

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE ZOOTECNIA

Formulación de un compost a partir de excretas de animales y diferentes subproductos agroindustriales, para su utilización como sustrato para la producción del hongo champiñón (*Agaricus bisporus*)

Kevin Jesús Álvarez Montero

Proyecto presentado para optar por el título en el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2013

Esta tesis fue aprobada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.



Ing. Augusto Rojas Bourrillón, M.Sc.

Director de Tesis



Ing. José Arce Cordero, Lic.

Miembro del Tribunal



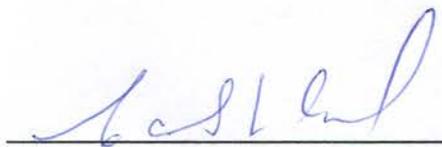
Ing. Michael López Herrera, Lic.

Miembro del Tribunal



Dra. Lidieth Uribe Lorío, Ph.D.

Miembro del Tribunal



Ing. Carlos Arroyo Oquendo, M.Sc.

Director de Escuela



Kevin Jesús Álvarez Montero

Sustentante

DEDICATORIA

A mis papás, Yohanny y Shirley.

"Yo le digo a los jóvenes y a las jóvenes que es fundamental dejar que el corazón los guíe. Que sigan su estrella, que sigan los sentimientos de su corazón. No importa cuál sea la meta que uno se haya propuesto; lo prioritario es que disfruten del camino, porque éste es tan importante como la meta misma. No dejen que nadie les diga que no se puede". Franklin Chang Díaz.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, a Él sea el honor y la gloria, por los siglos de los siglos.

A mi abuela Cristina “Tita” Orozco Alvarado (QEPD) y a mi familia, quienes me inculcaron los valores de la responsabilidad, honestidad y la perseverancia, cuyo apoyo incondicional me permitió finalizar esta tesis.

A mi profesor tutor Augusto Rojas B., por su guía en el desarrollo de este trabajo, a la profesora Giselle Alvarado R., por su apoyo desinteresado durante la etapa de planeamiento y experimentación, y a Agueda Serrano, quien me tendió la mano en momentos de dificultad durante mi etapa como estudiante universitario.

A los productores de San Ramón y Cañas que aportaron las materias primas necesarias para la elaboración de los tratamientos. Al personal de Servicios Generales y del Departamento de Biología de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, por su apoyo durante la etapa de trabajo de campo de la tesis.

Finalmente y no menos importante, a los profesores, profesoras y personal administrativo de la Escuela de Zootecnia, de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata y del Centro de Investigación en Nutrición Animal por sus valiosos consejos durante mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL EVALUADOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ABREVIATURAS UTILIZADAS	xv
RESUMEN	xvi
JUSTIFICACIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades de los hongos.....	3
2.2. Morfología del champiñón blanco (<i>Agaricus bisporus</i>)	4
2.3. Valor nutricional del champiñón	5
2.4. Cepas comerciales de champiñón	6
2.5. Sistemas de producción.....	7
2.5.1. Sistema Americano	7
2.5.2. Sistema Holandés.....	8
2.5.3. Sistema Francés	9
2.6. Cultivo de champiñones.....	9
2.6.1. Materias primas para la elaboración del sustrato	10
2.6.2. Preparación del sustrato	11
2.6.3. Fermentación libre o Compostaje	13
2.6.3.1. Métodos de fermentación	15
2.6.4. Fermentación controlada	17
2.6.4.1. Pasteurización	17
2.6.4.2. Instalaciones para pasteurizar el compost	18
2.6.4.3. Acondicionamiento	20
2.6.5. Siembra y crecimiento vegetativo	20
2.6.5.1. Suplementación	21
2.6.5.2. Incubación	22

2.6.6.	Cobertura.....	22
2.6.6.1.	Manejo de condiciones ambientales posteriores a la colocación de la tierra de cobertura.	24
2.6.6.2.	Rastrillado de la cobertura	24
2.6.7.	Inducción	25
2.6.8.	Producción o fructificación	26
2.6.9.	Cosecha	27
2.6.9.1.	Consideraciones ambientales para la cosecha	28
2.6.9.2.	Recolección de la cosecha	29
2.6.9.3.	Parámetros de calidad	29
2.7.	Manejo post – cosecha	30
2.7.1.	Métodos de conservación	31
2.7.2.	Rendimiento.....	32
2.7.3.	Vaciado de las salas de producción	32
2.7.4.	Manejo del sustrato gastado	33
2.8.	Plagas y enfermedades que afectan el cultivo	33
2.8.1.	Prevención de enfermedades y plagas	34
2.8.2.	Plagas.....	34
2.8.2.1.	Ácaros	34
2.8.2.2.	Dípteros	34
2.8.2.3.	Nemátodos	35
2.8.3.	Enfermedades	35
2.9.	Comercio del champiñón en Costa Rica	36
2.9.1.	Importaciones de hongos al país	37
2.9.2.	Exportaciones de hongos en Costa Rica	38
2.9.3.	Consumo per cápita nacional.....	39
2.9.4.	Preferencias de los consumidores locales	40
OBJETIVOS.....		42
General.....		42
Específicos		42
METODOLOGÍA UTILIZADA		43

4.1.	Ubicación del proyecto.....	43
4.2.	Financiamiento del proyecto	43
4.3.	Tratamientos	43
4.4.	Procedimientos realizados	44
4.4.1.	Proceso de compostaje	44
4.4.1.1.	Materias primas utilizadas.....	45
4.4.1.2.	Formulación del compost.....	45
4.4.1.3.	Elaboración del compost.....	48
4.4.2.	Pasteurización del compost	52
4.4.3.	Siembra	52
4.4.4.	Estudio de factibilidad	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		54
5.1.	Pruebas de campo.....	54
5.1.1.	Primera prueba	55
5.1.1.1.	Elaboración del compost.....	56
5.1.1.2.	Control de humedad del compost	59
5.1.1.3.	Control de temperatura del compost	60
5.1.1.4.	Rendimiento del compost	62
5.1.1.5.	Pasteurización o fermentación controlada	62
5.1.1.6.	Siembra del hongo.....	64
5.1.2.	Segunda prueba	67
5.1.2.1.	Elaboración del compost.....	67
5.1.2.2.	Control de humedad del compost	72
5.1.2.3.	Control de temperatura del compost	76
5.1.2.4.	Rendimiento del compost	77
5.1.2.5.	Pasteurización o fermentación controlada	77
5.1.2.6.	Siembra del champiñón	79
5.1.3.	Tercera prueba.....	83
5.1.3.1.	Pasteurización o fermentación controlada	83
5.1.3.2.	Siembra del hongo.....	84

5.2. Estudio de factibilidad técnica: Propuesta de implementación de un sistema de producción de Champiñones en Costa Rica	85
5.2.1. Parámetros técnicos utilizados en la elaboración de la propuesta	85
5.2.2. Desarrollo de la propuesta de implementación para el sistema de producción de hongos Champiñones elaborando el sustrato en la finca	86
5.2.2.1. Costo del sustrato inoculado.....	88
5.2.2.2. Venta de productos y servicios	88
5.2.2.3. Necesidades de materias primas	89
5.2.2.4. Instalaciones necesarias.....	90
5.2.2.5. Mano de obra.....	93
5.2.2.6. Estudio de factibilidad económica.....	94
5.2.2.6.1. Inversiones iniciales.....	95
5.2.2.6.2. Reinversiones necesarias	96
5.2.2.6.3. Depreciaciones	99
5.2.2.6.4. Inversiones y reinversiones en capital de trabajo	100
5.2.2.6.5. Costos operativos	101
5.2.2.6.6. Proyección de ventas.....	102
5.2.2.6.7. Flujo de caja del modelo de producción expuesto.....	103
5.2.3. Escenarios alternativos para la propuesta	107
5.2.3.1. Propuesta alternativa 1: Producción de champiñones elaborando el sustrato y aumentando la producción anual	107
5.2.3.2. Propuesta alternativa 2: Producción de champiñones comprando el sustrato y manteniendo el nivel de producción original.....	109
5.2.3.3. Propuesta alternativa 3: Producción de champiñones comprando el sustrato y aumentando el volumen de producción.....	111
5.3. Análisis del estudio de factibilidad económica.....	113
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Comparación de la composición nutricional del hongo champiñón con diferentes alimentos (expresada en % sobre peso fresco).....	6
2	Comparación del rendimiento entre los tres sistemas de producción.....	7
3	Programación de las actividades inherentes a la fermentación.	16
4	Manejo de las temperaturas de pasteurización en la sala de fructificación.....	19
5	Duración del ciclo de producción del champiñón.....	28
6	Consumo per cápita de Setas y demás hongos N.T. 35 en Costa Rica durante los años 2002 – 2012.....	40
7	Fórmulas utilizadas para la elaboración del compost.....	44
8	Lista de proveedores y algunas características de las materias primas.....	45
9	Composición química de las materias primas.....	47
10	Cronograma de trabajo para la elaboración del sustrato para producir hongos champiñones.....	48
11	Materiales utilizados para los tratamientos de la primera prueba.....	49
12	Información climática entre los meses de Septiembre de 2011 y Mayo de 2012.....	56
13	Composiciones químicas calculadas y reportadas por los laboratorios.....	59
14	Determinación el rendimiento real de los tratamientos.....	62
15	Materiales utilizados para los tratamientos en la segunda prueba.....	68
16	Consumo de agua de las pilas de compost durante todo el proceso.....	75
17	Estimación del rendimiento real de los tratamientos.....	77
18	Registro de temperaturas del cuarto de siembra.....	79

19	Principales costos anuales de producir las bolsas con el sustrato inoculado.....	88
20	Necesidades materias primas para la elaboración del compost durante el primer año de producción.....	89
21	Dimensiones y costo de construcción de las instalaciones.....	91
22	Costo anual de la mano de obra.....	94
23	Resumen de Inversiones iniciales para la producción de champiñones elaborando el sustrato en la finca.....	95
24	Resumen de las inversiones y reinversiones necesarias en un plazo de 10 años para una explotación de champiñones que elabora el sustrato en la finca.....	97
25	Resumen de las inversiones y reinversiones en capital de trabajo necesarias durante los primeros 10 años de funcionamiento del modelo.....	100
26	Proyección anual de venta de productos (en millones de colones).....	103
27	Flujo de caja de una finca productora de champiñones elaborando el propio sustrato (en millones de ₡).....	106
28	Flujo de caja de la propuesta alternativa 1: Producción de champiñones elaborando el sustrato en la finca y aumentando la producción anual (en millones de ₡).....	108
29	Flujo de caja de la propuesta alternativa 2: producción de champiñones comprando el sustrato listo para incubar y manteniendo el volumen de producción original (en millones de ₡).....	110
30	Flujo de caja de la propuesta alternativa 3: producción de champiñones comprando el sustrato listo para incubar y aumentando el volumen de producción original (en millones de ₡).....	112
31	Comparación entre los principales parámetros de las 4 propuestas analizadas.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Morfología del champiñón. a. Pileo; b. Himenio; c. Velo; d. Estípite; e. Volva; f. Laminillas; g. Micelio.....	5
2 Estantes utilizados en el sistema de producción americano.....	8
3 Estantes utilizados en el sistema de producción holandés.....	9
4 Bolsas utilizadas en el sistema de producción francés.....	9
5 Proceso de producción del hongo champiñón (<i>Agaricus bisporus</i>).....	12
6 Distribución de la temperatura en un montículo de compost, a. Temperatura ambiente hasta los 45 °C; b. Temperaturas de 45 – 60 °C; c. Temperaturas de 60 – 80 °C; d. Temperaturas de 45° C.....	14
7 Distribución de las capas térmicas del montículo de compost después del volteo.....	15
8 Importaciones de Blanco de setas (hongos) N.T. 35, realizadas por Costa Rica entre los años 2002 – 2012.....	37
9 Importaciones de Setas y demás hongos. N.T. 35, realizadas por Costa Rica entre los años 2002 – 2012.....	38
10 Exportaciones de Setas y demás hongos N.T. 35, realizadas por Costa Rica entre los años 2002 – 2012.....	39
11 Medición de la temperatura en las pilas de compost, a. Vista lejana; b. Vista cercana del termómetro.....	51
12 Cálculo de la densidad de los tratamientos, a. Recipiente de volumen conocido; b. Medición de la masa; c. Medición del volumen de la pila de compostaje.....	51
13 Terreno utilizado para la elaboración del compost, a. Terreno sin limpiar; b. Terreno limpio; c. Área preparada para un montículo de compost.....	54
14 Rotulación utilizada para las pruebas de campo.....	55

15	Tratamiento T ₁ , a. Montículo en la primera semana de compostaje; b. Montículo en la segunda semana del proceso (nótese la presencia de hongos termofílicos en las partes blancas del compost); c. Montículo en la última semana del proceso; d. Montículo tapado para protegerlo de la lluvia.....	57
16	Tratamiento T ₃ , a. Montículo en la primera semana del proceso; b. Montículo en la segunda semana (nótese la formación de lixiviados debidos al exceso de agua); c. Montículo en la última semana del compostaje; d. Montículo cubierto (para protegerlo de la lluvia).....	58
17	Tratamiento T ₄ , a. Montículo en la primera semana del proceso; b. Segunda semana de compostaje; c. Montículo en su última semana; d. Montículo cubierto.....	59
18	Distribución de la temperatura interna de las pilas de compostaje para cada tratamiento.....	61
19	Proceso de pasteurización del compost, a. Equipo en funcionamiento; b. Vista interna del equipo; c. Compost listo para la pasteurización.....	63
20	Instalaciones utilizadas para la producción de champiñones, a. Vista exterior del módulo; b. Cuarto oscuro; c. Área limpia.....	64
21	Siembra del champiñón, a. Llenado de bolsas con sustrato; b. Esparcido del sustrato; c. Semilla; d. Suplemento; e. Mezclado de la semilla con el suplemento y el sustrato; f. Bolsa lista para trasladarse al cuarto oscuro.....	65
22	Comparación entre semilla sana y semilla dañada, a. Semilla sana; b. Semilla dañada.....	66
23	Evolución de la siembra del champiñón, a. Bolsas en el cuarto de incubación o cuarto oscuro; b. Colonización del sustrato; c. Aparición de insectos (en el círculo rojo se resalta un insecto); d. Sustrato a la cuarta semana post – siembra sin micelio y con exceso de humedad.....	67

24	Evolución del compostaje del tratamiento T ₁ , a. Pila en su primera semana de compostaje; b. Pila en la tercera semana del proceso; c. Volteo y agregado de melaza a la pila; d. Compost al final del proceso de fermentación libre.....	69
25	Evolución del proceso de compostaje del tratamiento T ₂ , a. Pila formada en la primera semana; b. Pila en la tercera semana del proceso; c. Volteo y humedecimiento de la pila; d. Compost listo para la pasteurización.....	70
26	Fermentación libre del tratamiento T ₃ , a. Formación de la pila en la primera semana; b. Forma de la pila en la tercera semana; c. Volteo de la pila; d. Pila en la última semana del proceso.....	71
27	Proceso de compostaje del tratamiento T ₄ , a. Materiales mezclado y humedecidos en la primera semana; b. Pila volteada y humedecida en la tercera semana; c. Volteo de la pila; d. Pila en su última semana.....	72
28	Registro de humedad de los tratamientos durante el compostaje.....	73
29	Medición de la humedad del compost, a.;b.;c. y d. Medición manual (dentro del círculo rojo es donde se observa si salen gotas o no); e. y f. Medición con el hidrómetro.....	74
30	Distribución de las temperaturas de los tratamientos durante el compostaje.....	76
31	Invernaderos para secar el compost, a. T ₁ ; b. T ₂ ; c. T ₃ ; d. T ₄	78
32	Instalaciones utilizadas para la siembra de la segunda prueba, a. Área de bodega; b. Área limpia; c. Cuarto oscuro; d. Bolsas sembradas y rotuladas.....	79
33	Colonización del micelio sobre el sustrato durante la primera semana post-siembra, a. T _{1,3} ; b. T _{2,2} ; c. T _{3,6} ; d. T _{4,5}	81
34	Imágenes del ácaro del champiñón, 1. Tratamiento contaminado (los puntos blancos corresponden a huevecillos de los ácaros); 2.; 3. y 4. Imágenes al microscopio del ácaro encontrado en los tratamientos.....	82

35	Cuarto de incubación de los champiñones.....	83
36	Sustrato contaminado por <i>Rhizopus</i>	84
37	Flujo de producción anual de los champiñones, C=Compostaje; P=C=Pasteurización; S=Siembra; I=Inducción; A=Aparición de botones; Cr=Crecimiento; Co=Cosecha.....	87
38	Esquema de las instalaciones propuestas para el modelo de producción de champiñones, a. Área de compostaje (C1, C2, C3 y C4 son las pilas de compostaje); b. Sala de pasteurización; c. Sala de siembra y empaque; d. Salas de incubación (CO1, CO2, CO3, CO4 y CO5 son los cuartos oscuros); e. Oficina; f. Baño y vestidor; g. Bodega; h. Parqueo; i. Zona verde.....	92
39	Variaciones anuales en las inversiones y reinversiones.....	99
40	Variación anual de los costos operativos para una empresa productora de champiñones que elabora su propio sustrato.....	102
41	Efecto del precio de venta de los champiñones y el abono sobre el comportamiento de la TIR y el VAN.....	105

ABREVIATURAS UTILIZADAS

C: carbono

P: fósforo

N: nitrógeno

CO₂: dióxido de carbono

O₂: oxígeno

m: metro

cm: centímetro

m²: metro cuadrado

m³: metro cúbico

g: gramo

kg: kilogramo

MO: materia orgánica

NH₃: amoníaco

°C: grados centígrados

L: litro

CaCO₃: carbonato de calcio

₡: colones

\$: dólares

UCR: Universidad de Costa Rica

BCCR: Banco Central de Costa Rica

MTSS: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

KWh: kilowatt hora

AyA: Acueductos y Alcantarillados

ivi: impuesto de venta incluido

TIR: Tasa interna de retorno

VAN: Valor actual neto

Relación B/C: Relación Beneficio/Costo

RESUMEN

Se realizó un estudio de factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de producción de hongos champiñones (*Agaricus bisporus*) en San Ramón, Alajuela, Costa Rica. El proyecto se desarrolló en 4 etapas: En la primera etapa se efectuó una revisión de literatura sobre las características del hongo, los sistemas de producción actuales, los procedimientos para el cultivo y cosecha, el manejo post – cosecha, las principales plagas y enfermedades y el comercio nacional en los últimos 10 años. En la segunda etapa se efectuaron 3 pruebas de campo para producir el compost y el sustrato sobre el cual se sembró la semilla, utilizando como base del compostaje las excretas de caballo (caballaza) obtenidas de caballerizas locales, mezcladas con diferentes materias primas, también encontradas en la localidad de San Ramón, con excepción de la paja de arroz, que se trasladó desde Bagaces, Guanacaste. Posteriormente en una tercera parte se desarrolló una propuesta de implementación para una finca productora de champiñones que elabora su propio sustrato con una producción anual de 17.679 kg de champiñones y alrededor de 158.625 kg de abono orgánico como subproducto de la actividad. Finalmente, a partir de los datos de campo obtenidos así como de literatura se elaboró un modelo computarizado en una hoja de cálculo para proyectar los ingresos y egresos generados por la actividad, con el fin de conocer la rentabilidad del sistema, y finalmente analizar 3 escenarios alternativos para buscar las condiciones teóricas que mejor se adapten a las condiciones actuales. Del análisis se obtiene que la opción más viable es la de producir 42.130 kg anuales de hongos a ₡10.000 ivi, comprando el sustrato inoculado a un precio de ₡3.000 por bolsa de 10 kg.

