas, o más o menos degradadas. Esto implica que el champiñón pertenece al grupo de los saprofitos (Vedder 1979).

En la práctica del cultivo se utilizan compost de estiércol y material vegetal seco junto con otros aditivos. El champiñón, debido a su falta de clorofila, no puede transformar el dióxido de carbono en azúcares, como hacen las plantas verdes, y los absorbe del compost. Otro nutriente muy importante es el nitrógeno, constituyente de muchas moléculas orgánicas. El champiñón no puede absorber nitratos y no soporta las sales amoniacales, más que en concentraciones muy débiles. Sólo son útiles en la nutrición del champiñón los compuestos nitrogenados del tipo aminoácido o proteína, combinados con el complejo húmico que tiene la capacidad de facilitar su asimilación por las células de la hifa. 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 medio se haría insostenible. Es recomendable que el medio tenga un pH de 7.5. El micelio también libera al medio alcohol etílico, acetato de etilo, etileno y otras sustancias que contribuyen al olor característico de las champiñoneras (López, 1990).

En cuanto al oxígeno, el hongo respira y necesita una ventilación suficiente que sirve, además, para remover el dióxido de carbono que resulta de la respiración. En efecto, el desarrollo del hongo es afectado con concentraciones de CO₂ superiores al 2-3 % y los granos se forman con concentraciones menores al 0.2 %. De aquí que la ventilación sea un tema delicado en el cultivo (López, 1990).

Otro factor importante es la temperatura ya que los mejores rendimientos se consiguen dentro de márgenes estrechos. Se considera que el intervalo entre 22 y 27 °C es el más adecuado para el crecimiento de micelio, siendo el óptimo de 25 °C. Si la temperatura supera los 35 °C se detiene el desarrollo del hongo (López, 1990). Para el desarrollo del grano y el crecimiento del champiñón, el intervalo favorable está entre 16 y 18 °C, manteniéndose así hasta el final de la cosecha.

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

2.4 PRODUCCIÓN DE COMPOST

Tradicionalmente, el sustrato utilizado en el cultivo del champiñón ha sido el estiércol de caballo y paja de trigo. La escasez de este ha llevado a la obtención de compost artificial o al uso de sistemas mixtos que emplean un cierto porcentaje de estiércol de caballo mezclado con paja y aditivos.

El sustrato o compost desempeña en el cultivo del champiñón las funciones de sostén y nutrición. El micelio coloniza el sustrato en busca de las sustancias nutritivas, al igual que las raíces de las plantas en la tierra. Por ello, en el caso del champiñón, el sustrato debe aportar la materia orgánica en forma asimilable así como los minerales necesarios (López, 1990).

Para preparar compost para champiñón pueden utilizarse toda clase de materias de origen vegetal. En muchos casos se utiliza paja de diferentes cereales como materia básica para la fabricación de compost. Partiendo de materias no totalmente muertas y secas, no puede prepararse compost de calidad. A estas materias de origen vegetal deben añadirse suplementos nitrogenados en forma orgánica, como lo es el estiércol de pollo entre otros (Vedder, 1979).

Según Vedder (1979), la fermentación se divide en dos fases con fines bien definidos. En la primera fase los materiales del compost deben ser sometidos a una fermentación llamada libre o compostaje. En esta desencadenan procesos químicos y biológicos que no se controlan. El compost debe ser volteado, para que todas las partículas participen del proceso y se garantice un suministro adecuado de oxígeno en todo el cordón de fermentación. Su fin es mezclar, airear, suplementar, humedecer y homogenizar el sustrato. Esta fase puede durar entre dos y tres semanas según el esquema que se use.

El compost debe reunir ciertas características físicas y químicas después de la primera fase de fermentación. El pH debe ser aproximadamente de 8.5 y el porcentaje de nitrógeno sobre la materia seca debe ser 1.6-1.8 %. La concentración de amonía entre 600 a 800 ppm. El contenido de humedad alrededor de 72 %. Manchas blanquecinas en el compost por presencia de actinomicetos y la temperatura del cordón debe estar entre 65 y 80 °C.

En la segunda fase, llamada fermentación dirigida y controlada, los materiales fermentados deben ser sometidos a un proceso de pasteurización de 4 a 6 horas entre 58 y 60 °C, con el fin de eliminar organismos perjudiciales como arañas, huevos y larvas de mosca, nematodos, hongos patógeno, entre otros. El compost se coloca en cámaras que reúnan las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y oxigenación. Luego de la pasteurización se realiza el acondicionamiento durante 6 a 8 días, reduciendo gradualmente la temperatura hasta 25 °C.

Estas dos fases de fermentación tienen como fin convertir los materiales del compost en un medio selectivo para la producción de champiñones. La fermentación es realizada por microorganismos (hongos y bacterias).

2.5 INOCULACIÓN Y COLONIZACIÓN DEL SUSTRATO

Después del acondicionamiento se debe sembrar lo más pronto posible en el compost selectivo. Si ocurre una tardanza, el compost podría infectarse y perder su selectividad. La dosis de semilla para la siembra es de 4 kg/T de compost fresco. Se requiere que el CO₂ se incremente para que crezca el micelio, por esta razón no debe haber ventilación de aire fresco (Muñoz, 2001).

La siembra se hace mezclando homogéneamente la semilla a través de todo el perfil del compost. Esto permite que el micelio del hongo crezca lo más pronto posible y aproveche mejor el sustrato. Después de la siembra se compacta el compost, ya que el micelio crece mejor en compost compactado que en compost suelto (Muñoz, 2001).

Durante el crecimiento del micelio la humedad relativa del local se debe mantener entre 90 y 95 %. El micelio del hongo tarda aproximadamente catorce días en colonizar el sustrato (Muñoz, 2001).