JUSTIFICACIÓN

Desde la antigüedad los hongos comestibles han intrigado al ser humano, ya sea por los tabúes y mitos que se les han adjudicado, o por sus virtudes alimenticias, medicinales y aromáticas (Fernández 2005). Hipócrates mencionó por primera vez los hongos cuando escribió acerca de su valor medicinal en el año 400 A.C (Beyer 2003). Eurípides (años 485 – 406 A.C.), Teofrasto (años 327 – 287 A.C.) y Plinio (años 24 – 79 D.C.), mencionan el consumo de setas en sus países; además Alberto Magno (años 1196 – 1280) los describió como exhalaciones de la tierra no como plantas (Fernández 2005).

La primera vez que se mencionó su cultivo fue en 1652. En 1707 un botánico francés describió los champiñones como alimentos “originarios a partir de los caballos”. La primera producción comercial anual se registró en 1780 cuando un jardinero francés empezó a cultivar champiñones en canteras subterráneas cerca de París. Durante muchos años los agricultores fueron recogiendo este tipo de hongo, luego los vendían en los mercados mayoristas y por iniciativa de algunos de ellos, por el año 1852 surgió la idea de recoger trozos de "blanco de hongo" (el micelio del champiñón), y sembrarlos en los hoyos donde posteriormente depositaban semilla de melón para su germinación. El resultado fue bueno, los hongos se desarrollaron acompañados del crecimiento del melón que con sus grandes hojas lo protegían del sol y las lluvias (Beyer 2003, Fernández 2005).

A pesar de que los champiñones usualmente son producidos en ausencia de luz, la oscuridad no es un requerimiento fundamental. En 1894 fue construida la primera estructura diseñada específicamente para la producción de champiñones en Chester County, Pennsylvania, lugar que es reconocido como la capital mundial del champiñón (Beyer 2003).

El champiñón es un organismo saprófito, lo que significa que se alimenta de materia vegetal en descomposición, debido a lo cual se utiliza como sustrato las

excretas de animales mezcladas con subproductos agroindustriales y aditivos como fuentes nitrogenadas. Gracias a lo anterior, el manejo de las excretas se puede observar desde otra perspectiva, pues más allá de utilizarse como abono puede utilizarse como sustrato para los champiñones (López 1990). A pesar de que es posible definir en forma general el manejo de las excretas, ésta no se puede generalizar a todas las explotaciones pecuarias, debido principalmente a que la forma física de las heces, el contenido de nutrientes y los procedimientos de manejo general varían en forma considerable entre corrales de engorde, lecherías, caballerizas, galpones de gallinas ponedoras o de pollos parrilleros, porquerizas, zocriaderos, etc. (Nowak et al. 2002).

Si bien es cierto que los productores reconocen el valor de las excretas como fuente potencial de abono, lo cierto es que muy pocos intentan aprovechar este recurso disponible en la finca, y todavía son menos los que lo logran realizar en manera adecuada. Una de las principales creencias es que la producción de abono a partir de las excretas no es rentable, lo que se asocia a los costos del personal necesario para el transporte de los remanentes a una instalación especialmente diseñada para su tratamiento, lo que eleva los costos operativos de la finca (Nowak et al. 2002).

Debido a las razones mencionadas es que se estudia la implementación de un proyecto de producción de hongos champiñones, como un método alternativo para el manejo de remanentes, específicamente de las excretas de los caballos o caballaza, pues no solo busca la producción de un alimento saludable, sino que además busca que los equinocultores de la zona de San Ramón tengan un incentivo económico a partir de la venta de la caballaza como principal materia prima para la elaboración del sustrato para los champiñones.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de los hongos

Los hongos (comestibles, medicinales y venenosos, entre otros) son organismos pertenecientes al reino Fungi, con células eucarióticas y pared celular con quitina y glicoproteínas, que almacenan glucógeno como fuente de energía, son heterótrofos y carecen de clorofila (Ardón 2007, Vásquez 2010). Dependiendo de la forma como obtienen sus nutrientes, los hongos se clasifican en parásitos, saprófitos y micorrícicos: los primeros consumen plantas o animales vivos, los segundos digieren células y tejidos muertos, y en el tercer grupo se encuentran los que establecen relaciones simbióticas con las raíces de las plantas llamadas micorrizas, en la cual, tanto el hongo como la planta se benefician (Vásquez 2010). La mayoría de hongos tienen aplicaciones en la agroindustria y la medicina, y algunos poseen propiedades alimentarias, alucinógenas, toxicológicas, entre otras (Vásquez 2010).

Cultivar hongos es una buena opción para aprovechar los remanentes o subproductos agrícolas, agroindustriales o forestales con contenidos de 40 – 60% de celulosa, 15 – 50% de hemicelulosa y 10 – 30% de lignina, ya que son capaces de utilizar estos materiales como fuente de energía para la elaboración de sustancias estructurales de la célula (Ardón 2007, COBEAVINT 2010, Vásquez 2010). Además, una vez que se obtuvo el producto comestible, del sustrato residual se puede obtener abono orgánico mediante procesos de compostaje y vermicompostaje para la producción de plantas y hortalizas, lo que es más rentable que utilizarlo nuevamente (Beyer 2003).

Por otra parte, COBEAVINT (2010) señala que otra razón importante para cultivar hongos es para la obtención de compuestos bioactivos que son utilizados en la prevención y tratamiento de enfermedades humanas, así como la posibilidad de proveer crecimiento económico equitativo, protección y mejoramiento del medio

ambiente, y empleo e incremento del estatus social para jóvenes y mujeres de la comunidad.

2.2. Morfología del champiñón blanco (*Agaricus bisporus*)

De acuerdo con Saldaña (2003), Index Fungorum (2008), Vásquez (2010) y Mycobank (2012), el champiñón se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

- 🗨 Reino: Fungi.
- 🗨 Filo: Basidiomycota.
- 🗨 Subfilo: Agaricomycotina.
- 🗨 Clase: Agaricomycetes.
- 🗨 Subclase: Agaricomycetidae.
- 🗨 Orden: Agaricales.
- 🗨 Familia: Agaricaceae.
- 🗨 Género: *Agaricus*.
- 🗨 Especie: *A. bisporus*.
- 🗨 Nombre binomial: *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach 1946

El champiñón es un organismo saprófito, razón por la que se utiliza como sustrato las excretas de animales con aditivos lignocelulósicos como residuos y subproductos agrícolas, agroindustriales y maderables, los cuales tienen la función de incrementar la concentración de ciertos nutrientes y/o corregir el pH (López 1990). El hongo adquiere los nutrientes a partir del sustrato, además, el suministro de nitrógeno es importante, principalmente en formas de aminoácidos o proteína, se deben evitar formas nitrogenadas como nitratos (pues no los absorben) y sales amoniacaes (que son tóxicos para el hongo); también es importante el aporte de fuentes de Ca para neutralizar el ácido oxálico producido por el metabolismo del hongo (Vásquez 2010). El hongo requiere O₂ para su respiración, por lo que las instalaciones deben estar bien ventiladas para proveerlo, además de eliminar el CO₂ producido por el hongo (Ardón 2007).

Su reproducción se da por medio de esporas, producidas en el himenio, las cuales se desprenden al madurar, proceso que se completa en pocos días; sin embargo, su porcentaje de germinación es muy bajo (López 1990). Cuando las esporas se ubican sobre un sustrato adecuado germinan, desarrollando en primer lugar el tubo germinativo, el cual se alarga y ramifica dando origen al micelio; luego se genera el cuerpo fructífero (López 1990, Beyer 2003).

De acuerdo con Ardón (2007), Silva et al. (2010) y Vásquez (2010) en un champiñón se distinguen las siguientes partes, las cuales se muestran en la Figura 1.

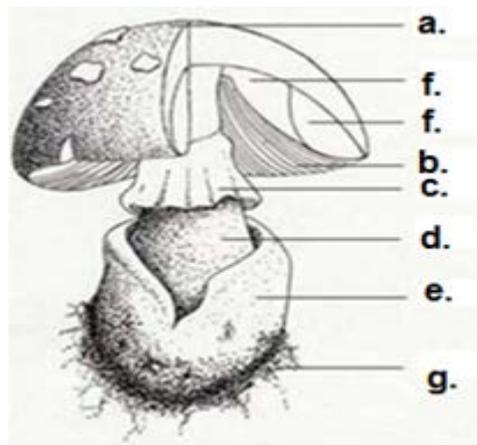


Figura 1. Morfología del champiñón. a. Pileo; b. Himenio; c. Velo; d. Estípite; e. Volva; f. Laminillas; g. Micelio (Adaptado de Vásquez, 2010).

2.3. Valor nutricional del champiñón

Entre las características nutricionales del champiñón se pueden mencionar: Son ricos en proteínas; 1,0 kg de hongos secos contiene tanta proteína como 1,0 kg de carne de vacuno, contiene los aminoácidos esenciales triptófano, treonina, lisina y metionina, es bajo en carbohidratos y grasas (sólo proporciona de 15 a 20 calorías por cada 100 g de champiñones secos) por lo que puede considerarse como un producto liviano o “light”, el contenido de colesterol es muy bajo, además contiene vitaminas del complejo B (tiamina o B₁, riboflavina o B₂, ácido ascórbico o vitamina C,

ergosterina o pro-vitamina D₂, biotina o vitamina H y cantidades considerables de ácido fólico o B₉) y minerales (Ca, K y P), por lo que es una fuente importante de nutrientes para la alimentación humana y animal (Ardón 2007, Muñoz 2007 y Vásquez 2010). En el Cuadro 1 se muestra una comparación entre la composición nutricional del hongo champiñón y otros alimentos.

Cuadro 1. Comparación de la composición nutricional del hongo champiñón con diferentes alimentos (expresada en % sobre peso fresco).

Fuente	Agua	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Minerales	Fibra	Calorías ^a	Valor nutritivo ^b
Champiñón	92,0	3,5	0,3	4,0	1,0	1,0	27,0	22,0
Espinaca	93,0	2,2	0,3	1,0	1,9	1,6	23,0	26,0
Papa	75,0	2,0	0,1	21,0	1,1	0,8	87,0	9,0
Leche	87,0	3,5	3,7	4,8	0,7	0,3	60,0	25,0
Carne	68,0	18,0	13,0	0,5	0,5	0,4	214,0	43,0

^a Número de calorías: equivale a la cantidad de calorías en 100 g de hongo fresco.

^b Valor Nutritivo: equivale a la cantidad de aminoácidos esenciales por las proteínas totales sobre 100. Adaptado de Ardón (2007), Muñoz (2007).

2.4. Cepas comerciales de champiñón

La especie *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach 1946, conocida comúnmente como Seta de París o Champiñón se caracteriza por tener el micelio de color blanco. Existen varias cepas comerciales, entre ellas se pueden nombrar para producción en primavera, otoño y verano la cepa Blanchocamp BL – 40; mientras que para cosechas invernales las cepas Claron A.5.1, Fungisem H – 10, Fungisem H – 12, Gurelan 15 y Gurelan 35; y cepas que se adaptan al clima tropical como Portobello y Crimini. También se ha extendido el cultivo de *Agaricus bitorquis*, con líneas o variedades como Gurelan ABK, Gurelan ABC y Fungisem B – 10. Se diferencia de *A. bisporus* en que puede crecer en temperaturas más elevadas, soporta mayores concentraciones de CO₂, su crecimiento es lento pero los carpóforos listos para cosechar se abren de repente, incluso después de la cosecha. Es resistente al ataque de virus pero susceptible al ataque de otros hongos por las altas temperaturas del cultivo (Ardón 2007).

2.5. Sistemas de producción

Fernández (2002) plantea dos sistemas de producción que se diferencian de acuerdo a la tecnificación de sus instalaciones, el sistema tradicional o rústico que es el más conocido, se caracteriza por la baja inversión que requiere para la producción, los productores supervisan todos los procesos y generalmente aprenden por prueba y error. El segundo sistema es el industrial, se diferencia del anterior porque los procesos requieren mayor cantidad de materia prima, de suplementos agrícolas, y debido a los grandes volúmenes de sustrato que se producen, es necesaria la utilización de maquinaria y equipos.

Por otra parte, varios autores describen tres sistemas de producción: el americano, el holandés y el francés. Sus diferencias dependen del tipo de contenedores utilizados para el sustrato, modalidades de distribución y utilización del espacio físico de la sala de fructificación así como el nivel de tecnificación de las instalaciones en general (Saldaña 2003, Fernández 2005 y Ardón 2007). En el Cuadro 2 se comparan los rendimientos obtenidos de los 3 sistemas.

Cuadro 2. Comparación del rendimiento entre los tres sistemas de producción.

Sistema	Rendimiento (kg/m ²)	Lugar	Fuente
Americano	10,00 – 13,50	Guatemala	Ardón (2007)
	26,20 – 28,50	Estados Unidos de América	
	10,00 – 13,50	Argentina	Saldaña (2003)
Holandés	5,00 – 8,00	Guatemala	Ardón (2007)
	35,00 – 43,00	Holanda	
	5,00 – 8,00	Argentina	Saldaña (2003)
Francés	10,00 (máximo)	Guatemala	Ardón (2007)
	8,00 – 10,00	Argentina	Saldaña (2003)

2.5.1. Sistema Americano

También llamado sistema de producción en bandejas, el sustrato se coloca en bandejas o camas removibles, las que a su vez se ubican en estantes. Las

dimensiones de las bandejas de madera varían entre 0,60 – 1,20 m de ancho, al interior de las bandejas se colocan de 0,15 – 0,30 m de espesor de compost, dejando entre cada dos bandejas una distancia vertical de 0,40 – 0,60 cm, separando las estanterías por pasillos (Saldaña 2003, Ardón 2007). El peso promedio de cada cama es de 250 – 280 kg, lo que hace necesario la utilización de maquinaria para su traslado a los cuartos de producción (Fernández 2005, Ardón 2007). En la Figura 2 se muestran algunas imágenes de las bandejas utilizadas en este sistema.



Figura 2. Estantes utilizados en el sistema de producción americano. Saldaña (2003), Ardón (2007).

2.5.2. Sistema Holandés

De acuerdo con algunos investigadores, este es el sistema más tecnificado, porque utiliza estantes de acero galvanizado compuestos por bandejas estandarizadas que pueden ser pequeñas (0,90 x 0,60 x 0,15 m) o grandes (1,40 x 0,80 x 0,20 m), los estantes se separan entre sí por pasillos de 1,00 m de ancho (Figura 3). En este sistema, casi todos los procesos del cultivo se realizan dentro de los cuartos de producción y casi la totalidad de las labores son monitoreadas con sistemas computarizados (Saldaña 2003, Fernández 2005, Ardón 2007).



Figura 3. Estantes utilizados en el sistema de producción holandés. Fernández (2005).

2.5.3. Sistema Francés

Llamado sistema de producción en bolsas, debido a que se utilizan bolsas plásticas como contenedores del sustrato (Figura 4), ofrece una opción práctica y ajustable a diferentes niveles de inversión. Consiste en llenar las bolsas al 75 % de su volumen con el sustrato pasteurizado, luego se disponen en estanterías a distintas alturas (Saldaña 2003, Fernández 2005 y Ardón 2007).



Figura 4. Bolsas utilizadas en el sistema de producción francés. Fernández (2005), Ardón (2007).

2.6. Cultivo de champiñones

El champiñón es un hongo muy selectivo sobre su fuente de alimento, que consiste en materia orgánica en descomposición. Esta materia orgánica debe ser preparada utilizando la tecnología del compostaje; sin embargo, el proceso no se

completa debido a que en cierta etapa de la descomposición el proceso se detiene y se siembra la semilla (Beyer 2003). El compost para la producción de setas se define como el conjunto de materias primas mezcladas y fermentadas por acción de la oxigenación periódica y constante durante cierto periodo de tiempo, hasta alcanzar el estado óptimo de textura, estructura, color, olor y humedad favorables para el champiñón (Ardón 2007).

Beyer (2003), Fernández (2005), Muñoz (2007) y Vásquez (2010) señalan que el proceso de compostaje está dividido en dos fases: fase I (donde se mezclan los ingredientes) y fase II (donde inicia la fermentación). Antes de formular el compost, Ardón (2007) indica que debido a la variabilidad de materiales entre países, es posible sustituir materias primas y ajustar las cantidades de materiales para formular el compost. El proceso de producción del champiñón se divide en siete fases: compostaje, fermentación controlada, siembra y crecimiento vegetativo, cobertura, inducción producción y cosecha (Vásquez 2010). La Figura 5 muestra un flujograma que resume el proceso de producción del champiñón.

2.6.1. Materias primas para la elaboración del sustrato

Según lo investigado por Beyer (2003), Ardón (2007), Muñoz (2007) y Sandoval (2012), la fórmula más utilizada consiste en la mezcla de paja de cereales con caballaza o pollinaza. Dependiendo de la disponibilidad, se añaden a la mezcla aditivos en pequeñas cantidades como harina de soya, harina de semillas de algodón, residuos de cacao, salvado de arroz, etc. El objetivo de añadirlos es facilitar la activación de los microorganismos para que inicien los procesos de fermentación.

El estiércol provee nitrógeno y carbohidratos, la paja es la principal fuente de carbohidratos (celulosa, hemicelulosa, lignina), además permite una buena aireación y determina la capacidad de retención del agua. El yeso mejora la estructura del compost, incrementa la floculación de algunos químicos y éstos se adhieren a la paja

en lugar de llenar los poros entre las fibras, lo que provoca un incremento de la capacidad de aireación en la pila del compost durante la fermentación. Finalmente, la urea estimula la actividad microbiana porque constituye una fuente inicial de nitrógeno de fácil acceso para las poblaciones de microorganismos (Ardón 2007, Muñoz 2007, Sandoval 2012).

2.6.2. Preparación del sustrato

Las actividades para preparar el compost varían según se trate de compostaje tradicional o artificial. En el primero, se utiliza paja que fue usada como cama en las caballerizas y se puede enriquecer con urea, harinas o salvados de cereales, pollinaza y yeso. En el segundo tipo, se realizan mezclas de diversas materias primas tales como paja o heno (de trigo, centeno, arroz, residuos de maíz, algodón, caña de azúcar, etc.) con pollinaza y aditivos ricos en proteínas (salvado de arroz, harina de semilla de algodón o harina de soya), en busca de asemejar las condiciones que proporciona el compostaje tradicional. A pesar de que las fórmulas dependen de la disponibilidad de materiales, existe un factor común que permite obtener una fórmula con el mismo grado de calidad a saber, el porcentaje de materia seca con relación al contenido de nitrógeno, que se calcula al dividir el peso total de nitrógeno por el total del peso seco, el resultado indica si la mezcla necesita enriquecerse con otros suplementos (Ardón 2007).