2.6 TIERRA DE COBERTURA

Para estimular la producción de carpóforos es necesario cubrir el compost con una capa superficial de tierra de cobertura. Esta se coloca una vez que se termina el proceso de incubación del micelio (Albarracin y Di Fiore, 1998).

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 (Vedder, 1996).

Según Duarte (1998), 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.

Para una buena tierra de cobertura se deben de considerar varios factores. Estos son la capacidad para retener agua, un pH adecuado (6.7-7.7), un contenido bajo en carbohidratos de fácil descomposición para evitar el crecimiento de microorganismos competidores y una textura liviana y suelta para prevenir una concentración alta de CO₂ durante la fructificación y la cosecha (Muñoz, 2001).

2.7 COSECHA

La formación de carpóforos tiene lugar generalmente mediante oleadas, las cuales son muy marcadas al principio y disminuyen con el tiempo. 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 sombrero así como en el grado de tensión del velo. La recolección se debe efectuar diariamente (Duarte, 1998).

La cosecha se mantiene por tres o cuatro 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 termino 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).

Se debe mantener la humedad relativa entre 85 y 90 % durante esta fase. El riego durante la cosecha se realiza cuando los primordios están ralos, si ya esta lleno de champiñones no se debe regar. La cosecha puede llegar a durar unas cinco semanas (Muñoz, 2001).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El ensayo se realizó en las instalaciones de producción de champiñones de la zona III de la Zamoempresa de Cultivos Intensivos (ZECI) de “El Zamorano”, ubicado en el Valle del Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. Geográficamente está ubicado a 14° grados latitud norte y 87° longitud oeste, a una altura de 800 msnm y con una temperatura media anual de 26.5°C.

3.2 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Las materias primas para formular los medios de crecimiento fueron paja de arroz (*Oryza sativa*), pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y pasto guinea (*Panicum maximum*) suplementados con pollinaza, urea y yeso (CaSO_4), respectivamente. Para la tierra de cobertura se utilizó musgo (Promoss™) y humus de lombriz.

Este humus de lombriz fue obtenido de la sección de lombricultura de la ZECI. La dieta de las lombrices fue estiércol de caballo solamente y tardó aproximadamente seis meses en producirse. En el Cuadro 2 se pueden observar las proporciones que se usaron en cada tratamiento.

Para evaluar el efecto de los diferentes materiales para la elaboración del compost y la utilización de humus en la tierra de cobertura se realizó el ensayo con un diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA) con un factorial de 3x2 con cuatro repeticiones. Cada bloque constaba de un cajón (145 cm x 90 cm) dividido en seis partes iguales, una para cada tratamiento. Cada unidad experimental fue de 2175 cm². En el Cuadro 1 se muestran los materiales utilizados en el ensayo en cada tratamiento.

Cuadro 1. Materiales evaluados para elaborar compost y tierra de cobertura en el ensayo.

Tratamiento	Material Vegetal	Tierra de Cobertura	Proporciones (%)
T1	Paja de Arroz	Musgo	100
T2	Paja de Arroz	Musgo + Humus	50:50
T3	Pasto Estrella	Musgo	100
T4	Pasto Estrella	Musgo + Humus	50:50
T5	Pasto Guinea	Musgo	100
T6	Pasto Guinea	Musgo + Humus	50:50

Para analizar los datos se utilizó el programa estadístico MINITAB, realizando un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias de Tukey.

3.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN

3.3.1 PREPARACIÓN DEL COMPOST

El compost fue preparado dentro una galera con piso de hormigón. Los materiales fueron mezclados y se les hizo un total de siete volteos para que tuvieran la fermentación aeróbica que necesitaban los sustratos para su debida preparación. Al doceavo día de haber comenzado el proceso se le añadió el yeso. El yeso tiene el propósito de no permitir que el sustrato se vuelva grasoso y permitir así mayor aireación en el mismo. A partir del doceavo día se tomaron temperaturas de los cordones cada vez que se hacia un volteo de los sustratos. Durante el compostaje fue monitoreada la temperatura de los sustratos en cada volteo con un termómetro. El proceso de fermentación libre tardó veinte días desde empezar a mojar los materiales vegetales secos hasta entrar los sustratos ya preparados a los cuartos de cultivo.

Cuadro 2. Tratamientos y su formulación.

Tratamiento	Material Vegetal	Cantidad	kg			Tierra de Cobertura	Proporciones (%)
			Pollinaza	Urea	Yeso		
T1	Paja de Arroz	1400	630	8.4	78	Musgo	100
T2	Paja de Arroz	1400	630	8.4	78	Musgo + Humus	50:50
T3	Pasto Estrella	300	132	1.8	17	Musgo	100
T4	Pasto Estrella	300	132	1.8	17	Musgo + Humus	50:50
T5	Pasto Guinea	300	107	1.8	17	Musgo	100
T6	Pasto Guinea	300	107	1.8	17	Musgo + Humus	50:50

La cámara de producción tiene la capacidad de 43 m², ésta es cultivada con sustrato hecho a base de paja de arroz regularmente. El ensayo ocupó 5.22 m², es por esto que el sustrato hecho con paja de arroz tiene más volumen ya que debía cubrir el resto de área de producción. Los sustratos a base de pasto estrella y guinea no se usaron en su

totalidad, se hicieron de este volumen para que tuvieran un proceso adecuado de fermentación.