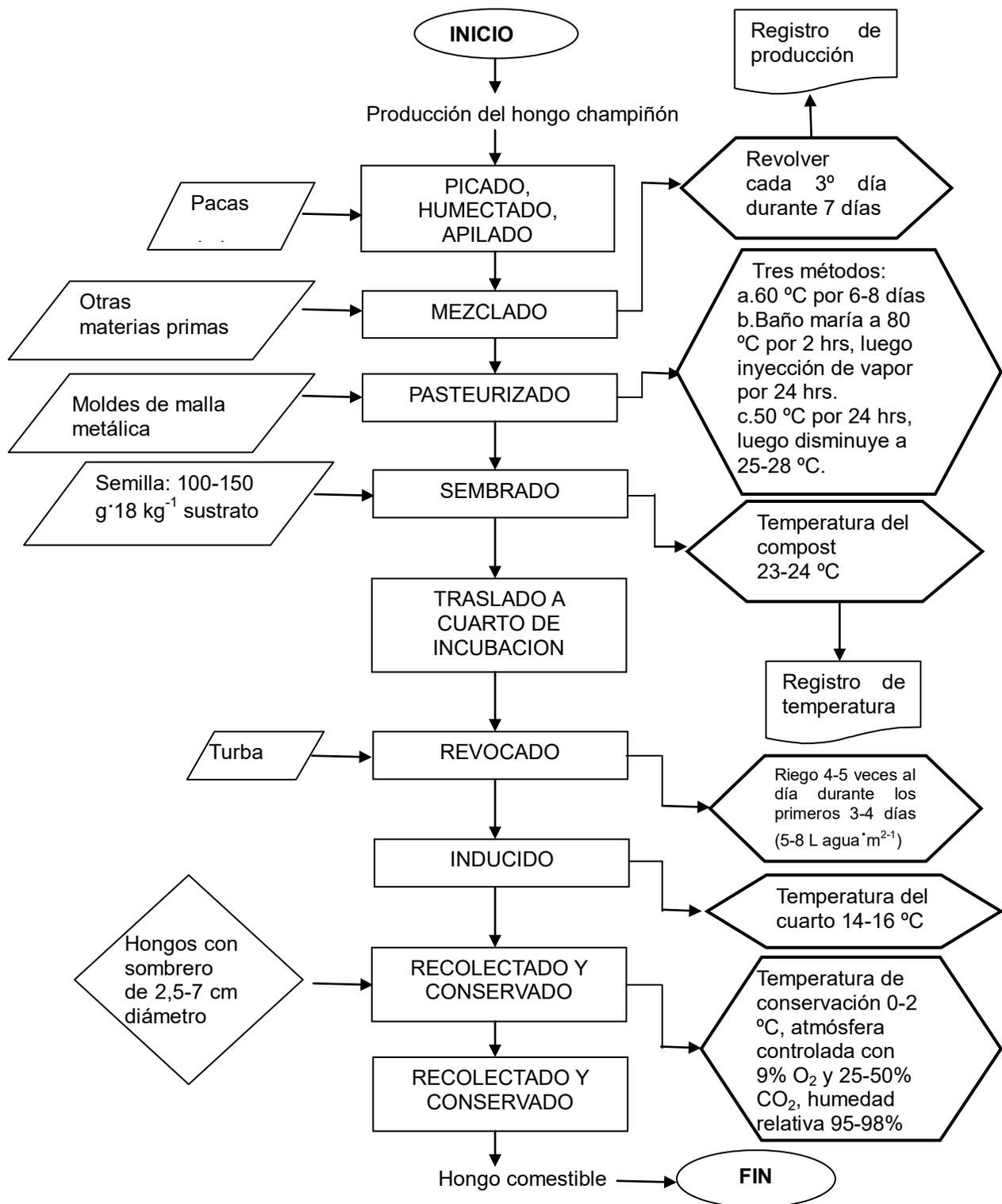


Figura 5. Proceso de producción del hongo champiñón (*Agaricus bisporus*). Modificado de Fernández (2002), Saldaña (2003), Vásquez (2010).

No se necesitan instalaciones muy costosas, únicamente que tengan una superficie lisa de concreto u otro material que permita la limpieza antes y después del compostaje. La maquinaria que se requiere varía de acuerdo al volumen de producción. El agua utilizada durante este proceso puede colectarse y reutilizarse mediante un sistema de recirculación de aguas (Beyer 2003, Sandoval 2012).

Finalmente, Saldaña (2003) resalta la importancia de ajustar y combinar las materias primas de tal forma que se obtengan las siguientes características, si el compost no las cumple, significa que el proceso no se realizó correctamente: 1,6 – 1,8% de N inicial; 2,05% de N total; pH de 7,3; 66% de humedad; 73% de MO; 27% de cenizas; Relación C/N de 19:1; libre de amoníaco residual, parásitos y competidores.

2.6.3. Fermentación libre o Compostaje

Ardón (2007) sugiere que este proceso consiste en la liberación y transformación de los nutrientes del compost para que el champiñón pueda asimilarlos y aprovecharlos. El compostaje se puede dar al aire libre, ya que no es necesario controlar las condiciones ambientales. Por su parte, Beyer (2003) menciona que posterior a esta etapa, el compost se forma en una pila rectangular con lados ajustados y un centro menos compacto. El agua se rocía sobre el compost mientras se va volteando. Según lo investigado por Beyer (2003), Fernández (2005) y Ardón (2007), la mayoría de productores realizan una fase de acondicionamiento previo de los ingredientes que aportan volumen y algunos suplementos, con el fin de hacerlos más receptivos para el agua, y tiene una duración entre 13 – 23 días, dependiendo de los factores ambientales y calendarios de producción.

Una vez que el montículo de compost es humedecido y formado da inicio la fermentación aeróbica y el crecimiento microbiano (bacterias y actinomicetes principalmente). La actividad de los microorganismos libera subproductos como NH₃, CO₂ y calor (que se genera por la descomposición de los carbohidratos de fácil

desdoblamiento). El resultado de lo anterior se traduce en el ablandamiento de la paja lo que aumenta su capacidad de recepción de agua. En esta etapa es importante el monitoreo de la temperatura, porque cuando supera los 68°C los microorganismos cesan su crecimiento. Para controlar la temperatura y la concentración de CO₂ se voltea el montículo, por lo que se puede decir que el volteo tiene un doble propósito sobre el compost. La falta de aire provoca un ambiente anaerobio y favorece la formación de ácidos orgánicos y otros químicos perjudiciales (Beyer 2003, Fernández 2012).

Cuando se forman los montículos del compost, las temperaturas se incrementan dependiendo de las capas, tal y como se muestra en la Figura 6 (Sandoval 2012).

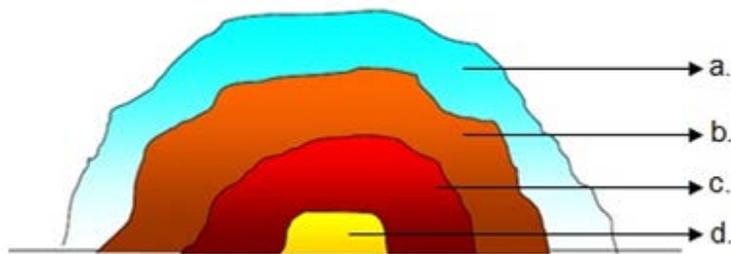


Figura 6. Distribución de la temperatura en un montículo de compost, a. Temperatura ambiente hasta los 45°C; b. Temperaturas de 45 – 60°C; c. Temperaturas de 60 – 80°C; d. Temperaturas de 45° C. Adaptado de Fernández (2005).

Durante el volteo se deben romper los grandes cúmulos formados y añadir agua en las áreas secas (Sandoval 2012). En algunas áreas la fermentación produce un sobrecalentamiento que se manifiesta como zonas secas de color gris – blanquecino, y se admite que son producidas por actinomicetes los cuales no son perjudiciales. Posterior al volteo (Figura 7) la temperatura en la pila o el cordón de compost se distribuye por todo el montículo, por lo que desaparecen momentáneamente las capas térmicas.

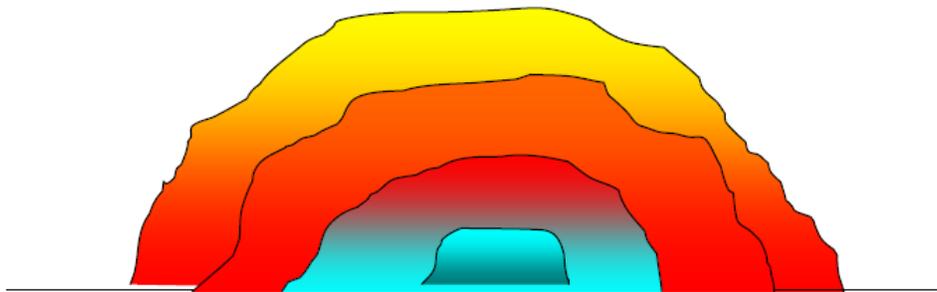


Figura 7. Distribución de las capas térmicas del montículo de compost después del volteo. Fernández (2005).

2.6.3.1. Métodos de fermentación

Fernández (2005) y Ardón (2007) enfatizan que para lograr un compostaje adecuado, se llevan a cabo dos métodos conocidos como fermentación en pila y fermentación en cordón. La elección del método a utilizar depende principalmente del nivel de tecnificación en la finca, disponibilidad de mano de obra y recursos económicos.

Las instalaciones para la fermentación en pila requieren de un piso de cemento y que esté bajo techo. La capa de cemento se recomienda que sea con superficie rústica para evitar que el personal se resbale mientras realiza los volteos, además de contar con drenajes para recolectar el agua que escurre y reutilizarla en el compostaje (Fernández 2005, Ardón 2007). La metodología expuesta por Ardón (2007) muestra que primero se coloca la paja y se deja reposar por unos días, añadiendo suficiente agua para que de inicio la fermentación, posteriormente se agregan los demás ingredientes mezclándolos uniformemente, excepto el yeso. Finalmente se continúa revolviendo la pila para su oxigenación y regando hasta obtener entre 70 – 72% de humedad. Durante este proceso se observan cambios importantes en el compostaje como altas temperaturas en el centro de la pila, fuerte olor a NH_3 , mayor facilidad para voltear la paja, oscurecimiento del color del material y disminución del tamaño de partícula de las fibras (Fernández 2005, Ardón 2007).

La fermentación en cordones facilita mantener temperaturas entre 45 – 60°C para favorecer la actividad de microorganismos termófilos (Fernández 2005, Ardón 2007). Para esto se forman hileras de compost de 1,60 – 2,00 m de ancho y alto, su longitud depende del volumen preparado. Este método ofrece ciertas ventajas sobre el compostaje en pila tales como una mayor agilización de los movimientos en las labores de suplementación, mejor homogenización en la suplementación, humedad y textura, aumento de la aceleración en la fermentación al disminuir la superficie de contacto con el medio ambiente, y se reducen y aprovechan los espacios de operación en el área de compostaje. En el Cuadro 3 se muestra la programación de las actividades de la fermentación libre.

Cuadro 3. Programación de las actividades inherentes a la fermentación.

Día	Actividad
1	Deshacer las pacas, agregar 600–1.000 L de agua/tonelada, según la humedad de la materia prima.
2	Sin actividad.
3	Mezclar la paja con el 50% de las excretas y aditivos a utilizar, dejar reposar y aplicar agua por tres días.
4	Sin actividad.
5	Mezclar con la paja el 50% restante de las excretas y los aditivos, regar la mezcla.
6	Sin actividad.
7	Revolver la pila de compostaje, regar si es necesario.
8	Sin actividad.
9	Formar cordones sueltos y aireados, mojar y apretar las paredes laterales.
10	Sin actividad.
11	Sin actividad.
12	Primer volteo, regar si es necesario y aplicar un insecticida alrededor.
13	Sin actividad.
14	Sin actividad.
15	Segundo volteo, agregar el yeso, mezclar y regar si es necesario.
16	Sin actividad.
17	Tercer volteo.
18	Sin actividad.
19	Llenar el cuarto de pasteurización.

Adaptado de Fernández (2005), Ardón (2007), Muñoz (2007).

De acuerdo con Ardón (2007), Sandoval (2012), el compost al final del proceso de fermentación libre debe reunir las siguientes características:

- ☪ Color: café oscuro.
- ☪ Trozos de paja húmedos, de 0,10 – 0,15 m de largo, no son pegajosos y se pueden romper con algo de resistencia.
- ☪ Olor: fuerte a NH₃ (600 – 800 ppm).
- ☪ Humedad alrededor del 72%.
- ☪ Contenido de nitrógeno de 1,6 – 1,8%.
- ☪ pH: 8,2 – 8,5.
- ☪ Temperatura: 65 – 75°C.
- ☪ Con manchas blanquecinas por la presencia de actinomicetes.

2.6.4. Fermentación controlada

Esta fase se lleva a cabo en un local cerrado con instrumentos especiales para monitorear constantemente el proceso, debido a que se realizan dos procesos, la pasteurización y el acondicionamiento del compost. Dependiendo de las instalaciones disponibles, la fermentación controlada puede darse en un túnel de pasteurización o en la misma sala de fructificación (Beyer 2003, Fernández 2005 y Ardón 2007), de manera que las instalaciones se pueden clasificar en dos tipos de sistemas: sistemas multizonas, en los que la fermentación controlada ocurre en un túnel de pasteurización y luego el compost se traslada a las salas de fructificación; y sistema monozonas, en el que la fermentación y la fructificación se dan en el mismo lugar.

2.6.4.1. Pasteurización

Este proceso es determinante en la calidad final del compost. Esta afirmación es justificada por expertos en el tema al señalar que el objetivo principal de este procedimiento es eliminar, mediante la aplicación de altas temperaturas, los organismos perjudiciales que se encuentran en el compost; tales como adultos, larvas y huevecillos de insectos, nemátodos, micelio y esporas de hongos no deseados. Esto se logra al mantener temperaturas superiores a los 55°C durante 12

– 16 horas, y al mantener las condiciones de humedad originales del compost, con lo cual el uso de vapor se convierte en la solución ideal porque proporciona calor y humedad al compost. Generalmente se recomienda mantener las temperaturas del aire y del compost a 60°C durante 2 horas (Beyer 2003, Saldaña 2003, Fernández 2005, Ardón 2007, Sandoval 2012).

En adición a lo anterior, Beyer (2003) y Saldaña (2003) enfatizan que el objetivo secundario de esta fase consiste en completar el proceso del compostaje. Esto se logra por medio de la eliminación de todos los azúcares simples solubles y gases, así como amoníaco soluble creados durante la fermentación libre, con la ayuda de microorganismos que convierten el amoníaco en sustancias solubles y aminas, que luego serán utilizadas como fuente de proteína por el micelio.

2.6.4.2. Instalaciones para pasteurizar el compost

Fernández (2005) informa que para diseñar un túnel de pasteurización se deben tomar en cuenta factores estéticos, económicos, prácticos y funcionales. Las características básicas que el túnel de pasteurización debe tener son las siguientes:

- ☞ Dimensiones: el largo del túnel depende de la cantidad de compost que se pretenda preparar, con 3,00 – 4,00 m de ancho por motivos de resistencia y rigidez en el piso.
- ☞ Paredes: aisladas con un material preferiblemente térmico.
- ☞ Pisos: falso o pleno a 0,90 m del piso real, con una pendiente del 2% para facilitar las labores de limpieza.
- ☞ Ventilación al 25%.
- ☞ Altura del piso al techo: de 3,50 – 4,00 m, para asegurar que las labores de llenado del túnel no se vean limitadas por falta de espacio.
- ☞ Puertas: dos puertas por bioseguridad (una por donde se ingresa el compost y la otra puerta al otro extremo por donde se saca el sustrato al área de siembra o área limpia).

Fernández (2005) recomienda llenar el túnel a una altura de 1,80 a 2,00 m: si se superan los 2,00 m podría inducirse un efecto de anaerobiosis por la compactación del compost; y si es inferior a 1,60 m lo más probable es que no genere el suficiente calor y exista la necesidad de inyectar vapor. Esta operación debe realizarse lo más rápido posible para evitar pérdidas de temperatura y humedad del compost. Ardón (2007) ha demostrado que la temperatura del compost disminuye a 30 – 45°C al momento de trasladarlo al área de pasteurización, por lo que es preferible esperar varias horas antes de inyectar el vapor e intentar igualar las temperaturas con un fuerte reciclaje del aire. Transcurrido ese tiempo la temperatura del ambiente se eleva y se mantiene a 57°C por 3 – 6 horas y es controlada por la circulación del aire. Durante la pasteurización, la diferencia de temperatura entre el aire y el compost debe ser aproximadamente de 10°C, con temperatura más alta en el compost. Por otra parte, cuando se realiza la pasteurización en la cámara de fructificación las temperaturas se manejan de diferente manera que en el túnel (Cuadro 4).

Cuadro 4. Manejo de las temperaturas de pasteurización en la sala de fructificación.

Día	Actividad
1	Llenado de las cajas, mantener a 45°C.
2	Elevar hasta 57°C y mantener durante 3 – 6 horas, luego disminuir a 54°C.
3	Mantener a 54°C.
4	Mantener a 54°C
5	Disminuir a 52°C.
6	Disminuir a 50°C.
7	Disminuir a 48°C.
8	Reducir rápidamente a 25°C.
9	Siembra.

Modificado de Fernández (2005), Ardón (2007).

Finalmente Ardón (2007) y Sandoval (2012) describen el sustrato listo como un producto de color café oscuro, con áreas blanquecinas debido a la presencia de los actinomicetes, las manos al contacto con dicho material se mantienen limpias y secas, la paja se rompe fácilmente, el material se siente suave al tacto, tiene una la humedad de 67 – 69%, no huele a amonio (menos de 5 ppm) y el pH es de 7,5. Una recomendación práctica de los autores es que si no puede sembrarse

inmediatamente finalizada la pasteurización entonces debe mantenerse la temperatura a 45°C, de lo contrario se disminuye de 48 a 25°C lo más rápidamente posible, se puede regar la superficie del compost antes de bajar la temperatura para evitar la desecación y favorecer el rápido enfriamiento.

2.6.4.3. Acondicionamiento

Durante esta etapa se lleva a cabo un proceso biológico por medio de la actividad de bacterias y actinomicetes termófilos y su objetivo es hacer del compost un sustrato selectivo al crecimiento de los champiñones. En esta fase el amoníaco se convierte a proteína y los carbohidratos fácilmente degradables disminuyen a medida que avanza el proceso de fermentación; además las condiciones ambientales se vuelven desfavorables para los organismos no deseados, con el consecuente aumento de las bacterias, actinomicetes y hongos termófilos. El acondicionamiento consiste en ir disminuyendo la temperatura del sustrato de 57 a 48°C, a razón de 1,5 a 2,0°C por día. Usualmente la duración esta fase es de 7 – 10 días (Ardón 2007).

2.6.5. Siembra y crecimiento vegetativo

Posterior a la fermentación controlada se procede a realizar la siembra (Ardón 2007). La semilla del hongo *A. bisporus* consiste en granos que han sido previamente tratados e inoculados en un laboratorio con esporas de champiñón. La dosis recomendada es de 5,00 kg de semilla por 1.000 kg de sustrato (0,5% del peso húmedo del sustrato) o 6,00 L de semilla por 1.000 kg de sustrato fresco si se emplea micelio líquido (0,6% del peso húmedo del sustrato) (Ardón 2007, Sandoval 2012). Fernández (2005) propone aplicar entre 100 – 150 g por cada 25 kg de sustrato (entre 0,4 – 0,6% del peso húmedo del sustrato). Finalmente, Beyer (2003) sugiere que dependiendo del sistema de producción se puede utilizar una mayor cantidad de semilla, para favorecer la colonización del micelio del champiñón y de esta manera impedir que aparezcan posibles competidores.

La semilla debe almacenarse a 4°C para que no sufra alteración alguna y es conveniente que esta sea retirada de la cámara frigorífica un día antes de la siembra para desencadenar la actividad del micelio. Una medida práctica para permitir que las hifas deterioradas tengan tiempo de recuperarse algunos días antes de la siembra consiste en desmenuzar los granos de inóculo que se encuentren apiñados entre sí (Fernández 2005, Ardón 2007).

La siembra se debe de hacer mezclando homogéneamente la semilla a través de todo el perfil del sustrato, lo que permite que el micelio crezca lo más pronto posible. La temperatura del sustrato puede mantenerse entre 20 – 24°C, y cuando se finaliza esta operación el sustrato se debe compactar con las manos, debido a que el micelio crece mejor en material compactado que en material suelto; y es necesario colocar un plástico o papel periódico para que proteja la semilla y conserve la humedad (Saldaña 2003, Ardón 2007, Sandoval 2012). Una colonización completa usualmente requiere de 14 – 21 días. El período de crecimiento de la cepa se considera completo cuando se ha colonizado completamente el sustrato y el calor metabólico va disminuyendo (Beyer 2003).