A los veinte días de haber empezado el proceso se procedió a introducir los sustratos a la cámara de producción. Los cajones en donde se depositó el compost son de madera de pino. Los cajones fueron previamente desinfectados con caldo bordeles, esto se hizo para controlar hongos que compiten con el champiñón. Las unidades experimentales de los tratamientos que llevaban sustrato a base de paja de arroz fueron llenadas con el equivalente a 110 kg/m^2 . Las unidades experimentales de los tratamientos que llevaban sustrato a base de pasto estrella y guinea fueron llenadas con el equivalente a 57 y 46 kg/m^2 , respectivamente. Con estos dos materiales no fue posible cumplir con el requerimiento de 110 kg/m^2 ya que debido a su consistencia no cupieron físicamente dentro del espacio.

3.3.2 PASTEURIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

Para todas las etapas desde la pasteurización hasta la cosecha se utilizaron dos cuartos cerrados, unidos entre sí. Estos cuartos cuentan con dos unidades de aire acondicionado y un ventilador. También se cuenta con un termómetro a distancia con seis sensores y un medidor de humedad relativa. La pasteurización fue realizada al día siguiente de haber introducido los sustratos a los cuartos de cultivo, para este fin fue utilizada una caldera. La temperatura del compost fue llevada a temperaturas entre 55 y 60 °C por aproximadamente cuatro horas. Después de esto fue introducido aire fresco para no dejar que la temperatura subiera de 60 °C en el compost.

La temperatura fue gradualmente bajada con la ayuda del ventilador y de las unidades de aire acondicionado durante siete días hasta llevar la temperatura del compost a 25 °C. Así se dio la fermentación controlada que necesitaban los sustratos para darle un medio de crecimiento selectivo para el champiñón (Figura 1).

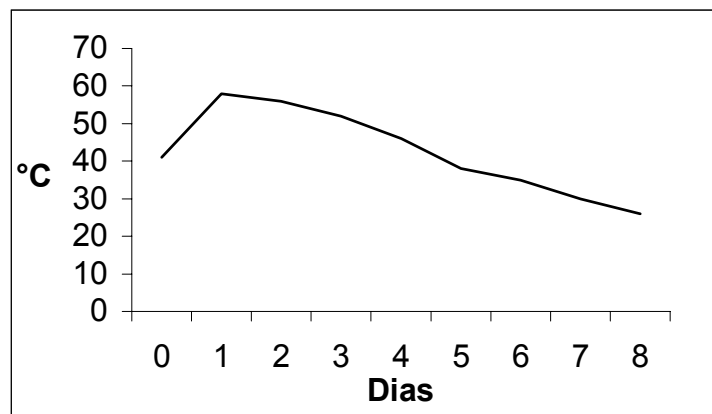


Figura 1. Temperatura del sustrato durante la pasteurización y acondicionamiento.

El día cero de la Figura 1 se refiere al día en que se introdujeron los materiales a la cámara de cultivo y el día 1 el momento en que se hizo la pasteurización.

3.3.3 SIEMBRA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO

La siembra se realizó cuando se terminó de acondicionar los sustratos, estando éstos a 25 °C que es la temperatura requerida para el crecimiento vegetativo de la especie *Agaricus bisporus*. Lo que se usa para inocular el medio de crecimiento son granos de trigo impregnados de micelio del hongo. La variedad utilizada en este ensayo fue Sylvan 130.

Un día antes de la siembra la semilla se frotó para deshacer los grumos que se habían formado. Se usó el equivalente a 0.46 kg/m² de semilla para cada tratamiento. La semilla se revolvió uniformemente en los sustratos y luego fueron compactados hasta que estos quedaran a una pulgada debajo del nivel del cajón. Después de compactar se echaron algunos granos sobre los sustratos ya compactados. Por último se puso papel periódico sobre los sustratos para mantener la humedad y proteger al champiñón de posibles patógenos.

El papel periódico se regó con un nebulizador durante el crecimiento vegetativo cuando se observaba que los sustratos estaban resacos. La temperatura de los sustratos durante el crecimiento vegetativo fue de 25 °C y la humedad relativa del cuarto fue mantenida entre 90 y 95 %. También se mantuvo la circulación del aire interno con el ventilador sin dejar entrar aire fresco durante todo el crecimiento vegetativo.

3.3.4 TIERRA DE COBERTURA

A los 14 días de haber inoculado los sustratos se agregó la cobertura, momento en que el micelio había invadido el compost. Previamente se preparó y se desinfectaron los materiales. Se aplicó 1 kg de carbonato de calcio (CaCO₃) por cada kilogramo de musgo para neutralizar el pH. Al humus no se le aplicó carbonato de calcio (CaCO₃) ya que el análisis mostró que tenía un pH neutro. Luego se mezcló una parte del musgo con el humus en proporción 1:1, para los tratamientos 2, 4 y 6 (Cuadro 1). El musgo fue importado de Canadá y el humus de lombriz fue conseguido de la sección de agricultura orgánica de la ZECl.

El musgo fue desinfectado con formalina usando 2 L/m³. Se iba volteando el musgo mientras se le aplicaba la formalina y por último se tapó con plástico durante 48 horas para que la formalina no se evaporara.

El humus fue desinfectado por separado con vapor ya que este es más propenso a ser colonizado por otros organismos que pueden competir con el champiñón o pueden ser patógenos. Se utilizó una caldera para desinfectarlo, tratando de elevar su temperatura entre 60 y 65 °C durante cinco horas. Al principio la temperatura subió hasta 75 °C durante aproximadamente 20 minutos pero después se pudo mantener dentro del rango recomendado.

La tierra de cobertura quedó puesta sobre los sustratos con una altura de 4 cm. Después de su aplicación se aplicó formalina al 3 % con bomba de mochila en toda la cámara incluyendo la tierra de cobertura para evitar patógenos.

Todos los tratamientos fueron regados cada vez que era necesario para mantener la tierra de cobertura con suficiente humedad para el desarrollo del champiñón. Cada vez que se regaba se aplicaban 0.5 L/m² aumentando la cantidad hasta 4 L/m² a manera que se iba desarrollando el micelio del hongo.

3.3.5 RASTRILLADO

A los 22 días después de haber inoculado los sustratos se hizo el rastrillado, cuando el micelio había colonizado tres cuartas partes de la tierra de cobertura. Esta práctica consiste en mezclar la capa entera de la tierra de cobertura junto con el micelio que se encuentra allí. Esto uniformiza la distribución del micelio en la tierra de cobertura. También tiene como objetivo aumentar el intercambio de dióxido de carbono (CO₂) promoviendo así la formación de primordios que darán lugar a la formación de los carpóforos.

3.3.6 ESTIMULACIÓN PARA LA TRANSICIÓN

La estimulación se realizó a los 25 días después de haber inoculado los sustratos. Se bajo la temperatura de los sustratos a 18 °C la cual permaneció así hasta el final de la cosecha. También se permitió la entrada de aire fresco y se abrió la ventana de la cámara para permitir la circulación de aire de afuera hacia adentro y de adentro hacia afuera de la cámara. Esta práctica baja la temperatura y el contenido de dióxido de carbono (CO₂), lo cual estimula la transición del crecimiento vegetativo al generativo, contribuyendo así a la formación de los primordios.

3.3.7 COSECHA

La cosecha comenzó 34 días después de haber inoculado los sustratos y se tomaron datos de las cosechas de todos los tratamientos durante 39 días. Los champiñones se arrancaban de la tierra de cobertura dándoles una ligera torsión, se les cortaba con navaja la parte del pseudotallo que tenía residuos de la tierra de cobertura y se colocaban en un recipiente. Se pesaron y se contaron los champiñones de cada tratamiento.

Durante la cosecha se continuo regando, la cantidad dependía según la humedad de la tierra de cobertura. En esta etapa se trabajo adentro de la cámara con gabachas para mantener la asepsia lo mejor posible. Los tratamientos que tenían humus de lombriz (Cuadro 1) fueron afectados por *Penicillium* y a los 17 días de haber comenzado con la cosecha se les aplicó benomyl al dos por mil con lo que se controló el problema. Se aprovechó que no habían champiñones en los tratamientos para hacer esta aplicación.

3.4 POST-COSECHA Y COMERCIALIZACIÓN

Los champiñones eran puestos en bandejas con capacidad aproximada de 220 gramos, luego eran llevados a los cuartos fríos de la ZECI en donde permanecían a 5 °C. Posteriormente eran comercializados en el puesto de ventas de Zamorano debidamente

identificados como productos de la institución. Una buena parte del producto cosechado fue vendido al comedor estudiantil de la institución el cual era empacado en cajas a granel.

3.5 VARIABLES MEDIDAS EN EL ENSAYO

La principal variable medida en los tratamientos fue el rendimiento, medido en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2). También se tomaron datos de peso promedio individual de los champiñones, medido en gramos por unidad (g/unidad), porcentaje de micelio medido por simple observación en los sustratos antes de agregar la tierra de cobertura, precocidad y duración de la cosecha de cada tratamiento.

3.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico se siguió la metodología del CIMMYT (1988) donde se hizo un presupuesto parcial, un análisis de dominancia, se sacó la tasa de retorno marginal para los tratamientos dominantes y se determinó la rentabilidad sobre los costos de cada tratamiento.

3.6.1 PRESUPUESTO PARCIAL

En el presupuesto parcial se analizan los beneficios netos de cada tratamiento tomando en cuenta solamente los costos diferenciales entre ellos. Se debe quitar 10% a los rendimientos para hacer un ajuste de los rendimientos debido al tamaño de las parcelas utilizadas en el ensayo.

3.6.2 ANÁLISIS DE DOMINANCIA

Por medio de este análisis se identificaron los tratamientos dominados, o sea los que brindaron menores o iguales beneficios netos que los tratamientos con costos variables más bajos. Para esto se ordenaron los tratamientos en orden ascendente según los costos diferenciales, sin importar el orden de sus beneficios netos. Para ilustrar mejor el análisis de dominancia se hizo una gráfica de la curva de beneficios netos para la cual únicamente se unieron con una línea los tratamientos dominantes en el plano (Figura 3).

3.6.3 TASA DE RETORNO MARGINAL

Con los tratamientos dominantes se calculó una tasa de retorno marginal, la cual es el beneficio neto marginal (es decir, el aumento en los beneficios netos) dividido por el costo marginal (aumento en los costos que varían), expresada en porcentaje.

3.6.4 RENTABILIDAD SOBRE LOS COSTOS

Aunque la metodología del CIMMYT no incluye este dato, se determinó para saber la rentabilidad sobre los costos de cada tratamiento. Para esto se dividieron los ingresos netos entre la suma de costos comunes y variables de los tratamientos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PREPARACIÓN DEL COMPOST

Los tratamientos con sustrato a base paja de arroz producían más vapor producto de la descomposición, que los otros tratamientos a base de pasto estrella y pasto guinea. También, los sustratos a base de paja de arroz conservaban mayor la humedad que los otros dos sustratos.

Los sustratos a base de paja de arroz alcanzaron la mayor temperatura promedio durante el compostaje en el centro del cordón (70°C), les siguieron los sustratos a base de pasto estrella (59°C), y a estos los sustratos a base de pasto guinea (54°C). Por esto, los tratamientos en donde se incrementó más la temperatura tuvieron mayor descomposición. También se observó mayor desarrollo de actinomicetos en los sustratos a base de paja de arroz que en los otros dos.