2.6.5.1. Suplementación

El sustrato debe proveer nutrientes al micelio del, no solo el complejo lignina – humus y la celulosa, sino también de proteína, grasa y aceites. Para asegurar que estos nutrientes son absorbidos por el micelio se utilizan suplementos de lenta liberación, tales como materiales aceitosos altos en proteína (harina de soya, harina de maíz o de plumas). Si un suplemento no es previamente tratado y se agrega al sustrato, éste funcionará como alimento para los microorganismos competidores, debido a que se desarrollan más rápidamente que el micelio del champiñón, y se obtendrá un efecto contrario al que se busca (Beyer 2003).

2.6.5.2. Incubación

Una vez realizada la siembra, el sustrato se transporta a las salas de incubación o casas de cultivo, donde permanecerá entre 12 – 16 días mientras ocurre la invasión la colonización del sustrato. Durante los primeros cuatro días de incubación se observa un ligero desarrollo del micelio iniciando la invasión al sustrato en forma de pequeñas ramificaciones (Fernández 2005, Sandoval 2012).

López (1990), Beyer (2003), Fernández (2005) y Ardón (2007) puntualizan algunos parámetros que deben mantenerse en la sala de incubación:

- ☪ Humedad relativa entre 90 – 95%,
- ☪ Temperatura de la sala entre 24 – 26°C, se recomienda mantener 2°C de diferencia entre la temperatura ambiental y la del sustrato,
- ☪ La iluminación se requiere para facilitar el movimiento de los empleados que monitorean el sustrato, lo que es necesario porque el crecimiento del micelio produce un aumento en la temperatura del sustrato, y aunque en parte se disipa debido al vapor de agua, es indispensable vigilarla.
- ☪ Concentración de CO₂ al 3%, para lograr esto no debe existir ventilación de aire fresco.

Cuando el sustrato se encuentra completamente colonizado por el micelio (de color blanco) se puede colocar la tierra de cobertura (Ardón 2007). El crecimiento del micelio es una de las etapas más delicadas en la producción del champiñón porque el micelio es muy susceptible al ataque de patógenos, siendo una buena higiene una muy importante medida de prevención (Sandoval 2012).

2.6.6. Cobertura

Esta operación consiste en cubrir la superficie del sustrato colonizado con una capa de tierra de 0,2 m de espesor, y sus objetivos son forzar al micelio del hongo a cambiar de la fase vegetativa a un estado reproductivo, para que inicie la etapa de

fructificación, suplir y conservar la humedad del hongo y sus rizomorfos, transportar nutrientes disueltos hacia el hongo y disminuir la concentración de sales solubles (Beyer 2003, Saldaña 2003, Fernández 2005, Sandoval 2012).

Se conoce como cobertura o tierra de cobertura a una mezcla de musgo (Peat moss) y carbonato de calcio (CaCO_3) para obtener un pH cercano al neutro (Fernández 2005, Ardón 2007). Hasta inicios de la década de 1950 se utilizaba suelo común para la cobertura, sin embargo, a finales de esta década se empezaron a utilizar mezclas artificiales que contenían turba (Sandoval 2012). La mayoría de productores utilizan turbas de musgo *Sphagnum* o de *Sphagnum* maduras amortiguadas con piedra caliza, otros utilizan suelo común, el sustrato cuyo ciclo de producción ha finalizado y fibras de coco (Beyer 2003). Finalmente Ardón (2007) menciona que la mezcla se compone de 2,60 m³ de musgo (Peat moss) y 800 kg de carbonato de calcio, mientras que Sandoval (2012) indicó que para elaborarla se puede utilizar arena, arcilla, humus y cal.

Cualquiera que sea la mezcla utilizada para elaborar la tierra de cobertura, varios autores concuerdan en que ésta debe tener textura liviana, suelta, fina, porosa y absorbente para prevenir altas concentraciones de CO₂ durante la fructificación y la cosecha, además libre de insectos, hongos o bacterias que perjudiquen al champiñón, con un pH óptimo entre 6,7 – 7,7, contenido bajo de carbohidratos de fácil descomposición para evitar el crecimiento de otros microorganismos y alta capacidad de retención de humedad (Beyer 2003, Fernández 2005, Ardón 2007, Sandoval 2012).

La tierra de cobertura se debe desinfectar antes de aplicarla sobre el sustrato colonizado (Saldaña 2003, Fernández 2005, Ardón 2007, Sandoval 2012). Sin embargo Sandoval (2012) es bastante claro al enfatizar que no debe esterilizarse por completo, porque la simple presencia de un parásito podría dar lugar a una multiplicación masiva, al no existir en la tierra microorganismos competidores que inhiban su desarrollo. Algunas técnicas para desinfectarla son las siguientes:

- ☪ Con formalina al 40% disuelta con suficiente agua para humedecerlo hasta tener una estructura grumosa, luego se cubre con plástico y se deja así por dos días. Un día antes de colocar el sustrato de cobertura se destapa y se revuelve para descartar los vapores de la formalina y se le agrega el CaCO_3 para obtener el pH deseado.
- ☪ Con vapor de agua a 60 – 65°C durante 2 horas (Ardón 2007), 5 – 6 horas a 60 – 65°C (Saldaña 2003, Fernández 2005).

2.6.6.1. Manejo de condiciones ambientales posteriores a la colocación de la tierra de cobertura.

La capa de la tierra de cobertura debe tener un espesor de 3,5 – 4,0 cm. Después de colocarla sobre el sustrato, el micelio del hongo empieza a crecer en la tierra y este es momento para empezar a regar, a razón de 1,0 L /m² y a medida que la colonización avanza se aumenta hasta 4,0 L /m² (Sandoval 2012). Saldaña (2003) por su parte recomienda regar 4 ó 5 veces durante los 3 – 4 primeros días, de forma que se suministren de 5 – 8 L de agua/m², dependiendo de la humedad del sustrato y la tierra de cobertura.

La temperatura se mantiene en 24°C, debido a que no puede utilizarse el aire del exterior para bajar las temperaturas, debe acudir al uso de aire acondicionado recirculándose dentro del cuarto para mantener la temperatura requerida (Fernández 2005).

2.6.6.2. Rastrillado de la cobertura

Es un procedimiento sencillo que consiste en mezclar la capa entera de cobertura junto con el micelio que se ha extendido en ella, para lograr un incremento en el rendimiento al mejorar la estructura haciéndola más grumosa y abierta para aumentar el intercambio de CO_2 , promover la formación de los primordios, obtener uniformidad en el crecimiento de carpóforos pues se fragmenta el micelio y se

redistribuye en toda el área superficial de las cajas (Ardón 2007, Sandoval 2012). El rastrillado se realiza cuando el micelio ha colonizado las $\frac{3}{4}$ partes del espesor de la capa de cobertura, posteriormente la superficie debe quedar nivelada y agregar 1,0 L /m² de agua en caso de ser necesario.

Desde que se aplica la capa de cobertura hasta que se realiza la inducción transcurren entre 14 – 16 días, y es común que en los últimos 4 días la temperatura del cuarto y del sustrato aumente a 28°C. Esta tendencia no debe impedirse porque favorece la fase de fructificación (Ardón 2007).

2.6.7. Inducción

Se le conoce como barrido, choque térmico, iniciación o flushing, y consiste en disminuir la temperatura del cuarto de 26 – 28°C a 14 – 16°C y el porcentaje de CO₂ a la mínima concentración posible; y se realiza posterior a la cobertura. La disminución en la temperatura se consigue al aplicar ventilación día y noche, mientras que la disminución del CO₂ se logra rápidamente con la ventilación al mantener 8 cambios de aire por hora (Saldaña 2003, Fernández 2005, Sandoval 2012).

La humedad alcanzada durante la cobertura es suficiente, sin embargo en caso de ser necesario, es conveniente aplicar el riego con nebulizador para no dañar el micelio. El tiempo que el micelio es inducido para iniciar la formación de los primordios es instantáneo, aunque es a partir de los 4 – 5 días de haberse disminuido la temperatura que se empiezan a observar pequeños nódulos de color blanco brillante sobre la superficie. A los 11 días se obtiene la primera oleada o cosecha. Los riegos pueden realizarse hasta 3 días antes de la cosecha, procurando que el sustrato se ventile todo el tiempo porque de lo contrario pueden proliferar bacterias patógenas que manchan y merman considerablemente la producción (Fernández 2005). Ardón (2007) sugiere disminuir la humedad relativa en un 10%, por ejemplo de 95 a 85%.

2.6.8. Producción o fructificación

Los primeros champiñones se desarrollan luego de que los rizomorfos se han formado sobre la tierra de cobertura (Beyer 2003). Cuando estas estructuras crecen y se expanden se conocen como primordios o yemas. Las yemas de los champiñones continúan creciendo hacia una estructura más larga llamada etapa de pre – botón, y finalmente crece hasta el champiñón maduro. Fernández (2005) recomienda continuar con el mismo programa de ventilación utilizado para la inducción, supervisando que no exista un exceso de aire que pueda reseca la epidermis del champiñón, para prevenir este efecto no deseado se pueden ejecutar programas de riego directos al cultivo o al piso, con esto se contribuye al incremento de la humedad relativa del cuarto.

El periodo de tiempo necesario para la obtención de la primera cosecha lo resume Beyer (2003) de esta manera: la cosecha de los champiñones inicia 15 – 21 días después de la cobertura, la cual normalmente ocurre 10 – 12 días después de la inducción y 7 – 8 semanas después del inicio del compostaje. Es importante el uso de sistemas de aire acondicionado que regulen la cantidad de aire fresco que entra al cuarto y la temperatura dentro de él, para mantenerla entre 15 – 19°C, los niveles de CO₂ entre 1.000 – 2.500 ppm (1,0 – 2,5%) durante la aparición de las yemas y las siguientes etapas del cultivo. La etapa más crítica en el desarrollo de los champiñones en cuanto a calidad y rendimiento es durante la fase de expansión rápida en la cual el champiñón duplica su tamaño en 24 horas, lo que indica que está listo para ser cosechado.

Cuando la primera oleada se encuentra lista para ser cosechada, el proceso de recolección se realiza rápidamente, dejando la superficie de cultivo sin residuos. Esta operación permitirá que los tratamientos posteriores aplicados al cultivo sean los más homogéneos posibles logrando de esta forma oleadas parejas, comúnmente son tres con una semana entre una y otra después de haberse terminado de cortar totalmente la cosecha anterior. Los riegos que se aplican durante la etapa de

producción van disminuyendo tanto en cantidad de agua como en número de riegos, ya que comúnmente la producción es menor en cada oleada (Fernández 2005).

2.6.9. Cosecha

La recolección debe hacerse cuando los champiñones estén maduros, es decir, cuando el pie del hongo se hace un poco flexible y todo el champiñón se hace más blando al tacto, y antes de que se haya roto el velo que cubre el himenio (Saldaña 2003). El periodo de recolección tarda alrededor de 2 – 4 meses, y las producciones obtenidas varían de acuerdo al sistema utilizado (Cuadro 2).

Este período determina la duración del ciclo del cultivo, pudiendo ser hasta de 13 semanas (Ardón 2007). Por ejemplo en un sistema de monozona el periodo de cosecha se puede extender por 40 días y el ciclo de cultivo puede durar alrededor de 84 días (12 semanas), adicionalmente el período de fermentación libre tarda alrededor de 20 días, completando un ciclo de 104 días; sin embargo, como la fermentación transcurre en forma paralela y sincronizada previa a la finalización del ciclo anterior no se toman en cuenta esos días, por lo que el ciclo resulta ser de 84 días. De esta manera el autor demuestra que se pueden obtener 4,3 ciclos de cultivo al año en una misma sala de fructificación. En el Cuadro 5 se resume la duración del ciclo de producción del hongo.

Cuadro 5. Duración del ciclo de producción del champiñón.

Fase del cultivo	Descripción	Duración (días)
Acondicionamiento de las instalaciones	Desinfección y vaciado del ciclo anterior	3
	Fermentación libre	20
Preparación del sustrato	Llenado y fermentación controlada	10
	Siembra y colonización	12
Siembra e incubación	Cobertura y rastrillado	14
	Inducción, apareamiento de primordios	5
Fructificación	Primordios, primera cosecha	5
	Segunda – sexta cosecha	35
Total		104

Ardón (2007).

2.6.9.1. Consideraciones ambientales para la cosecha

Al momento de la cosecha se deben tener en cuenta algunos parámetros ambientales para obtener un producto de buena calidad (Saldaña 2003, Ardón 2007).

- ☞ Ventilación: Debe ser constante porque altas concentraciones de CO₂ en las salas de fructificación tienen influencia negativa sobre la calidad de los champiñones: se tornan ligeros, flojos, con el estípite más alargado que lo normal y un pileo pequeño que se abre rápidamente. Para lograr esto se necesita un movimiento de aire de 10 – 20 m³ por cada 1,0 m² de sustrato por hora.
- ☞ Riego: No se recomienda aplicarlo porque basta con el agua adicionada durante los procesos previos a la cosecha.
- ☞ Temperatura de conservación: 0 – 2°C con atmósferas controladas con el 9% de oxígeno y el 25 – 50% de CO₂.

2.6.9.2. Recolección de la cosecha

Los champiñones se cosechan durante un periodo de 2 – 4 días cada 7 – 10 días, antes de que el sombrero se vuelva suave, lo que significa que la calidad del hongo ha disminuido y se considera como “de segunda” calidad. El control de las cosechas se logra mediante la inspección del riego, CO₂ y temperaturas (Beyer 2003). Si se desea mantener iluminación artificial en las salas, deben utilizarse lámparas fluorescentes para no generar calor (Ardón 2007).

La cosecha se realiza de forma manual, con una navaja pequeña y con buen filo. El champiñón se recolecta dándole una vuelta con la mano más firme y se hala con la otra mano, el largo del tallo debe de ser igual a la mitad del diámetro del pileo del champiñón. Esta operación debe realizarse con calma para obtener el champiñón lo más limpio posible. Después se tapa con tierra el hueco dejado por el pie del hongo cosechado. Se sugiere utilizar recipientes con las paredes interiores lisas, para que el hongo no se dañe y se coloca con el pileo hacia abajo, los mismos cuidados se deben tener al momento de estibar los recipientes en el interior de los cuartos y la cámara frigorífica. Los champiñones más apreciados comercialmente son los que tienen un sombrero entre 2,5 – 7,0 cm de diámetro (Beyer 2003, Saldaña 2003, Fernández 2005, Ardón 2007, Sandoval 2012).

Por otro lado Ardón (2007) expone que la primera, segunda y tercera oleadas son las más importantes porque de ellas se obtiene el 70% de la producción total, pudiendo registrarse hasta seis oleadas, sin embargo no es rentable obtener más de 3 cosechas, lo que disminuye los riesgos de que el cultivo se contagie de enfermedades.

2.6.9.3. Parámetros de calidad

Los parámetros de calidad difieren entre países y se establecen de acuerdo a los gustos de los consumidores. Los champiñones cosechados pueden ser abiertos o

cerrados: los primeros abiertos son aquellos cuyo himenio está extendido o plano, pero con cierta curvatura hacia abajo, mientras que los segundos son aquellos cuyo sombrero es esférico y el velo está sin desgarrar. Por ejemplo en Guatemala se comercializan champiñones pequeños, medianos, grandes y abiertos, mientras que en Estados Unidos de América los champiñones son botones, pequeños, medianos, grandes, extra – grandes y abiertos (Ardón 2007).

En forma general, Ardón (2007) propone que las normas de calidad que deben presentar los champiñones para su comercialización son las siguientes:

- ☪ Intactos, con aspecto fresco, turgentes y no grasosos o pegajosos.
- ☪ Sanos, exentos de daños causados por enfermedades, insectos u otros parásitos.
- ☪ Exentos de cuerpos extraños distintos al sustrato de cobertura, vestigios visibles de productos químicos, olor y sabor extraños.
- ☪ Desprovistos de humedad externa anormal y secos si han sido lavados.
- ☪ Los champiñones contenidos en cada envase deben ser de la misma categoría, calibre, origen, variedad y sensiblemente del mismo estado de madurez, desarrollo y color. El empaque debe asegurar una protección conveniente del producto. Las etiquetas deben cumplir con los reglamentos y la legislación vigentes en el país.
- ☪ Los champiñones malformados se consideran como de segunda calidad. Los que lucen enfermos no deben tocarse directamente, y deben tratarse con productos químicos registrados, bio – pesticidas o desinfectantes comunes como sal o alcohol (Beyer 2003).

2.7. Manejo post – cosecha

Luego de cosechados los champiñones, es importante trasladarlos rápidamente a una cámara frigorífica para detener la oxidación del producto debida a la respiración

celular, para garantizar que la vida útil del producto se prolongue y que además toleren la manipulación durante el almacenamiento y el transporte (Fernández 2005).

Es importante monitorear constantemente la temperatura de las cámaras frías para evitar que el producto sufra algún deterioro (Fernández 2005). En el momento en que se detiene la oxidación del hongo puede procederse al empaque, proceso que se lleva a cabo pesando y seleccionando los champiñones según los pedidos de los clientes y los requerimientos del mercado. Por esta razón es importante que al momento de la cosecha se seleccione correctamente el hongo, de esta manera se disminuye la manipulación al momento del empaque.

2.7.1. Métodos de conservación

Ardón (2007) ha investigado la utilización de distintos métodos de conservación, entre los cuales se mencionan:

- ☪ Refrigeración: Se disminuye la temperatura de las canastas con hongos a 2°C; una vez logrado esto se trasladan al cuarto de almacenaje donde se mantendrán a 4°C. La principal desventaja consiste en que se requiere de un monitoreo constante de la temperatura para evitar el deterioro del producto debido al aumento de la misma.
- ☪ Deseccación: Se aumenta lentamente la temperatura con fuerte circulación de aire (entre 60 – 70°C) hasta que la humedad descienda al 10%. Este método es poco utilizado.
- ☪ Liofilización: Se produce una congelación ultrarrápida que precede al secado al vacío. Su desventaja es el elevado costo de las instalaciones.
- ☪ Congelación: Se disminuye la temperatura a -20°C. La principal desventaja es que es necesario blanquear los champiñones con agua hirviendo con 0,01 – 0,2% de ácido cítrico durante 2 – 5 minutos, lo que eleva la inversión en almacenamiento y transporte a baja temperatura.
- ☪ Apertización: Los hongos son separados por calidades y se lavan, luego se procede al blanqueado, sumergiéndolos durante 4 – 8 minutos en una

solución al 0,05% de ácido cítrico y 1% de cloruro de sodio en estado de ebullición.

2.7.2. Rendimiento

El rendimiento del cultivo de las setas se define como el total de masa fúngica obtenida al final de un ciclo de producción, que cumple con los parámetros de calidad establecidos para el champiñón (Ardón 2007). Los indicadores se establecen en función de la infraestructura, el capital, la calidad del sustrato, la experiencia en el cultivo, el nivel tecnológico aplicado y el material genético utilizado, entre otros. El objetivo principal del análisis del rendimiento es obtener una mayor cantidad de producto con el mínimo de inversión. El rendimiento se expresa en kilogramos de producto por unidad de área o por bolsa; sin embargo se obvian variables como el peso específico, el porcentaje de humedad del sustrato, la cantidad de sustrato por metro cuadrado (debido al volumen de los contenedores), el número de oleadas recogidas durante la cosecha y la precocidad de la cepa, lo que resta precisión para fines comparativos entre modelos o fincas así como análisis económicos.

Existe correlación entre el rendimiento y la cantidad de materia seca utilizada, lo que significa que el rendimiento teórico máximo esperado es de 1,00 kg de champiñones cosechados por 1,00 kg de materia seca del sustrato utilizado (Ardón 2007).

2.7.3. Vaciado de las salas de producción

La limpieza del local es la mejor forma de prevenir la aparición de enfermedades. Antes del vaciado de las camas es mejor tratar toda la sala de fructificación con vapor a 70°C durante 12 horas, para eliminar enfermedades, nematodos, ácaros, larvas de moscas, otros hongos y sus esporas (Ardón 2007, Sandoval 2012).