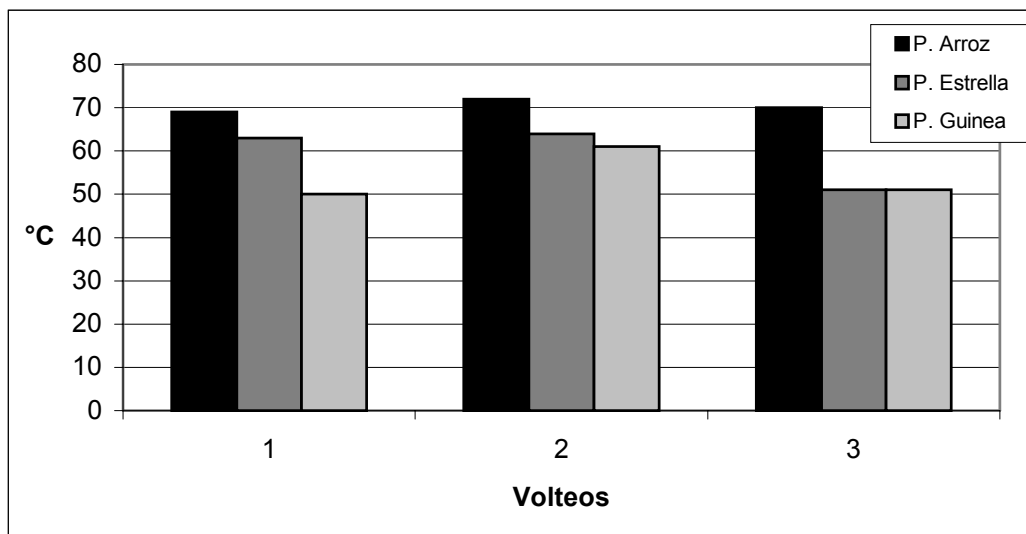


Figura 2. Temperatura de los materiales en los volteos al centro de los cordones.

Al término de la fermentación libre los sustratos a base de paja de arroz se mostraron claramente más descompuestos que los demás materiales, lo que favorece posteriormente el desarrollo del micelio del hongo.

4.2 PASTEURIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

Todos los tratamientos estuvieron bajo las mismas condiciones durante la pasteurización y acondicionamiento. Se podía observar que los sustratos a base de paja de arroz tenían una consistencia más blanda que los sustratos a base de pasto estrella y guinea antes y después de estos dos procesos.

También se observó mayor desarrollo de actinomicetos en los tratamientos con sustratos a base de paja de arroz que en los sustratos a base de pasto estrella y guinea después de la pasteurización y acondicionamiento.

Después de la pasteurización y acondicionamiento se realizó un análisis bromatológico en donde se pudieron observar varias tendencias en los sustratos.

En el Cuadro 3 se puede observar que el sustratos a base de paja de arroz conservó mejor la humedad y contenía mayor porcentaje de nitrógeno, lo cual beneficia al desarrollo del micelio del hongo. Los sustratos a base de pasto estrella y guinea tienen mayor porcentaje de fibra cruda, lo que nos dice que están menos descompuestos. Esto también lo indica la relación carbono-nitrógeno, mientras menor es esta relación mas descompuesto esta el material. Esto repercute en el desempeño del hongo en general ya que en un sustrato más descompuesto tendrá mejores condiciones y por ende compuestos de más fácil asimilación. En cuanto al pH, el recomendado es alrededor de 7.5, por lo que los tres sustratos muestran valores aceptables.

Cuadro 3. Análisis bromatológico después de pasteurización y acondicionamiento en los tres sustratos en porcentaje sobre la materia seca.

	% Humedad	% Nitrógeno	% Fibra cruda	Relación C/N	pH
Paja de arroz	64.20	1.62	31.89	26	7.88
Pasto estrella	54.52	1.42	34.51	35	7.53
Pasto guinea	55.95	1.30	38.30	37	7.50

4.3 SIEMBRA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO

En los seis tratamientos el micelio empezó a crecer al día siguiente en que se sembró. En los sustratos a base de paja de arroz fue donde creció más rápido el micelio, le siguieron los sustratos a base de pasto estrella, siendo el crecimiento más lento en los sustratos a base de pasto guinea.

En los sustratos a base de paja de arroz fue donde hubo mayor colonización del micelio hasta el día de poner la tierra de cobertura, le siguieron los sustratos a base de pasto estrella, y los sustratos a base de pasto guinea en donde hubo menos colonización del micelio. Esto probablemente fue porque los sustratos a base de pasto estrella y pasto guinea permitían más la aireación, lo que no dejo que el CO₂ se concentrara lo suficiente para el óptimo crecimiento del micelio. Todo el desempeño de los sustratos durante la fermentación libre y pasteurización y acondicionamiento afecto el desempeño del hongo como se puede ver en esta etapa. Ofreciendo las mejores condiciones el sustrato a base de paja de arroz, siguiéndole el sustrato a base de pasto estrella y siendo el más deficiente el sustrato a base de pasto guinea.

Antes de poner la tierra de cobertura la invasión del micelio fue mayor en los sustratos a base de paja de arroz, en donde se observó 100% de cobertura. Le siguieron los tratamientos a base de pasto estrella con un 75%. Los tratamientos a base de pasto guinea fueron los más deficientes en cuanto a la invasión del micelio, con un 50% de cobertura.

4.4 TIERRA DE COBERTURA

Tanto la tierra de cobertura de los tratamientos con musgo como los de musgo con humus tenían un pH de 7.0. Se podía observar que el micelio apareció primero en la orilla de las unidades experimentales en todos los tratamientos. El micelio creció más rápido en la tierra de cobertura de dos tratamientos, el que tenía sustrato a base de paja de arroz y cobertura de musgo y humus y el sustrato a base de pasto estrella y cobertura de musgo y humus, siguiéndole a estos los tratamientos con sustrato a base de paja de arroz y cobertura de musgo y el sustrato a base de pasto estrella y cobertura de musgo, siendo los más deficientes los dos tratamientos con sustrato a base de pasto guinea.