De no efectuarse esta operación se corre el riesgo de que la enfermedad o plaga difundida por las pequeñas porciones del sustrato gastado, se propague al momento de sacarse del local de cultivo (Sandoval 2012). Después de lavar con agua limpia toda la estructura vacía, se aplica algún fungicida fuerte con un rociador de alta presión, teniendo el cuidado de que absolutamente todo el interior del local, incluyendo el piso, paredes y techos, grietas o hendiduras reciban el producto.

2.7.4. Manejo del sustrato gastado

La cama residual contiene en promedio 0,60% N; 0,60% P; 0,80% K y 6,00% de CaCO_3 ; 20% de materia orgánica y 18 – 25% de cenizas, en base fresca (Ardón 2007). Esta composición permite su fácil manejo e incorporación al suelo, no obstante, también se ha comprobado que el sustrato intensamente invadido de micelio puede reducir el crecimiento de las plantas jóvenes cuando se incorpora inmediatamente al suelo antes de la siembra o el trasplante, lo que parece ser provocado por los metabolitos secundarios del micelio, por esta razón es conveniente continuar la degradación de las camas durante cierto tiempo. Antes de continuar con la degradación del sustrato gastado, Beyer (2003) propone pasteurizar con vapor para eliminar cualquier enfermedad, plaga u otra actividad biológica remanente que podría interferir con los vecinos o con los siguientes cultivos. La pasteurización se logra manteniendo la temperatura interna del sustrato entre 60 – 67°C durante 8 – 24 horas.

2.8. Plagas y enfermedades que afectan el cultivo

Al igual que cualquier organismo vivo, el champiñón es susceptible a ciertas enfermedades (especialmente las producidas por hongos y bacterias) y parásitos (moscas, ácaros y nematodos). A pesar de que se espera que durante la pasteurización hayan sido eliminadas por completo; los riesgos de contaminación y presencia de plagas en las etapas posteriores son altos, por lo que la forma más eficaz de evitar los problemas es prevenirlas (Ardón 2007, Sandoval 2012).

2.8.1. Prevención de enfermedades y plagas

Entre un ciclo de cultivo y el siguiente las instalaciones deben desinfectarse por completo. Después de la limpieza de las salas de producción se aplican soluciones de formaldehído (40%), glutaraldehído, ortofenilfenol (9%), compuestos de cobre (oxicloruro de cobre, oxinato de cobre, sulfato de cobre) o hipoclorito de cobre; en aspersión siguiendo las especificaciones del fabricante (Ardón 2007). La higiene del personal es esencial para reducir el riesgo de introducir plagas y enfermedades por medio de las manos, el cabello, la ropa y el calzado, además del uso de guantes de látex, equipo y ropa de trabajo adecuada, y la limpieza y desinfección de las herramientas y los equipos de trabajo (Sandoval 2012). Para monitorear la población de moscas o contrarrestarla se pueden utilizar trampas, telas o mallas mosquiteras en las ventanas (Fernández 2005, Ardón 2007).

2.8.2. Plagas

2.8.2.1. Ácaros

Para evitar los ataques de ácaros se deben controlar las poblaciones de dípteros y la incidencia de *Trichoderma*, mediante el uso de productos químicos como el formaldehído (40%) sobre la tierra de cobertura (Ardón 2007, Sandoval 2012). Los ácaros pertenecientes a la familia de los Pygmeofóridos (*Pygmaeophorus stercoricola*, *Brennandania lambi*, *Brennandania mesembrinae* y *Brennandania sellnicki*) se nutren del micelio del champiñón, deteriorando su calidad, y de acuerdo con Alvarado (2012), son los más comunes en nuestro país.

2.8.2.2. Dípteros

Las larvas de las familias de los Esciáridos (*Sciara fenestralis*, *S. multisetata*, *S. coprophila* y *Lycoriella spp.*) causan daños en la fase de fructificación y en los hongos listos para cosechar (Ardón 2007, Sandoval 2012). Alvarado (2012) señala

que estos organismos son comunes en nuestro país. Aparte del manejo de remanentes, la aparición de Esciáridos puede controlarse por medio de la aplicación de productos químicos:

- ☉ Cipromazina (75%) en aspersion sobre el compost 5 días después de la siembra, cuando se detecten en la trampa más de 5 Esciáridos por día.
- ☉ Diflubenzurón (25%) sobre la tierra de cobertura 5 días después de su colocación, al momento en que se detecten en la trampa más de 15 Esciáridos por día.

2.8.2.3. Nemátodos

Los nematodos de mayor importancia son *Aphelenchoides composticola* y *Ditylenchus myceliophagus* (Ardón 2007). Los indicadores de su aparición son un color rojizo en el estiércol, una textura jabonosa y olor como acre. La mejor forma de controlar la plaga es la prevención: una adecuada esterilización del compost, el empleo de nematicidas autorizados así como los análisis en laboratorio de estiércol y tierra de cobertura.

2.8.3. Enfermedades

Los hongos y las bacterias pueden causar enfermedades en los champiñones. Ardón (2007), Alvarado (2012) y Sandoval (2012) demuestran que de los principales agentes causales de las enfermedades encontradas en nuestro país son las siguientes:

- ☉ *Pseudomona spp.*: Estas bacterias provocan manchas bacterianas o gota, y momificación que provoca la apertura prematura del pileo. Las condiciones que favorecen su aparición son una mala preparación del estiércol, ventilación deficiente de las instalaciones y riego excesivo. Para el tratamiento se mezcla cloruro cálcico con el agua de riego al 0,3%. Se puede prevenir la enfermedad durante la cosecha al utilizar cloro en el agua de riego o cloro granulado en el piso de las instalaciones, sin embargo la mejor

recomendación consiste en desechar los contenedores contaminados o separar las zonas contaminadas de las sanas.

- ☞ *Verticillium fungicola*: Es un hongo patógeno que produce la burbuja seca o mole seca. Puede llegar a destruir una cosecha en dos o tres semanas y el síntoma más notorio es la formación de una masa de tejido putrefacto en forma de globo o burbuja seca con un olor desagradable. El control se hace aplicando procloraz (46%) en el agua de riego entre 7 – 9 días después de colocar la tierra de cobertura.
- ☞ *Trichoderma harzianum*: Esta micosis se conoce comúnmente como *Trichoderma* o moho verde. Esta especie se ha descrito como la causante de una de las enfermedades más serias del cultivo de champiñones. Se propaga durante la cosecha y el riego. Al principio es grisáceo, crece rápidamente y se torna verde por la producción de esporas. La enfermedad se presenta en compostajes con exceso de carbohidratos y deficiencias de nitrógeno. Para su control se puede proteger la semilla con una mezcla de 0,5 g de benomil con 22 g de yeso para 1,00 kg de semilla.
- ☞ *Mycogone perniciosa*: Este hongo produce la burbuja húmeda o mole húmeda. El principal medio de dispersión de las esporas son los trabajadores y el riego sobre las áreas infectadas. Se manifiesta como un moho blanco sobre el primordio y tornándolo en una masa suave y blanca de micelio, de su interior brota un líquido ámbar que contiene las esporas. Para su control se puede utilizar benomil (50%) en el agua de riego y procloraz (46%).

2.9. Comercio del champiñón en Costa Rica

Para referencia sobre los datos de importaciones y exportaciones de hongos comestibles realizados por Costa Rica, el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) los clasifica en 2 categorías: Blanco de setas (hongos) N.T.35 y Hongos y demás setas N.T. 35. La información sobre el comercio exterior que proporciona este instituto se muestra en moneda extranjera (dólares estadounidenses), por lo que se realizó la conversión a moneda nacional (colones costarricenses) a partir del registro

del tipo de cambio promedio para cada mes reportado por el BCCR (2012a), BCCR (2012b).

2.9.1. Importaciones de hongos al país

En la Figura 8 se presentan los datos de las importaciones de Blanco de setas obtenidos por el INEC (2012a) para el periodo comprendido entre enero del año 2002 y junio del año 2012 de países como México, Estados Unidos de América, Brasil, Bélgica, Colombia y Guatemala.

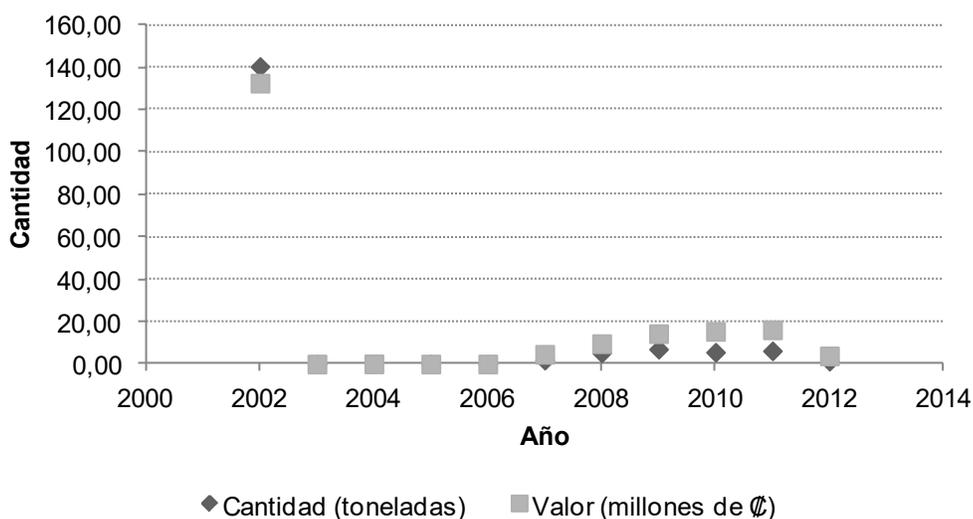


Figura 8. Importaciones de Blanco de setas (hongos) N.T. 35, realizadas por Costa Rica entre los años 2002 – 2012. Adaptado de INEC (2012a).

En la figura anterior se observa que durante los últimos 10 años se importaron al país un total de 167.760,04 kg de hongos N.T. 35, lo que significa una inversión total de ₡196.596.164,27. En otras palabras, durante los años 2002 – 2012 se ha importado un promedio anual de 18.640,00 kg de hongos N.T. 35 con un valor de ₡21.844.018,25. Es importante resaltar que en los años 2003 y 2005 no se reportaron importaciones del producto, además, se observa que las mismas disminuyeron 22,53 veces en el año 2011 en comparación con el año 2002. En la

Figura 9 se muestran los datos de las importaciones realizadas de Colombia, Ecuador, México, Irlanda, Estados Unidos de América, Panamá, Taiwán, Perú, China, y Hong Kong de setas y demás hongos. N.T. 35 durante los últimos 10 años.

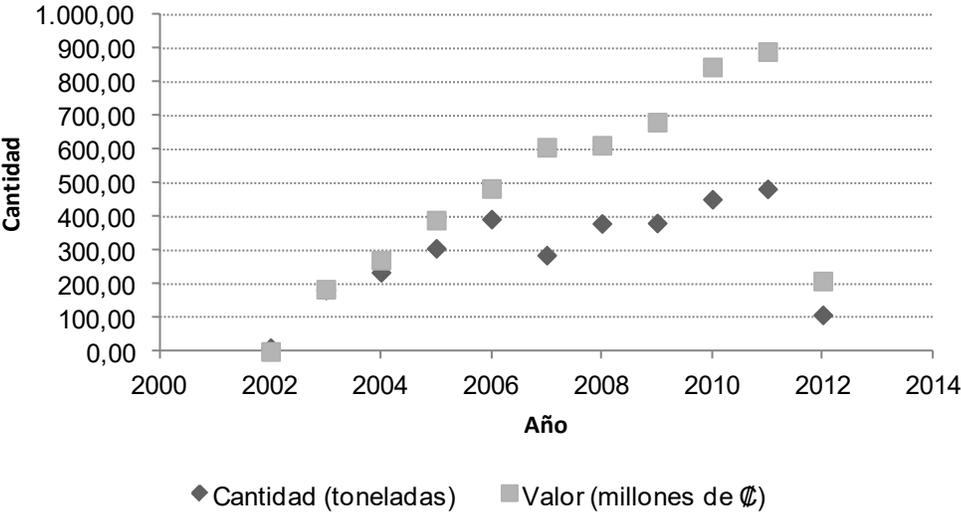


Figura 9. Importaciones de Setas y demás hongos. N.T. 35, realizadas por Costa Rica entre los años 2002 – 2012. Adaptado de INEC (2012a).

Como se aprecia en la figura anterior, entre los años 2002 y 2012 se han importado un total de 3.227.813,26 kg de otros hongos N.T. 35, lo que representa una inversión total de ₡5.180.283.333,52, un promedio anual de 293.437,57 kg de otros hongos N.T. 35 con un costo ₡470.934.848,50. Es importante resaltar que a partir del año 2002 las importaciones del producto han venido en aumento, además, se observa que entre los años 2010 y 2011 se presentó un aumento en las importaciones de 30,69 toneladas de hongos, y hasta junio de 2012 se han traído al país 4,40 veces menos producto en comparación con el año 2011.

2.9.2. Exportaciones de hongos en Costa Rica

El INEC (2012b) informa que en los últimos 10 años, en el periodo comprendido entre enero de 2002 y julio de 2012 las actividades de exportación se han centrado

en el comercio de setas y demás hongos N.T. 35. En la Figura 10 se muestra la información recopilada sobre la actividad de dichos productos.

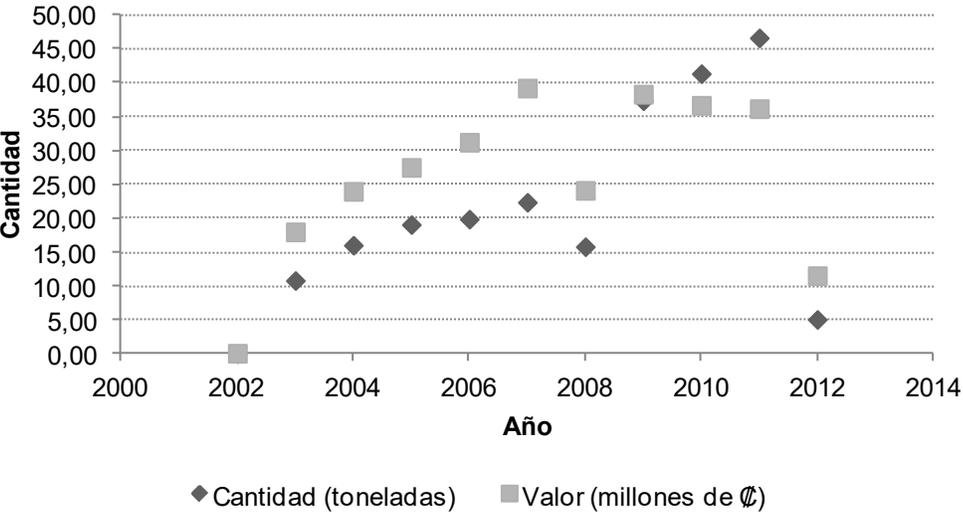


Figura 10. Exportaciones de Setas y demás hongos N.T. 35, realizadas por Costa Rica entre los años 2002 – 2012. Adaptado de INEC (2012b).

Durante los últimos 10 años Costa Rica ha exportado hongos a Nicaragua, Panamá, Estados Unidos de América, Guatemala, Honduras y El Salvador. De acuerdo con la figura anterior, se han exportado un total de 234,62 toneladas de hongos N.T. 35, lo que representa un ingreso total de ₡287,03 millones, para un promedio anual de 21,33 toneladas de hongos N.T. 35 con un ingreso de ₡26,09 millones en este mismo periodo. A partir del año 2002 se ha dado un aumento considerable en las exportaciones, por ejemplo en el año 2009 las exportaciones se incrementaron 2,34 veces en comparación con el año 2008, lo que indica claramente el aumento de la actividad en el país.

2.9.3. Consumo per cápita nacional

El consumo de setas y demás hongos N.T. 35 se calculó con base en el reporte de las importaciones realizadas por Costa Rica entre los años 2002 y 2012 INEC

(2012a) y con las estimaciones poblacionales del INEC (2012c). Los datos obtenidos se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Consumo per cápita de Setas y demás hongos N.T. 35 en Costa Rica durante los años 2002 – 2012.

Año	Consumo (g)
2002	3,04
2003	44,38
2004	56,15
2005	72,04
2006	91,00
2007	65,33
2008	85,53
2009	84,74
2010	99,18
2011	104,71
2012	23,51

Adaptado de INEC (2012c).

De acuerdo con la información obtenida del cuadro anterior, el consumo ha aumentado durante los últimos 10 años. Por ejemplo se aumentó el consumo 14,15 veces en el año 2003 en comparación con el año 2002, y se dio un incremento de 2,36 veces en el año 2011 al compararlo con el año 2003.

2.9.4. Preferencias de los consumidores locales

Se visitaron 5 locales comerciales, ubicados en la zona central de la ciudad de San Ramón, provincia de Alajuela, Costa Rica. Los locales comerciales se distribuyen de la siguiente manera: 1 pertenece a una cadena multinacional, 1 es de una cadena nacional, 1 es local de venta al mayoreo, 1 es local de venta al por mayor y detalle y 1 pizzería local. El objetivo de la visita era determinar las preferencias de los consumidores locales.

Durante la visita se consultó con los encargados el tipo de producto ofrecido al consumidor, la presentación, el precio de venta y si estarían dispuestos a consumir

productos locales. Se determinó que los comercios ramonenses prefieren los champiñones enlatados, aunque podrían comercializar producto fresco. Los precios de venta son accesibles al consumidor promedio, con precios que varían entre ₡395 por una lata de 184 g (peso escurrido) y ₡4.645 por un galón (3,79 L). El comercio de champiñones enlatados en presentaciones pequeño, mediano, grande y galón es de más de 2.800 latas mensuales en los 5 locales visitados.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un compost a partir de excretas de animales domésticos y diferentes subproductos agroindustriales para utilizarlo como sustrato para el crecimiento del hongo champiñón (*Agaricus bisporus*).

Específicos

- 3.2.1. Desarrollar la mezcla óptima de materiales con base en la relación carbono:nitrógeno y concentración de agua.
- 3.2.2. Realizar un estudio de factibilidad económica de la producción del hongo.
- 3.2.3. Proponer un sistema de manejo adecuado para los residuos del proceso de producción del hongo.
- 3.2.4. Analizar los factores limitantes que influyen en el proceso de obtención del producto final.

METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se desarrolló en la ciudad de San Ramón de Alajuela, Costa Rica. El proceso de compostaje se realizó en las instalaciones de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, en San Pedro de San Ramón. Se hicieron en total 3 pruebas de campo. La primera prueba se hizo en las instalaciones de la Sociedad Protectora Muebles del Río, en Santiago de San Ramón; la segunda prueba se llevó a cabo en las instalaciones de la Mueblería ASOYU, en el distrito central de San Ramón; la tercera prueba se llevó a cabo en el Laboratorio de Bioquímica del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) en la Ciudad Científica de la Universidad de Costa Rica (UCR), San Pedro de Montes de Oca, San José.

4.2. Financiamiento del proyecto

El proyecto de investigación dirigida fue financiado parcialmente por el estudiante y parcialmente por la Oficina de Becas y Asistencia Socioeconómica, en cuanto a la compra de materias primas, equipos, materiales y combustible.

4.3. Tratamientos

Las fórmulas de los tratamientos (sustratos) se calcularon utilizando la metodología propuesta por Rynk et al. (1992) y Fitzpatrick (1993) considerando que la mezcla de ingredientes mantuvieran una relación C:N de 21:1, humedad alrededor del 60% y una concentración de N entre 1,60 – 1,80%. Se evaluaron 3 pruebas que constaron de 4 tratamientos (sustratos) y 6 repeticiones cada uno. En el Cuadro 7 se resumen las fórmulas utilizadas.