Los tratamientos con cobertura de musgo y humus tuvieron mayor desarrollo del micelio que sus similares en cuanto al compost que tenían solamente musgo en la tierra de cobertura. Lo anterior se pudo observar claramente al momento de hacer el rastrillado ya que a simple observación se podía ver claramente este fenómeno.

4.5 COSECHA

La cosecha duró 39 días, de los cuales se cosecharon 25 días. Todos los tratamientos presentaron igual comportamiento en cuanto a la proporción de la producción a través del tiempo durante la cosecha. En la primera oleada se obtuvo mayor rendimiento en todos los tratamientos, prácticamente la mitad de la cosecha total. Eventualmente el rendimiento fue reduciéndose a medida que avanzaba la cosecha.

Los tratamientos con los tres tipos de sustrato y con cobertura de musgo y humus presentaron cierta precocidad en llegar a cosecha, pero esta solamente fue de un día con respecto al resto de los tratamientos. Todos los tratamientos tuvieron la misma duración de cosecha.

4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de varianza indicó que las diferencias en el rendimiento se debieron principalmente al tipo de pasto utilizado en el sustrato y en menor proporción al tipo de cobertura utilizada.

Cuadro 4. Efecto de los tres sustratos, las dos tierras de cobertura y sus interacciones en el rendimiento (kg/m^2).

Fuente de variación		Tratamientos	Rendimiento (kg/m^2)
Sustratos	Paja de arroz		20.09 a φ
	Pasto estrella		10.45 b
	Pasto guinea		8.57 b
Tierras de Cobertura		Musgo	11.62 b
		Musgo + Humus	14.45 a
Interacciones	Paja de arroz	Musgo	19.59 a
	Paja de arroz	Musgo + Humus	20.58 a
	Pasto estrella	Musgo	8.47 c
	Pasto estrella	Musgo + Humus	12.42 b
	Pasto guinea	Musgo	6.80 c
	Pasto guinea	Musgo + Humus	10.33 bc

CV (%) 44.14

Media (kg/m^2) 13.04

φ Grupos de medias dentro de la misma fuente de variación seguida por diferente letra difieren entre sí. Separación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

En la prueba de diferencia de medias el sustrato a base de paja de arroz presentó diferencia significativa con respecto a los sustratos a base de pasto estrella y guinea. Entre los sustratos a base de pasto estrella y guinea no se presentó diferencia significativa en sus rendimientos. Lo que muestra el efecto de mayor descomposición que se obtuvo con el sustrato a base de paja de arroz que influyó sobre el rendimiento del cultivo.

Al evaluar el tipo de cobertura se presentó diferencia significativa siendo superior el de musgo más humus de lombriz. Esto probablemente pudo haber ocurrido porque esta cobertura le daba mejores condiciones de crecimiento tanto al champiñón como a las bacterias del género *Pseudomonas* que ayudan al desarrollo de carpóforos.

En la diferencia de medias de las interacciones no hubo diferencia significativa entre los dos tratamientos con sustrato a base de paja de arroz, siendo estos los superiores. Tampoco hubo diferencia significativa entre los tratamientos con cobertura de musgo y humus de lombriz y sustratos a base de pasto estrella y guinea, ni entre los tratamientos con sustrato a base de pasto guinea y el cual tenía sustrato a base de pasto estrella y cobertura de musgo. La interacción entre pasto y cobertura no fue significativa ($\alpha=0.209$), lo que nos dice en resumen que la cobertura ayuda a mejorar el rendimiento pero el tipo de pasto utilizado tiene más determinación en el mismo.

En la variable de peso promedio no se encontraron diferencias significativas (separación de medias de Tukey, $P \leq 0.05$) entre sustratos, tierras de cobertura y tratamientos.

4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Este análisis se realizó de acuerdo con la metodología del CIMMYT (1988), la cual se utilizó para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los materiales usados en el experimento. Este método sirvió para poder determinar cual combinación de factores (tipo de sustrato y tierra de cobertura) es la más conveniente en cuanto a costos diferenciales y sus beneficios netos.

Los costos variables en el experimento fueron: costo de la paja y pastos, de la pollinaza, del musgo y del humus de lombriz (Cuadro 5). Los costos comunes fueron los insumos y mano de obra (Anexo 1).

Los beneficios brutos fueron calculados tomando en cuenta el precio de transferencia usado en la ZECI para el kilogramo de champiñones, comercializado al precio de L.80.00. La metodología del CIMMYT considera una reducción al rendimiento obtenido en el experimento de 10% debido al tamaño de parcela, manejo del cultivo, etc.

El presupuesto parcial se utilizó para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los costos que varían de cada tratamiento (Cuadro 5).

Cuadro 5. Presupuesto parcial de los costos variables para las interacciones en los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.

Sustrato	Tierra de cobertura	Rendimiento (kg/m ²)	Rendimiento ajustado (kg/m ²)	Beneficios brutos	Costos (L/m ²)				Total costos que varían (L/m ²)	Beneficios Netos (L/m ²)
					Sustrato		Cobertura			
					Pasto	Pollinaza	Musgo	Humus		
P. Arroz	Musgo	19.59	17.64	1411.20	66.75	1.2	65.09		133.04	1278.16
P. Arroz	Musgo + Humus	20.58	18.53	1482.40	66.75	1.2	32.55	22.79	123.29	1359.12
P. Estrella	Musgo	8.47	7.62	609.60	25.98	1.02	65.09		92.09	517.51
P. Estrella	Musgo + Humus	12.42	11.18	894.40	25.98	1.02	32.55	22.79	82.34	812.07
P. Guinea	Musgo	6.80	6.12	489.60	1.80	0.79	65.09		67.68	421.92
P. Guinea	Musgo + Humus	10.33	9.3	744.00	1.80	0.79	32.55	22.79	57.93	686.08

Tasa de cambio actual L 16.50 por US dólar.

* Precio de venta L 80.00/kg.

En el Cuadro 6 se puede observar que en el análisis de dominancia los tratamientos dominantes son todos aquellos cuya tierra de cobertura fue de musgo y humus de lombriz. Siendo los dominados aquellos cuya tierra de cobertura fue solamente musgo. Se dice que los tratamientos dominados son aquellos que tienen beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

Cuadro 6. Análisis de dominancia para las interacciones en los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.

Tratamiento	Sustrato y Tierra de Cobertura	Total de costos diferenciales (L/m ²)	Beneficios netos (L/m ²)	Dominancia
T6	P. Guinea y Musgo + Humus	57.93	686.08	Dominante
T5	P. Guinea y Musgo	67.68	421.92	Dominado
T4	P. Estrella y Musgo + Humus	82.34	812.07	Dominante
T3	P. Estrella y Musgo	92.09	517.51	Dominado
T2	P. Arroz y Musgo + Humus	123.29	1359.12	Dominante
T1	P. Arroz y Musgo	133.04	1278.16	Dominado

En la Figura 3 se identificaron todos los tratamientos y los dominantes están unidos con una línea representando la curva de beneficios netos.

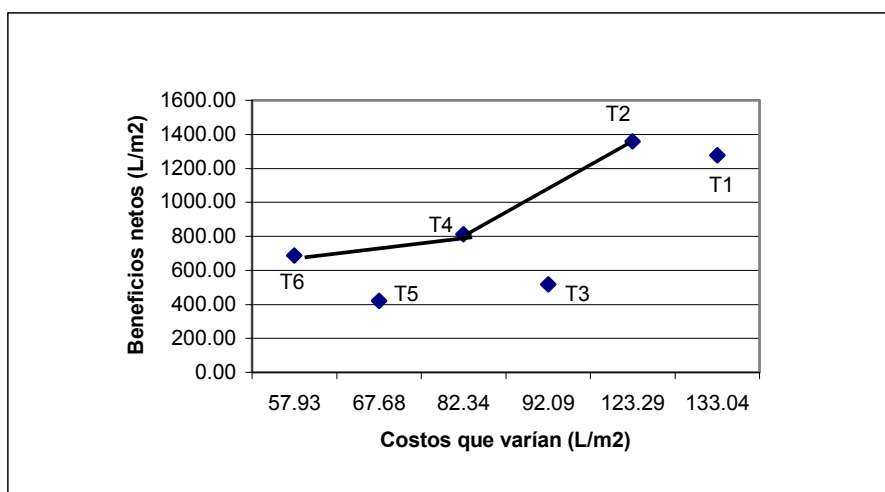


Figura 3. Curva de beneficios netos.

La tasa de retorno marginal nos indicó que por cada lempira invertido en el uso de pasto estrella en el sustrato en lugar de pasto guinea se espera recobrar ese lempira y L 5.16 más. En el otro caso se observó que por cada lempira invertida en el uso de paja de arroz en lugar de usar pasto estrella se espera recobrar ese lempira y L13.36 más (Cuadro 7).

Cuadro 7. Tasa de retorno marginal para los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura que fueron dominantes en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.

Tratamiento	Sustrato y Tierra de Cobertura	Costos diferenciales (L/m ²)	Beneficios netos (L/m ²)	Tasa de retorno marginal (%)
T6	P. Guinea y Musgo + Humus	57.93	686.08	
T4	P. Estrella y Musgo + Humus	82.34	812.07	516
T2	P. Arroz y Musgo + Humus	123.29	1359.12	1336

En el Cuadro 8 se puede observar que todos los tratamientos fueron económicamente rentables pero con diferencias marcadas entre ellos. Los tratamientos más rentables fueron los que tuvieron sustrato a base de paja de arroz debido a su alto rendimiento. En general se puede observar que los tratamientos que tenían tierra de cobertura de musgo y humus de lombriz obtuvieron mejor rentabilidad que sus similares en cuanto al sustrato. Esto se debe a que estos tratamientos tuvieron menor costo y a la vez mejores rendimientos.

Cuadro 8. Rentabilidad sobre los costos para las interacciones en los tratamientos de sustratos y tierras de cobertura en el cultivo del champiñón, Zamorano, Honduras, 2002.

Tratamiento	Sustrato y Tierra de Cobertura	Ingresos netos (L/m ²)	Costos totales (L/m ²)	Rentabilidad (%)
T1	P. Arroz y Musgo	928.09	483.11	192
T2	P. Arroz y Musgo + Humus	1009.05	473.35	213
T3	P. Estrella y Musgo	167.44	442.16	38
T4	P. Estrella y Musgo + Humus	462.00	432.40	107
T5	P. Guinea y Musgo	71.85	417.75	17
T6	P. Guinea y Musgo + Humus	336.01	407.99	82

5. CONCLUSIONES

Las temperaturas que alcanzaron los cordones de los sustratos a base de pasto estrella y guinea no fueron suficientemente altas para la descomposición de los mismos.

Aunque la tierra de cobertura con musgo y humus de lombriz ayudaron a aumentar los rendimientos, los materiales utilizados en la elaboración de los sustratos jugaron el papel principal en el desempeño de los tratamientos. Los sustratos a base de paja de arroz mostraron el mejor desempeño por la descomposición del material, crecimiento del micelio, rendimiento y rentabilidad.