Cuadro 7. Fórmulas utilizadas para la elaboración del compost.

Tratamiento	Ingrediente	Inclusión Prueba 1 (%)	Inclusión Pruebas 2 y 3 (%)
T ₁	Caballaza	66,72	65,79
	Heno de Transvala (<i>Digitaria decumbens</i> Stent)	26,68	32,89
	Pollinaza	6,00	0,00
	Urea	0,60	1,32
	Total	100,00	100,00
T ₂	Caballaza	64,39	62,31
	Paja de Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	28,98	31,15
	Harina de soya	6,44	6,23
	Urea	0,19	0,00
	Fertilizante	0,00	0,31
Total	100,00	100,00	
T ₃	Caballaza	63,49	51,95
	Broza de Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	23,18	18,96
	Harina de Soya	3,81	8,31
	Aserrín	9,52	20,78
	Total	100,00	100,00
T ₄ (control)*	Bagazo de Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	67,32	67,32
	Hoja de Caña de azúcar	26,93	26,93
	Pollinaza	5,39	5,39
	Fertilizante	0,18	0,18
	Harina de soya	0,18	0,18
Total	100,00	100,00	

*Adicionalmente, durante el proceso de compostaje se adicionaron 5,00% de yeso y 5,00% de melaza de caña.

4.4. Procedimientos realizados

4.4.1. Proceso de compostaje

Se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por Fernández (2002), Saldaña (2003), Ardón (2007), Muñoz (2007), Vásquez (2010) y Sandoval (2012), con el fin de respaldar el trabajo de campo con la experiencia previa de los investigadores antes mencionados.

4.4.1.1. Materias primas utilizadas

Para las 3 pruebas se utilizaron las materias primas provenientes de los mismos proveedores, a excepción de la paja de arroz, todos los materiales se obtuvieron de comercios ubicados en San Ramón. En el Cuadro 8 se presenta una lista de los proveedores y algunas características de las materias primas.

Cuadro 8. Lista de proveedores y algunas características de las materias primas.

Materia prima	Presentación	Costo unitario (₡)	Proveedor	Distancia de UCR – SO*
Caballaza	Saco de 30 kg	200,00	Ganadería Allan Arrieta	14
			Cuadra mis Nietos	12
			Cuadra el Nogal	4
			Yeguada Villamar	2
Pollinaza	Saco de 25 kg	600,00	Finca Heiner Alfaro	22
Bagazo de caña	Saco de 15 kg	200,00	Coopecañera RL	8
			Ingenio Asodulce	30
Aserrín	Saco de 24 kg	350,00	Maderas de San Ramón S.A.	4
Broza de café	Saco de 30 kg	400,00	Ingenio Café de Altura	3
Paja de arroz	Paca de 15 kg	1.000,00	Finca Omar Alpízar	264
Heno de transvala	Paca de 19 kg	2.950,00	Granero Santiagueño	2
Urea	Bolsa de 1 kg	780,00	Granero Santiagueño	2
Harina de soya	Quintal	13.390,00	Planta de Alimentos Megatrópico S.A.	30
Hoja de caña	Saco de 7 kg	200,00	Ingenio Asodulce	30
Fertilizante	Bolsa de 5 kg	3.000,00	Granero Santiagueño	2
Yeso	Bolsa de 1 kg	430,00	Ferretería Jorcel	2
Melaza líquida	Galón	1.500,00	Granero Santiagueño	2
Melaza en polvo	Bolsa de 1 kg	800,00	Granero Santiagueño	2

*La distancia se midió desde las instalaciones donde se realizó el compostaje en la Sede de Occidente de la UCR hasta el respectivo proveedor y de regreso.

4.4.1.2. Formulación del compost

Como se mencionó anteriormente, se formuló el compost utilizando la metodología explicada por Rynk et al. (1992), Fitzpatrick (1993) y Negro et al. (2000). Para calcular relación C:N se utilizó la siguiente fórmula:

$$C:N = \frac{(\%Ca*kg_a*(1-\%Ha)) + (\%Cb*kg_b*(1-\%Hb)) + ((\%Cc*kg_c*(1-\%Hc)) + (\%Cn*kg_n*(1-\%Hn)))}{(\%Na*kg_a*(1-\%Ha)) + (\%Nb*kg_b*(1-\%Hb)) + (\%Nc*kg_c*(1-\%Hc)) + (\%Nn*kg_n*(1-\%Hn))}$$

Donde: C:N = relación carbono:nitrógeno

C = carbono

H = humedad

kg = cantidad del material en kilogramos

a = se refiere al primer material

b = se refiere al segundo material

n = se refiere al tercer, cuarto, ..., todos los materiales que se deseen utilizar en la formulación

Los contenidos de humedad y de nitrógeno se obtienen por medio de los laboratorios o por medio de la literatura. A partir del contenido de nitrógeno se estima el contenido de proteína cruda y viceversa, utilizando la siguiente ecuación (A.O.A.C. 1984):

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{\text{Proteína Cruda (\%)}}{6,25}$$

El contenido de carbón de los materiales se puede calcular mediante la siguiente fórmula (Rynk et al. 1992):

$$\text{Carbono (\%)} = \frac{100 - \text{Cenizas (\%)}}{1,8}$$

Si no se conoce el contenido de cenizas, se puede calcular de la siguiente manera (A.O.A.C. 1984):

$$\text{Cenizas (\%)} = 100 - \text{Materia Orgánica (\%)}$$

En el Cuadro 9 se muestra la composición química de las materias primas utilizadas para la formulación de los diferentes tratamientos.

Cuadro 9. Composición química de las materias primas.

Ingrediente	MS, %	C, %	N, %	C:N	Fuente
Caballaza	28,00	48,00	1,60	30	Rynk et al. 1992
		15,00	0,50	30	Sztern y Pravia 1999
	27,00	42,72	1,48	29	Alvarado 2011 ¹
	60,35		0,95		CIA 2012
Bagazo de caña	53,25	53,96	0,48	114	Cambroner y Chan 1982
	89,00		0,26		Ojeda, Cáceres y Montejo 2003
	93,60	54,05	0,31	174	Mata 2011
	54,06	55,37	0,50	111	WingChing-Jones 2011 ²
Hoja de caña de azúcar	88,80	52,63	1,15	46	Gonzalvo et al. 2001
Pollinaza seca con cama de cascarilla de arroz	84,10	52,94	5,38	10	Tobía y Vargas 2000
	84,60		4,03		Tobía et al. 2001
Heno de transvala	87,60	47,22	4,16	11	Mata 2011
	93,01	55,52	0,41	135	Calderón y Escorcía 2005
Broza de café	88,92	55,49	0,55	101	WingChing-Jones y Alvarado 2009
	87,90	50,11	1,93	26	Cambroner y Chan 1982
Paja de arroz	76,80	55,55	0,34	163	López 1987
	20,50	55,55	1,92	29	Mora 1990
Urea	89,04	46,11	0,62	74	Bartaburu, Montes y Pereira 2006
Melaza de caña	99,30	51,17	44,80	1	FEDNA 1999
	77,09	50,66	1,54	33	Cambroner y Chan 1982
Harina de soya	75,00		0,48		WingChing-Jones 2011 ²
	88,50	52,00	7,65	7	Mata 2011
Fertilizante 30-0-15	89,81	52,42	6,04	9	WingChing-Jones 2011 ²
	89,90	52,22	7,73	7	WingChing-Jones 2011 ²
Aserrín	99,00	0,00	30,00	0	CAFESA 2011
Aserrín	61,00	96,00	0,24	400	Rynk et al. 1992
	47,00	48,12	0,45	107	Alvarado 2011 ¹

¹ALVARADO G. 2011. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

²WINGCHING-JONES. 2011. Comunicación personal. Escuela de Zootecnia, Ciudad universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

4.4.1.3. Elaboración del compost

En el Cuadro 10 se muestra un resumen del cronograma de trabajo elegido para la elaboración del sustrato para la siembra de hongos champiñones. El proceso de compostaje se llevó a cabo en montículos al aire libre y sobre piso de tierra, en un área de 2,08 m² (T₁), 1,67 m² (T₂), 1,81 m² (T₃) y 2,29 m² (T₄). En total se utilizó un terreno de 99,65 m². El riego de los montículos se realizó empleando una manguera, y la cantidad de agua utilizada se estimó de esta manera: se llenó un recipiente de volumen conocido y se midió el tiempo que tardó en llenarse, luego mediante proporcionalidad matemática o regla de 3 se relacionó el tiempo de riego con el volumen de agua consumido.

Cuadro 10. Cronograma de trabajo para la elaboración del sustrato para producir hongos champiñones.

Día	Procedimiento
11 y 12 previo al inicio del compostaje	Humedecer los materiales más secos.
10 previo al inicio del compostaje	Mezclar la paja con un 50% de las demás materias primas, según el tratamiento. Regar por 3 días.
7 previo al inicio del compostaje	Voltear el bulto, agregando 50% de las demás materias primas, según el tratamiento. Regar la mezcla.
3 previo al inicio del compostaje	Voltear el bulto y regar en intervalos, de acuerdo al nivel de humedad de la mezcla.
0 (inicio del compostaje)	Hacer la pila, agregar el yeso y regar si es necesario.
2 posterior al inicio del compostaje	Primer volteo. Regar si es necesario.
4 posterior al inicio del compostaje	Segundo volteo. Regar si es necesario.
6 posterior al inicio del compostaje	Tercer volteo.
7 posterior al inicio del compostaje	Cuarto volteo.
8 posterior al inicio del compostaje	Pasteurización del compost.
11 ó 12 posterior al inicio del compostaje	Siembra de la semilla y traslado de bolsas al cuarto de incubación.

Modificado de Fernández (2002), Saldaña (2003), Muñoz (2007), Vásquez (2010).

El proceso de fermentación libre o compostaje se realizó en pilas. En el Cuadro 11 se presentan las cantidades de materiales utilizados para cada tratamiento. En el Anexo 1 se muestra un ejemplo de las hojas de registro de acontecimientos diarios de las pilas de compostaje. En el Anexo 2 se presentan imágenes de algunas materias primas utilizadas.

Cuadro 11. Materiales utilizados para los tratamientos de la primera prueba.

Nº tratamiento	Materias primas	Cantidad/ tratamiento (kg)	Total (kg)	% humedad	C:N	% N
T ₁	Heno Transvala	211,34	792	51,40	26,64	1,96
	Caballaza	528,35				
	Urea	4,76				
	Pollinaza	47,55				
	Broza de café	183,54				
T ₃	Caballaza	502,86	792	68,24	28,33	2,06
	Harina de soya	30,17				
	Aserrín	75,43				
	Bagazo	533,21				
	Gallinaza	42,66				
T ₄	Hoja de caña	45,80	624	70,79	19,57	2,76
	Fertilizante	1,42				
	Harina de soya	1,42				

Las cantidades de los materiales se obtuvieron a partir de las proporciones mostradas en el Cuadro 7. Para el tratamiento T₄ se realizó una modificación en la fórmula original, debido a la dificultad para obtener la hoja de caña necesaria. Para la adquisición de las materias primas de los 3 tratamientos se consideró arbitrariamente un 10% de pérdida de materiales por acarreo y transporte.

La humedad se registró utilizando un hidrómetro analógico para suelos. Cuando no se contó con el instrumento, la medición se realizó en forma empírica, como lo señala Mejía (2005): se aprieta un puñado de compost, si caen algunas gotas de agua la humedad es de alrededor del 70%, si no cae ninguna gota es menor al 50% y si caen demasiadas gotas (casi como un chorro de agua) entonces la humedad es mayor al 70%.

El humedecimiento de las materias primas se realizó aprovechando el agua de lluvia, sin embargo, posterior a la mezcla de materiales y al inicio del compostaje representó un problema que no fue posible controlar, debido a que no se utilizaron instalaciones bajo techo y con piso de cemento, como lo recomiendan la mayoría de autores especializados en el tema (Fernández 2005, Ardón 2007). Se tomaron algunas muestras para determinar la humedad a 60°C en el Laboratorio de Biología de la Sede de Occidente de la UCR. Las observaciones se anotaron en una bitácora, como se muestra en el Anexo 1.

Al final del proceso de compostaje se tomaron muestras aleatorias y se analizaron en el Laboratorio de Química del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) – UCR, donde se cuantificó la humedad. De igual manera se analizó la composición química en Laboratorio de Suelos y Foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) – UCR.

La temperatura se midió con un termómetro analógico para compost (Figura 11). Cuando no se cuenta con este instrumento se puede medir en forma empírica, introduciendo un cuchillo o un machete durante 3:00 minutos, luego se saca y se toca con la mano, si no se puede sostener indica que la temperatura se encuentra por encima de los 60°C y se puede proceder a voltear el montículo (Solano³ 2012). Los volteos se realizaron en forma manual cada vez que la temperatura alcanzó los 60°C.

³SOLANO S. 2012. Comunicación personal. Finca de producción BioFungi CR. Grecia, Costa Rica.



Figura 11. Medición de la temperatura en las pilas de compost, a.Vista lejana; b. Vista cercana del termómetro.

Para calcular el rendimiento real de cada tratamiento se estimó la densidad del compost midiendo el volumen de un recipiente y la cantidad de compost que puede contener (Figura 12), posteriormente se calculó la densidad por medio de la fórmula que relaciona la masa (kg) con el volumen (m³):

$$\text{Densidad } (\rho) = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$



Figura 12. Cálculo de la densidad de los tratamientos, a. Recipiente de volumen conocido; b. Medición de la masa; c. Medición del volumen de la pila de compostaje.

4.4.2. Pasteurización del compost

El proceso de pasteurización del sustrato de la Prueba 1 se realizó mediante el método de baño maría, utilizando gas de cocina (gas licuado de petróleo o GLP) como fuente de calor y un estañón con agua, este modelo se adaptó de Alvarado⁴ (2012). A cada tratamiento se le aplicó vapor de agua por 5 horas, y tuvo lugar entre los días 16/11/2011 y el 30/11/2011. Además, el suplemento que se utilizó también se pasteurizó, para garantizar la inocuidad del sustrato. El sustrato utilizado en la prueba 2 no se pasteurizó, sino que se colocó el compost en un invernadero donde se mantuvo la temperatura interna entre 40 – 50°C durante 7 días, mientras que el sustrato usado en la prueba 3 se colocó en un autoclave a 120°C durante 1 hora y se dejó enfriar durante 12 horas.

4.4.3. Siembra

El sistema elegido para la producción de los champiñones fue el Sistema Francés. La cepa AG – 4 se obtuvo a través de la empresa BioFungi CR S.A. El 23/11/2011 se procedió a sembrar las 6 repeticiones del tratamiento T₃ (T_{3.1}, T_{3.2}, T_{3.3}, T_{3.4}, T_{3.5} y T_{3.6}), así como 2 repeticiones del tratamiento T₄ (T_{4.1} y T_{4.2}). Los tratamientos restantes no fueron sembrados debido a daños en la semilla.

Para las pruebas 2 y 3 el proceso se varió y se mezcló la totalidad del sustrato con 0,250 kg de semilla y 0,500 kg de suplemento (Green Neem®) en bolsas de 5 y 3 kg, posteriormente se trasladaron las bolsas al cuarto oscuro. La siembra para los 4 tratamientos de la Prueba 2 se realizó entre los días 19/04/2012 y 20/04/2012, en las instalaciones de la Mueblería ASOYU, en el distrito central de San Ramón. La Prueba 3 se dio entre el 15/05/2012 y el 30/05/2012, y se utilizó el sustrato de la segunda prueba. Las instalaciones para la siembra e incubación de los tratamientos

⁴ ALVARADO G. 2012. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

fueron las del Laboratorio de Bioquímica del Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR, ubicado en la Ciudad de la Investigación, San Pedro de Montes de Oca. En esta ocasión se utilizaron 3 kg de sustrato, y se sembraron 2 repeticiones por tratamiento, los cuales se denominaron T_{1.7}, T_{1.8}, T_{2.7}, T_{2.8}, T_{3.7}, T_{3.8}, T_{4.7} y T_{4.8}.

4.4.4. Estudio de factibilidad

El esquema de las instalaciones propuestas se realizó con el programa Google SketchUp 8 (2010).

Los cálculos para la factibilidad del proyecto se desarrollaron a partir de 3 factores: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación costo beneficio (C/B), según lo establecido por Sapag y Sapag (2008), utilizando el programa LibreOffice (2012). El análisis de las inversiones y reinversiones necesarias en el modelo se efectuó relacionando los ciclos productivos del champiñón por año con los costos operativos de dichos ciclos y su requerimiento de capital de trabajo.

Para los años operativos que se plantearon en el modelo, se analizaron los costos operativos, para lo cual se agruparon los equipos en categorías, con el fin de facilitar la lectura de los datos recolectados. De igual manera que para las reinversiones (Cuadro 24) se asumió una inflación anual del 10%. Los costos operativos corresponden a la compra de materias primas para la elaboración del sustrato, compra de insumos de uso diario, mantenimiento de equipos e instalaciones y equipos en general, costos de mano de obra y pago de servicios (electricidad, agua, teléfono fijo e Internet).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Pruebas de campo

En la Figura 13 se muestra una imagen con el terreno utilizado. Es importante mencionar que, con el objetivo de causar el menor impacto posible en el ambiente, el terreno fue preparado en forma manual y sin el uso de agroquímicos. El control de las plantas no deseadas y del forraje presente en la zona se realizó en forma manual.



Figura 13. Terreno utilizado para la elaboración del compost, a. Terreno sin limpiar; b. Terreno limpio; c. Área preparada para un montículo de compost.

Adicionalmente se creó una rotulación para los tratamientos y para el área experimental, con el fin de evitar confusiones a la hora de registrar los eventos diarios. En la Figura 14 se muestra la rotulación utilizada.



Figura 14. Rotulación utilizada para las pruebas de campo.

5.1.1. Primera prueba

La primera prueba para producir champiñones tuvo lugar entre los días 24/09/11 y 12/12/11. Durante esta época se registraron fuertes lluvias, sobre todo en el mes de octubre, lo que incidió en forma directa sobre las pilas de compostaje. En el Cuadro 12 se presenta la información climática.

Cuadro 12. Información climática entre los meses de Septiembre de 2011 y Mayo de 2012.

Mes	Temperatura media (°C)	Precipitación acumulada mensual (mm)
Septiembre de 2011	20,71	309,60
Octubre de 2011	19,55	514,50
Noviembre de 2011	19,40	89,50
Diciembre de 2011	18,76	36,90
Enero de 2012	18,69	0,20
Febrero de 2012	19,34	0,50
Marzo de 2012	19,49	0,80
Abril de 2012	20,59	71,70
Mayo de 2012	21,01	200,20

Fuente: Vargas⁵ (2012).

La información presentada en el Cuadro 12 corresponde a los datos recopilados por el Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR, de la estación meteorológica de la Sede de Occidente de la UCR, la cual se ubica aproximadamente a 1.089,00 msnm, 10°5'5.97" latitud norte, 84°28'48.49" longitud occidental (Google Earth 2012). Durante la etapa de trabajo de campo se registró en promedio una temperatura de 19,73°C y una precipitación acumulada de 1.223,90 mm (Vargas⁵ 2012).

5.1.1.1. Elaboración del compost

Como se indicó anteriormente, el compostaje se realizó en pilas. En la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 se presentan algunas imágenes de los 3 tratamientos. En las tres figuras se aprecia la evolución de los tratamientos en el tiempo, y en algunos casos la formación de crecimientos microbianos atribuidos a la presencia de microorganismos termofílicos. La Prueba 1 se desarrolló durante la época de más

⁵ VARGAS J. 2012. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Geofísicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

lluvias, como se puede apreciar en el Cuadro 12, por lo que las pilas pasaron la mayor parte del tiempo cubiertos con un plástico para protegerlos de las lluvias, sin embargo, se destapaban en las mañanas y se volvían a cubrir en las tardes, todos los días durante las 5 semanas del proceso.