Los tratamientos con sustrato a base de paja de arroz tuvieron mayor rendimiento, comparados con los tratamientos con sustratos a base de pasto estrella y guinea. Los tratamientos con tierra de cobertura de musgo y humus de lombriz tuvieron mayor rendimiento y mayor rentabilidad que los tratamientos con tierra de cobertura de musgo solamente.

Sí se encontró estadísticamente una diferencia significativa en los rendimientos entre las tierras de cobertura de musgo y musgo con humus de lombriz. Esto ayudó también a incrementar la rentabilidad y nos da la pauta para encontrar nuevas alternativas que pueden ser tanto ambiental como económicamente sostenibles a través del tiempo para no depender del musgo que debe de ser importado.

El tratamiento con sustrato a base de paja de arroz y cobertura con musgo y humus de lombriz alcanzó el mayor rendimiento y a la vez la mayor rentabilidad.

En el análisis de dominancia fueron dominantes todos los tratamientos con tierra de cobertura de musgo y humus de lombriz en relación con los tratamientos con el mismo sustrato y tierra de cobertura de musgo solamente.

6. RECOMENDACIONES

Realizar investigación con el sustrato a base de pasto estrella que puede llegar ha ser mas rentable perfeccionando su elaboración o bien hacer mezclas en diferentes proporciones para hacer un sustrato a base de paja de arroz y pasto estrella.

Determinar con más exactitud en otras investigaciones la mejor proporción entre musgo y humus de lombriz a usar en la cobertura para incrementar rendimientos y rentabilidad.

Determinar un procedimiento más idóneo, en cuanto a dieta de las lombrices y duración de producción, para obtener humus de lombriz con mejores condiciones para ser utilizado como tierra de cobertura.

Determinar un mejor procedimiento de desinfección para la tierra de cobertura.

Investigar sobre más alternativas para materiales a usar en la cobertura para no depender del musgo.

Al usar humus de lombriz en la cobertura se debe evaluar su calidad en cuanto a porosidad y capacidad de retención de agua.

Utilizar sustrato a base de paja de arroz y cobertura con musgo y humus de lombriz.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARRACIN, M.; DI FIORE, P. 1998. Compost y tierra de cobertura para el cultivo del champiñón [*Agaricus brunnescens* Peck (*A. Bisporus*)] (En línea). Consultado el 21 de oct. del 2001. Disponible en:
http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v15_3/v153z003.html

CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica. México D.F., México. CIMMYT. 79p.

DUARTE, E. 1998. Efecto de diferentes medios de crecimiento sobre el rendimiento en el cultivo de champiñones (*Agaricus bitorquis* (Quélet) Sacc.). Tesis Lic. Ing. Agr. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 54 p.

FERRAN, J. 1969. Como cultivar el champiñón, la trufa y otros hongos. España. Editorial Aedos. 152 p.

LOPEZ, E. 1990. Cultivo de champiñón, la trufa y otros hongos. España. Editorial Aedos. 132 p.

MUÑOZ, R. 2001. Introducción a la producción de champiñones. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 15 p.

VEDDER, P.J.C. 1979. Cultivo moderno del champiñón. Trad. JM Galindo. 4 ed. Madrid, España. Editorial Española. 369 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Costos comunes de insumos para los tratamientos.

Etapa	Insumo	Cantidad	Unidad	Precio (Lps)	(L/m ²)	%
Preparación del sustrato	Yeso	1.81	kg	11.00	19.88	7.88
	Subtotal				19.88	7.88
Pasteurización	Kerosene	0.23	gal	24.00	5.58	2.21
	Ventilador	0.19	hrs	0.50	0.09	0.04
	Subtotal				5.67	2.25
Acondicionamiento	Ventilador	2.23	hrs	0.50	1.12	0.44
	Subtotal				1.12	0.44
Siembra y crecimiento	Semilla	1.02	lbs	52.06	53.27	21.11
	Formalina	11.63	ml	0.04	0.47	0.18
	Aire frío	15.63	hrs	1.78	27.82	11.02
	Ventilador	7.81	hrs	0.50	3.91	1.55
	Subtotal				85.46	33.87
Tierra de cobertura	Carbonato de Ca	6.28	lbs	0.42	2.64	1.05
	Formalina	139.53	ml	0.04	5.58	2.21
	Aire frío	12.28	hrs	1.78	21.86	8.66
	Ventilador	6.14	hrs	0.50	3.07	1.22
	Subtotal				33.15	13.14
Descenso	Aire frío	11.16	hrs	1.78	19.87	7.87
	Ventilador	5.58	hrs	0.50	2.79	1.11
	Formalina	8.14	ml	0.04	0.33	0.13
	Subtotal				22.99	9.11
Cosecha	Aire frío	41.30	hrs	1.78	73.52	29.13
	Ventilador	20.65	hrs	0.50	10.33	4.09
	Subtotal				83.84	33.23
Total costos comunes					252.34	100.00

Tasa de cambio actual L16.50 por US dólar.

Anexo 2. Costos de mano de obra comunes para los tratamientos.

Etapas	Cantidad (horas/m²)	(L/m²)	%
Preparación de compost	1.60	16.09	16.47
Llenado de cámara	0.81	8.16	8.35
Pasteurización	0.23	2.33	2.39
Acondicionamiento	0.07	0.70	0.72
Siembra	0.74	7.46	7.64
Tierra de cobertura...	0.56	5.60	5.73
Cosecha	5.72	57.38	58.71
Total	9.74	97.73	100.00

Tasa de cambio actual L16.50 por US dólar.

Anexo 3. Costos de insumos y mano de obra comunes para los tratamientos.

	(L/m²)	%
Insumos	252.34	72.08
Mano de obra	97.73	27.92
Total	350.07	100.00

Tasa de cambio actual L16.50 por US dólar.