Figura 15. Tratamiento T₁, a. Montículo en la primera semana de compostaje; b. Montículo en la segunda semana del proceso (nótese la presencia de hongos termofílicos en las partes blancas del compost); c. Montículo en la última semana del proceso; d. Montículo tapado para protegerlo de la lluvia.



Figura 16. Tratamiento T₃, a. Montículo en la primera semana del proceso; b. Montículo en la segunda semana (nótese la formación de lixiviados debidos al exceso de agua); c. Montículo en la última semana del compostaje; d. Montículo cubierto (para protegerlo de la lluvia).



Figura 17. Tratamiento T₄, a. Montículo en la primera semana del proceso; b. Segunda semana de compostaje; c. Montículo en su última semana; d. Montículo cubierto.

5.1.1.2. Control de humedad del compost

En el Cuadro 13 se compara la humedad esperada utilizando la metodología de Rynk et al. (1992) con los datos reportados por los laboratorios.

Cuadro 13. Composiciones químicas calculadas y reportadas por los laboratorios.

Tratamiento	Datos calculados			Humedad, % (CINA)	N, % (CIA)
	Humedad, %	Relación C:N	Concentración de N, %		
T ₁	51,40	27	1,96	81,70	2,29
T ₃	68,24	28	2,06	69,40	1,36
T ₄	57,42	27	2,01	69,30	0,90

Los datos se calcularon a partir la información presentada en el Cuadro 9. Lo ideal para aplicar las fórmulas de Rynk et al. (1992) es contar con análisis químicos de cada materia prima con la que se va a formular el compost, sin embargo esto es poco práctico y muy costoso. Al analizar los datos del Cuadro 13 se puede observar que existen diferencias evidentes entre los datos esperados o calculados y los datos reales o reportados por los laboratorios. La humedad del tratamiento T_1 es 1,58 veces mayor a la esperada, lo que se puede explicar debido a las excesivas precipitaciones presentadas durante el mes de octubre, y que por el gran volumen aportado por el heno de Transvala no se logró proteger lo suficiente de la lluvia. En el caso del tratamiento T_3 la humedad casi no presentó variación, pues fue solo 0,88 veces mayor a la esperada, lo que indica que se logró un buen manejo del material. Finalmente el tratamiento T_4 presentó una variación en el contenido de humedad 1,20 veces mayor a lo esperado, producto también de las fuertes lluvias y falta de instalaciones apropiadas.

5.1.1.3. Control de temperatura del compost

Las mediciones de temperatura se anotaron en la bitácora mostrada en el Anexo 1. En la Figura 18 se presenta el promedio semanal de la distribución de temperaturas durante el proceso de compostaje.

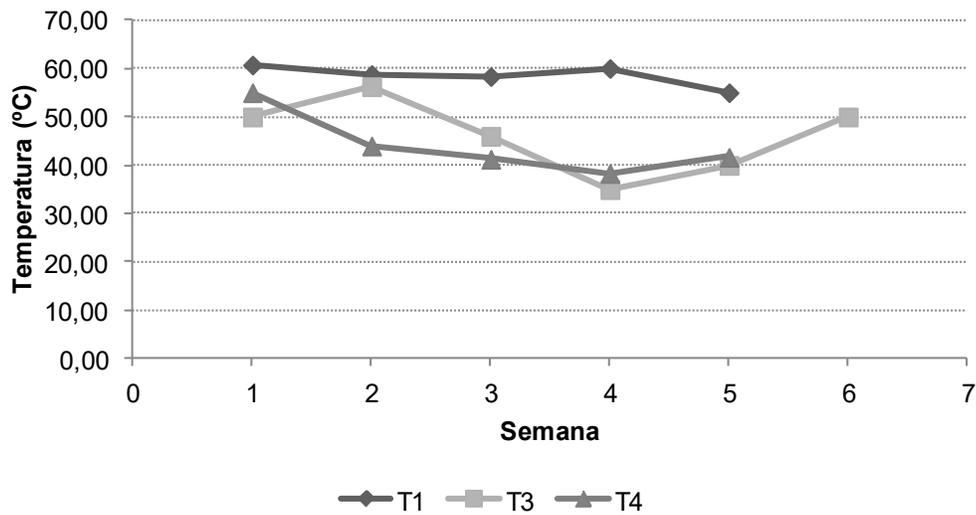


Figura 18. Distribución de la temperatura interna de las pilas de compostaje para cada tratamiento.

En la figura anterior se aprecia que la temperatura del T_1 tiende a disminuir conforme avanza el tiempo de compostaje, lo cual es consistente con lo expresado por Ardón (2007), Alvarado⁶ (2012) y Sandoval (2012), quienes mencionan que hacia el final de la fase 1 del compostaje la temperatura se debe disminuir para pasar a la fase de fermentación controlada. En el T_3 la temperatura siguió la misma tendencia que el tratamiento anterior, sin embargo en la semana 7 se obtuvo un aumento en la temperatura. Finalmente, el T_4 presentó temperaturas más bajas que los otros dos tratamientos, sin embargo no es exacto señalar que esto es debido a su bajo contenido de nitrógeno, el cual fue 2,23 veces inferior a lo requerido, razón por la cual no se logró suplir el ambiente ideal para el crecimiento de los microorganismos termofílicos, de acuerdo a lo observado en el Cuadro 13.

⁶ ALVARADO G. 2012. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

5.1.1.4. Rendimiento del compost

Las mediciones realizadas para estimar la densidad y el rendimiento del compost se efectuaron el día 25/11/2011 en la mañana. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Determinación el rendimiento real de los tratamientos.

Parámetro	Valores		
	T ₁	T ₃	T ₄
Volumen de la caja (m ³)	0,02	0,02	0,02
Peso del compost en la caja (kg)	10,35	15,70	9,45
Densidad del compost (kg/m ³)	473,14	717,71	432,00
Volumen de la pila (m ³)	0,85	0,48	0,32
Peso final del compost (kg)	402,17	344,50	138,24
Peso inicial del compost (kg)	792,00	792,00	624,00
Rendimiento (%)	50,78	43,50	22,15

Según lo demostrado en el Cuadro 14, se obtuvieron rendimientos muy bajos, entre las posibles causas se puede mencionar la falta de experiencia del productor, falta de instalaciones techadas y con piso de cemento, falta de control de la humedad y el efecto de lixiviación debido al exceso de lluvia de la época, los cuales causaron niveles bajos de N (0,01% N, que equivale a 0,06% de proteína cruda) de acuerdo con los laboratorios.

Si se compara la relación C:N reportada en el Cuadro 14 con la concentración de N, se puede deducir que el porcentaje de carbono para los tratamientos T₁, T₃ y T₄ es 52,92; 57,68 y 54,27 respectivamente. Al calcular la relación C:N a partir de la concentración de N reportada por los laboratorios, se obtiene que la nueva C:N para los tratamientos T₁, T₃ y T₄ es 23,13; 42,40 y 60,30 respectivamente.

5.1.1.5. Pasteurización o fermentación controlada

El sustrato se empacó en sacos de 30 kg de peso y se trasladaron a las instalaciones de producción. El estañón se llenó agua potable, de manera que el

agua no cubriera los bloques de cemento, tal y como se aprecia en la Figura 19. Posteriormente se monitoreó el nivel del agua, con el fin de que no disminuyera, sin embargo se observó que se producían pérdidas de vapor, lo que hacía pensar que el procedimiento no era energéticamente eficiente.



Figura 19. Proceso de pasteurización del compost, a. Equipo en funcionamiento; b. Vista interna del equipo; c. Compost listo para la pasteurización.

No fue posible medir con exactitud la temperatura interior del compost, por lo que no se pudo determinar si el interior alcanzó los 60°C requeridos durante al menos 2 horas para garantizar una pasteurización aceptable (Alvarado⁷ 2012). Este problema se puede corregir al utilizar una caja de acero inoxidable, como la que se menciona en la Figura 38.

⁷ ALVARADO G. 2012. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

5.1.1.6. Siembra del hongo

Para esta prueba se utilizaron las instalaciones de Sociedad Protectora Muebles del Río S.A., ubicadas en Santiago de San Ramón. En la Figura 20 se pueden apreciar las instalaciones, las cuales consisten en un local cerrado con plástico transparente, que incluye un área que sirve como bodega para los materiales de limpieza y la ropa limpia (gabachas, cubrebocas, mallas para el cabello, guantes, pediluvio), una zona de siembra y un cuarto oscuro. Las instalaciones se desinfectaron periódicamente con cloro al 3,5%.



Figura 20. Instalaciones utilizadas para la producción de champiñones, a. Vista exterior del módulo; b. Cuarto oscuro; c. Área limpia.

El proceso de siembra se ilustra en la Figura 21, y consistió en el llenado de las bolsas transparentes con 10 kg de sustrato, luego se mezclaron 2 pulgadas (alrededor de 5 cm) de sustrato con 0,250 kg de semilla y 0,500 kg de suplemento (harina de soya) previamente pasteurizado de la misma manera que se pasteurizó el sustrato. Posteriormente las bolsas se identificaron y se trasladaron al cuarto oscuro.



Figura 21. Siembra del champiñón, a. Llenado de bolsas con sustrato; b. Esparcido del sustrato; c. Semilla; d. Suplemento; e. Mezclado de la semilla con el suplemento y el sustrato; f. Bolsa lista para trasladarse al cuarto oscuro.

A pesar de que la semilla se mantuvo en condiciones similares a las recomendadas por la casa comercial, al segundo día de la siembra la semilla presentó un olor a húmedo o podrido, lo cual suponía algún grado de daño, por lo que se suspendió la siembra por recomendación del proveedor. En la Figura 22 se comparan las semillas sanas con las dañadas.



Figura 22. Comparación entre semilla sana y semilla dañada, a. Semilla sana; b. Semilla dañada.

Durante las semanas siguientes se registró una temperatura ambiental promedio de 21°C y una temperatura interna del sustrato de 24°C. A los 7 días de realizada la siembra se observó una tela que empezaba a cubrir el sustrato, sin embargo a los 9 días se evidenció la presencia de insectos y mosquitos en el cuarto oscuro. Para contrarrestar su efecto sobre el micelio se aplicó un insecticida organofosforado (Malatión®), luego se aplicó riego con café para alejar a los mosquitos por recomendación de Alvarado⁸ (2012). A pesar de los esfuerzos realizados el micelio no prosperó, y a los 22 días post – siembra se concluyó que el micelio no había poblado el sustrato debido al exceso de humedad. En la Figura 23 se muestran algunas imágenes de la Primera prueba.

⁸ ALVARADO G. 2012. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

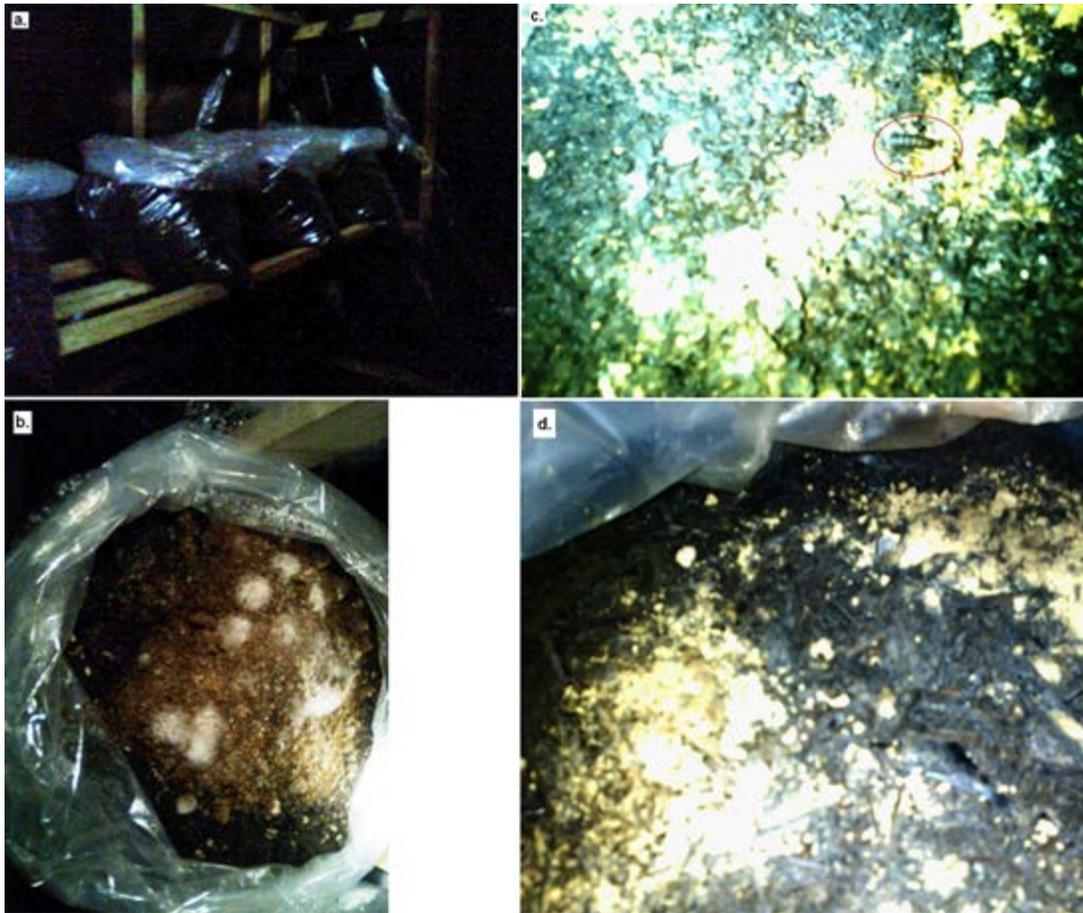


Figura 23. Evolución de la siembra del champiñón, a. Bolsas en el cuarto de incubación o cuarto oscuro; b. Colonización del sustrato; c. Aparición de insectos (en el círculo rojo se resalta un insecto); d. Sustrato a la cuarta semana post – siembra sin micelio y con exceso de humedad.

5.1.2. Segunda prueba

5.1.2.1. Elaboración del compost

Tuvo lugar entre los días 07/02/2012 y el 29/05/2012, en las mismas instalaciones utilizadas anteriormente y que se muestran en la Figura 13, así como la rotulación mostrada en la Figura 14. En el Cuadro 12 se demuestra que esta prueba se desarrolló durante la época seca, por lo que la falta de humedad fue el principal

problema a enfrentar. En el Cuadro 15 se presentan las cantidades de los materiales utilizados.

Cuadro 15. Materiales utilizados para los tratamientos en la segunda prueba.

Nº tratamiento	Materias primas	Cantidad total/ tratamiento, kg	Peso total, kg	Humedad, %	C:N	N, %
T ₁	Transvala	108,55	330	50,35	26	2,06
	Caballaza	217,11				
	Urea	4,34				
	Arroz	51,40				
T ₂	Caballaza	102,80	165	48,91	25	1,91
	Fertilizante	0,51				
	Harina de soya	10,28				
	Broza de café	62,57				
T ₃	Caballaza	171,43	330	61,42	28	2,37
	Harina de soya	27,43				
	Aserrín	68,57				
	Bagazo	111,09				
	Pollinaza	8,89				
T ₄	Hoja de caña	44,43	165	57,42	27	2,01
	Fertilizante	0,30				
	Harina de soya	0,30				

Las cantidades expresadas en el cuadro anterior se obtuvieron a partir de los datos del Cuadro 7. Debido a la falta de disponibilidad de algunos materiales se decidió compostear 330 kg de material para los tratamientos 1 y 3, y 165 kg para los tratamientos 2 y 4. Es importante mencionar que en esta etapa se tomó en cuenta la experiencia del compostaje anterior, por lo que controló de manera apropiada la humedad y temperatura, así como el suplemento de los tratamientos con pollinaza o harina de soya así como melaza. En la Figura 24 se presentan fotos del tratamiento T₁, en la cual se puede apreciar la apariencia inicial de la pila, el riego con melaza, uno de los volteos y la apariencia al final del proceso de compostaje.



Figura 24. Evolución del compostaje del tratamiento T_1 , a. Pila en su primera semana de compostaje; b. Pila en la tercera semana del proceso; c. Volteo y agregado de melaza a la pila; d. Compost al final del proceso de fermentación libre.

La Figura 25 ilustra la apariencia de la pila del tratamiento T_2 durante las 4 semanas del proceso, y se aprecia la apariencia inicial y final de la pila así como uno de los volteos con la aplicación de riego.



Figura 25. Evolución del proceso de compostaje del tratamiento T_2 , a. Pila formada en la primera semana; b. Pila en la tercera semana del proceso; c. Volteo y humedecimiento de la pila; d. Compost listo para la pasteurización.

En la Figura 26 se presentan imágenes del tratamiento T_3 , en las que se puede observar la forma física inicial de la pila, uno de los volteos y la forma física al final del proceso, en la cual el cambio en la coloración pasa de café claro (a.) a un color más oscuro (c.).



Figura 26. Fermentación libre del tratamiento T₃, a. Formación de la pila en la primera semana; b. Forma de la pila en la tercera semana; c. Volteo de la pila; d. Pila en la última semana del proceso.

Finalmente, la Figura 27 ilustra el proceso del compostaje para el tratamiento T₄. Al inicio del proceso se puede distinguir fácilmente el bagazo y las hojas de caña (a.), mientras que con el paso del tiempo, la aplicación del riego y los volteos (c.) los materiales van tomando una coloración más oscura (d.).



Figura 27. Proceso de compostaje del tratamiento T₄, a. Materiales mezclados y humedecidos en la primera semana; b. Pila volteada y humedecida en la tercera semana; c. Volteo de la pila; d. Pila en su última semana.

5.1.2.2. Control de humedad del compost

El control de la humedad representó un problema en esta época debido a las temperaturas propias de la época seca, situación que favoreció la evaporación, y nuevamente, la falta de instalaciones adecuadas fue un factor determinante para tratar este problema. En la Figura 28 se aprecian los promedios semanales de las lecturas de humedad obtenidas del registro de humedad.

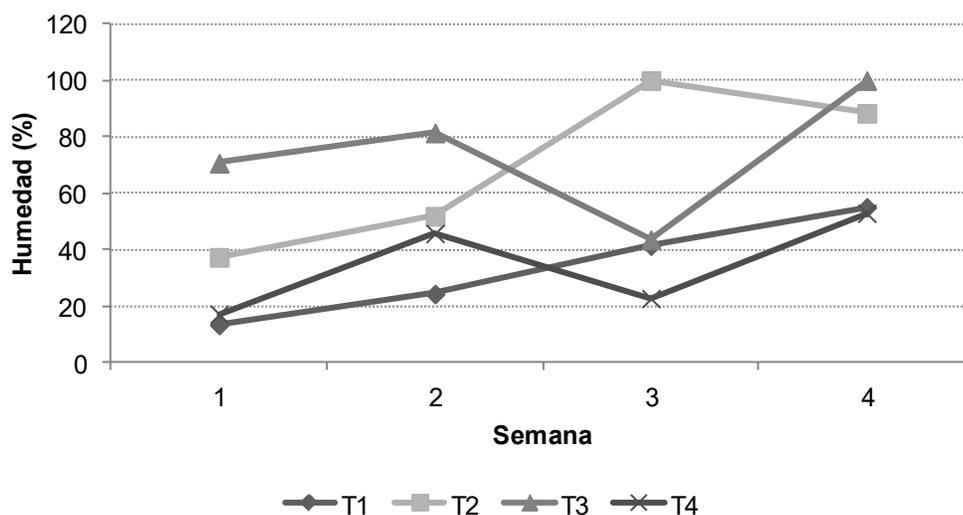


Figura 28. Registro de humedad de los tratamientos durante el compostaje.

Como se puede observar en la figura anterior, el T₁ alcanzó cerca del 60% de humedad al final del proceso, lo cual cumple con lo establecido por Ardón (2007) y Sandoval (2012), mientras que el T₂ resultó tener 1,6 veces más agua que el T₁, por lo que fue necesario aplicar un tratamiento para perder humedad. El T₃ sin duda tiene un exceso de humedad de casi el doble de lo requerido, y el T₄ al igual que el T₁ se encontró con una humedad óptima.

Las variaciones en el contenido de humedad de los 4 tratamientos se pueden explicar por dos factores: primero por el manejo y acondicionamiento de las materias primas que aportan volumen (heno de transvala, paja de arroz, broza de café y bagazo de caña), el cual no fue el adecuado, ya que lo más apropiado es contar con una pileta para humedecer los materiales durante al menos 12 horas, lo que puede ofrecer menos desperdicio del agua de riego; y segundo, posterior al inicio del proceso se presentaron precipitaciones aisladas (Cuadro 13) que inundaron los tratamientos T₂ y T₃, mientras que en el caso de los tratamientos T₁ y T₄ las precipitaciones tuvieron efectos positivos al acondicionarlos y poder alcanzar la humedad deseada.

En esta ocasión se estimó el consumo de agua de cada una de las pilas de compostaje, midiendo el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de volumen conocido a una presión de agua constante, y luego se midió el tiempo de riego y se extrapolaron los resultados. En el Cuadro 16 se muestran los resultados obtenidos. Posterior a cada riego, se utilizó tanto el hidrómetro como el método empírico para medir la humedad (Figura 29).



Figura 29. Medición de la humedad del compost, a.;b.;c. y d. Medición manual (dentro del círculo rojo es donde se observa si salen gotas o no); e. y f. Medición con el hidrómetro.

Cuadro 16. Consumo de agua de las pilas de compost durante todo el proceso.

Semana	Procedimiento	Tratamiento	Cantidad de agua necesaria, L
Cero (inicio)	Agregar agua en relación 1:1 (1 L de agua por cada 1 kg de compost)	T ₁	330,00
		T ₂	165,00
		T ₃	330,00
		T ₄	165,00
Primera	Agregar agua en relación 0,5:1 (0,5 L de agua por cada 1 kg de compost)	T ₁	165,00
		T ₂	82,50
		T ₃	165,00
		T ₄	82,50
Segunda en adelante	Agregar agua de acuerdo al contenido de humedad de cada pila	T ₁	2.014,00
		T ₂	774,50
		T ₃	1.039,00
		T ₄	1.117,50
Consumo total		T ₁	2.509,00
		T ₂	1.025,00
		T ₃	1.534,00
		T ₄	1.365,00

Según los datos recopilados en el Cuadro 16, al inicio del proceso de compostaje se proporciona el agua necesaria para acondicionar los materiales de manera que se pueda iniciar la actividad bacteriana de descomposición de la MO, y es a partir de la segunda semana cuando se presenta un mayor consumo de agua, debido a lo cual autores como Beyer (2003) y Sandoval (2012) recomiendan invertir en un sistema que canalice el agua que escurre y reutilizarla en los riegos posteriores. De acuerdo con los datos obtenidos, el T₂ es el tratamiento que estabiliza la humedad más rápidamente, y por lo tanto, que requiere de una menor cantidad de agua, mientras que el T₁ requiere de 2,4 veces más líquido que T₂, lo que lo hace el tratamiento con mayor impacto ambiental, sobre todo en lugares donde no se cuenta con disponibilidad de agua. Por otra parte, el T₃ necesita 509 L más de agua que el T₂ porque se trata de 2,00 veces más sustrato. Finalmente el T₄ necesita 304 L más de agua en comparación con el T₂, la razón para esta diferencia puede deberse a que resulta más fácil acondicionar la paja de arroz que el bagazo, la hoja de caña y la pollinaza.

5.1.2.3. Control de temperatura del compost

De acuerdo con Fernández (2005) las temperaturas registradas en una pila de compost varían entre 60 – 80°C. En la Figura 30 se presentan los promedios semanales para la distribución de temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje.

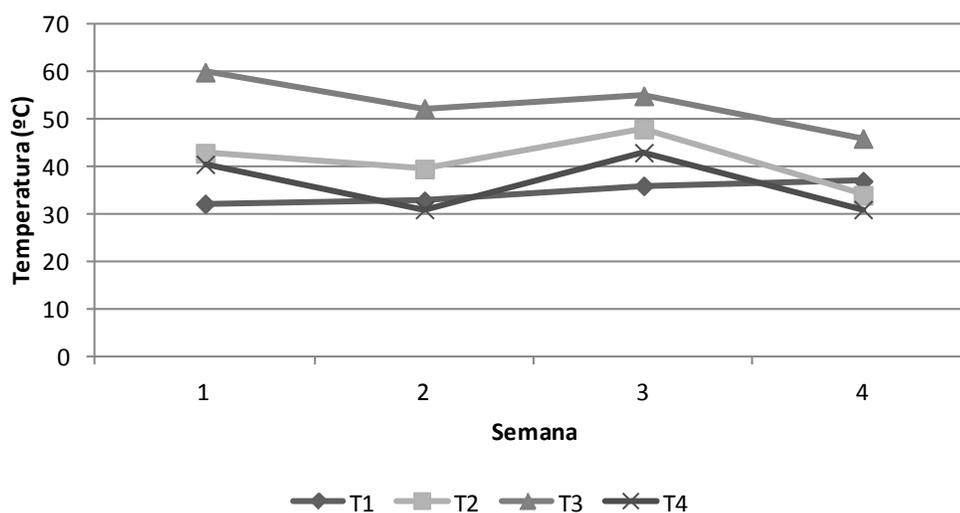


Figura 30. Distribución de las temperaturas de los tratamientos durante el compostaje.

Al comparar las temperaturas presentadas en la figura anterior con las expresadas por Fernández (2005) se observa que ningún tratamiento logró mantenerse en el rango deseado, lo que justifica que el periodo de compostaje debe extenderse algunos días más para alcanzar la composición y contextura deseadas. El T₁ presentó una temperatura 1,8 veces menor al máximo esperado, el T₂ fue 1,4 veces menor, el T₃ registró 60°C, lo cual se encuentra dentro del intervalo deseado y el T₄ fue 1,6 veces menor.

5.1.2.4. Rendimiento del compost

La estimación del rendimiento porcentual de los tratamientos se realizó de misma manera que en la primera prueba, el día 03/05/2012 en la mañana. En el Cuadro 17 se presentan los datos obtenidos.

Cuadro 17. Estimación del rendimiento real de los tratamientos.

Parámetro	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Volumen de la caja (m ³)	0,013	0,013	0,013	0,013
Peso del compost en la caja (kg)	4,40	5,50	7,50	5,50
Densidad del compost (kg/m ³)	338,46	423,08	576,92	423,08
Volumen de la pila (m ³)	0,85	0,33	0,48	0,32
Peso final del compost (kg)	287,69	139,62	276,92	135,38
Peso inicial del compost (kg)	330,00	165,00	330,00	165,00
Rendimiento (%)	87,18	84,62	83,92	82,05

En el cuadro anterior se puede observar que los rendimientos aumentaron considerablemente en comparación con la primera prueba, la cual exhibió rendimientos inferiores al 50%, lo que indica que el manejo de las pilas mejoró, con ayuda de condiciones climáticas más favorables.

5.1.2.5. Pasteurización o fermentación controlada

En el mes de abril durante Semana Santa se registraron fuertes lluvias aisladas, y al encontrarse las instalaciones cerradas no se pudo cubrir las pilas con plástico, lo cual incrementó la humedad de las pilas que se encontraban en la última semana del proceso. Por esta razón se construyeron pequeños invernaderos durante la semana siguiente para aprovechar la energía solar para disminuir la humedad de las pilas. El tamaño de las pilas se disminuyó a aproximadamente 30 cm de altura, se registraron temperaturas de 45°C dentro de los invernaderos y se mantuvieron en los mismos por una semana. En la Figura 31 se pueden apreciar las estructuras adaptadas para secar el compostaje.



Figura 31. Invernaderos para secar el compost, a. T₁; b. T₂; c. T₃; d. T₄.

Luego de 1 semana en el invernadero los tratamientos perdieron el exceso de humedad. En esta segunda prueba se decidió no pasteurizar el compost, pues se utilizó el criterio técnico de Losilla⁹ (2012), según el cual la temperatura interna de las pilas de compostaje dentro de los invernaderos (40 – 50°C) así como el tiempo dentro de los mismos (1 semana) fueron suficientes para mantener controladas las poblaciones de organismos contaminantes.

⁹LOSILLA R. 2012. Comunicación personal. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Dirección Regional Central Occidental. San Ramón, Alajuela, Costa Rica.

5.1.2.6. Siembra del champiñón

Las instalaciones utilizadas se muestran en la Figura 32. Se utilizó un diseño similar al módulo de la Prueba 1, y consistió en un cuarto forrado con plástico negro y dividido en tres secciones, tal y como se observa en la figura.

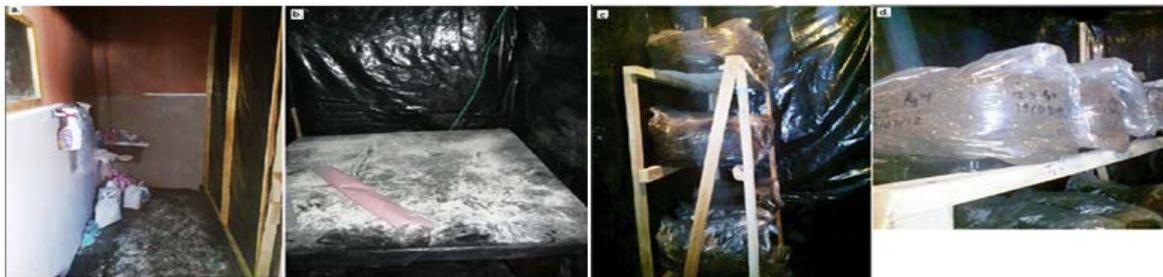


Figura 32. Instalaciones utilizadas para la siembra de la segunda prueba, a. Área de bodega; b. Área limpia; c. Cuarto oscuro; d. Bolsas sembradas y rotuladas.

Durante las primeras dos semanas post – siembra la colonización del micelio se presentó en forma normal, lo que significa que el sustrato se fue cubriendo con un material similar a una telita blanca. Las temperaturas registradas durante el periodo de incubación se muestran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Registro de temperaturas del cuarto de siembra.

Semana	1	2	3
Consecutivo	001 – 007	008 – 014	015 – 021
Fecha	22 al 28/04/12	29/04 al 05/05/12	05 al 12/05/12
Temperatura ambiente (°C)	26,33	23,67	23,00
Temperatura cuarto oscuro (°C)	26,40	25,50	26,00
Repetición	Temperatura promedio del sustrato (°C)		
T _{1.1}	27,00	26,50	26,00
T _{1.2}	25,33	26,75	27,50
T _{1.3}	25,60	27,25	26,50
T _{1.4}	24,40	26,75	26,50
T _{1.5}	25,40	27,00	28,00
T _{1.6}	26,80	27,50	28,00
Promedio	25,76	26,96	27,08

Cuadro 18. Registro de temperaturas del cuarto de siembra (Continuación).

Semana	1	2	3
Repetición	Temperatura promedio del sustrato (°C)		
T _{2.1}	26,33	26,75	26,50
T _{2.2}	27,33	27,50	27,00
T _{2.3}	26,60	27,50	28,00
T _{2.4}	25,80	27,50	27,00
T _{2.5}	26,80	27,25	28,00
T _{2.6}	27,80	27,50	27,50
Promedio	26,78	27,33	27,33
T _{3.1}	26,50	27,00	28,00
T _{3.2}	27,50	27,33	28,00
T _{3.3}	28,50	28,33	28,50
T _{3.4}	27,25	28,67	27,50
T _{3.5}	26,75	27,67	27,50
T _{3.6}	29,75	28,67	28,00
Promedio	27,71	27,94	27,92
T _{4.1}	26,50	27,50	27,50
T _{4.2}	25,83	26,75	27,00
T _{4.3}	27,00	28,00	28,00
T _{4.4}	27,20	27,75	28,00
T _{4.5}	27,00	27,75	28,00
T _{4.6}	27,00	27,25	27,00
Promedio	26,76	27,50	27,58

De acuerdo con lo reportado en el cuadro anterior, la temperatura de los sustratos se mantuvo por debajo de los 28°C, lo cual es consistente con las especificaciones de la empresa que proporcionó la semilla cepa Ag – 4, resistente a temperaturas altas (25°C en promedio) en comparación con otras cepas comerciales que deben mantenerse a menos de 20°C, de manera que cuando las temperaturas se ubican entre 25 – 32°C son indicadores de crecimiento del micelio, si superan los 33°C se detiene su crecimiento y el hongo muere. Se observan variaciones de temperatura entre las repeticiones de los tratamientos inferiores a los 3°C. La temperatura de las repeticiones fue tomada cerca del centro de la bolsa, y en la Figura 33 se muestran imágenes de la colonización del micelio. Se puede observar el avance de la colonización como una superficie de color blanco creciendo sobre el sustrato.



Figura 33. Colonización del micelio sobre el sustrato durante la primera semana post - siembra, a. T_{1,3}; b. T_{2,2}; c. T_{3,6}; d. T_{4,5}.

Hacia la mitad de la segunda semana post-siembra las bolsas se contaminaron con ácaros. En el Laboratorio de Biología de la Sede de Occidente de la UCR se identificó el organismo como perteneciente a la familia *Acaridae*, lo que fue confirmado por Murillo (2012)¹⁰, quien indicó que a pesar de que la fuente de alimento del organismo es el micelio, también consume gran variedad de alimentos. En la Figura 34 se muestran las imágenes obtenidas del laboratorio.

Ferragut et al. (1997) apoyan lo indicado por Murillo¹⁰ (2012) al señalar que la vía de ingreso del ácaro al cuarto oscuro puede ser por medio de los mosquitos, o bien, por la ropa, madera, piel, cabello u otros materiales similares, por lo que no se puede decir con certeza el medio por el cual el organismo no deseado ingresó a las instalaciones. Finalmente, Ardón (2007) y Sandoval (2012) enfatizan el hecho de que los ácaros y los hongos del género *Trichoderma* son en importancia económica las principales plagas que afectan el cultivo de champiñón.

¹⁰MURILLO P. 2012. Comunicación personal. Laboratorio de Acarología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

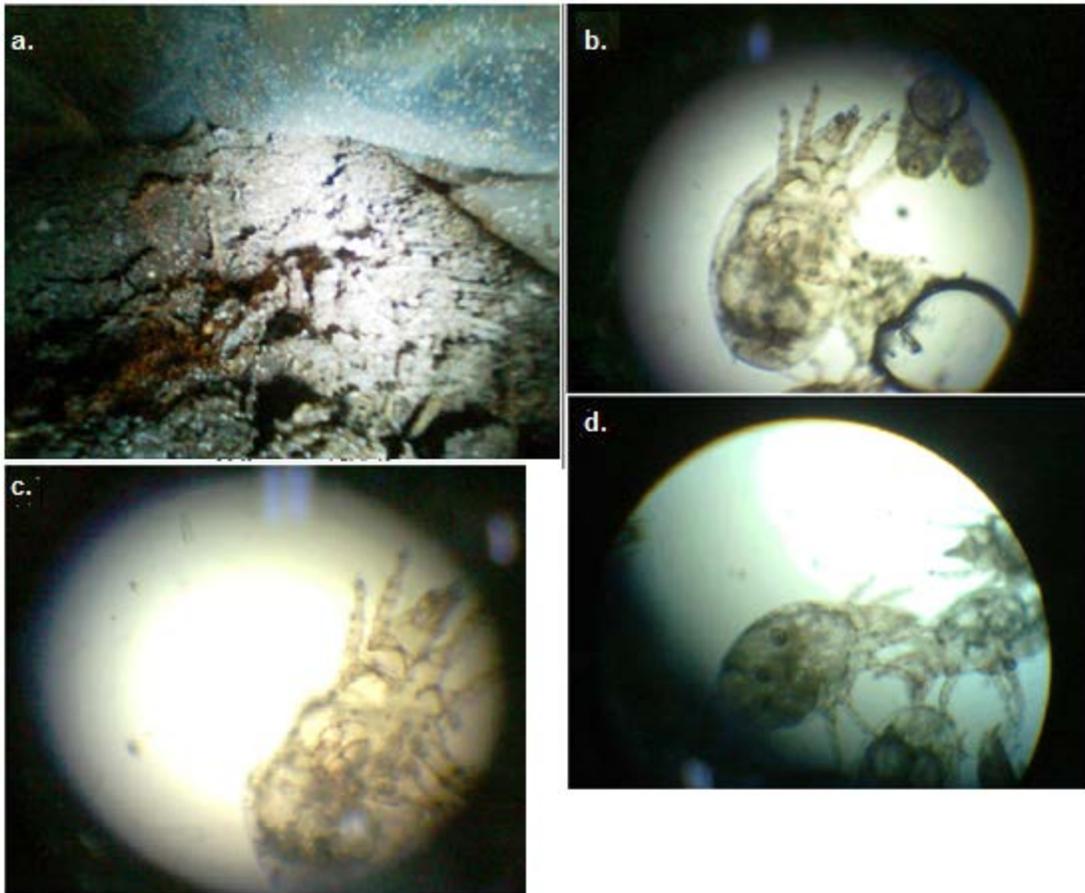


Figura 34. Imágenes del ácaro del champiñón, a. Tratamiento contaminado (los puntos blancos corresponden a huevecillos de los ácaros); b.; c. y d. Imágenes al microscopio del ácaro encontrado en los tratamientos.

Durante la tercera semana se aplicó una mezcla de Green Neem® y ChileajooH®, a razón de 50 g y 20 mL por litro de agua respectivamente. Se notó una disminución gradual en la cantidad de ácaros presentes en las repeticiones, sin embargo el 26 de mayo se concluyó que el sustrato se infectó con bacterias que estaban acelerando la descomposición del material por el exceso de humedad inducido por el tratamiento contra los ácaros, por lo que se tomó la decisión de eliminar los tratamientos. La totalidad del sustrato se trató con cloro al 4%, se secó durante una semana en un invernadero similar a los de la Figura 31, y se utilizó como abono orgánico para plantas ornamentales.

5.1.3. Tercera prueba

Para esta prueba se utilizó un cuarto de incubación o cuarto oscuro de cemento, con estantes metálicos y con puertas corredizas de plástico (Figura 35). Además las superficies del piso y las paredes son de color blanco, lo que permite observar la presencia o ausencia de manchas cuando se realiza la limpieza de rutina.



Figura 35. Cuarto de incubación de los champiñones.

5.1.3.1. Pasteurización o fermentación controlada

Posterior al secado en los invernaderos, el sustrato que no se utilizó en la siembra se empacó en sacos plásticos y se almacenó en una bodega cerrada, y fue colocado sobre tarimas y alejado de las paredes. Previamente la bodega se fumigó para controlar la aparición de insectos y se colocaron trampas para evitar la presencia de roedores.

Estas medidas de seguridad se consideraron suficientes para mantener la inocuidad del sustrato. Aunque el autoclave parece ser un buen método de

desinfección de sustrato, lo cierto es que es un equipo muy costoso y poco práctico, debido a que no pueden almacenar grandes volúmenes de sustrato en el caso de grandes producciones de hongos.

5.1.3.2. Siembra del hongo

La temperatura se midió a la primera semana post – siembra, y el promedio para los 4 tratamientos fue de 28°C. A la segunda semana de incubación se determinó en el laboratorio de Bioquímica del CIA que las repeticiones se encontraban contaminadas con un hongo del género *Rhizopus*, el cual impidió la colonización del micelio de *Agaricus bisporus*. En la Figura 36 se muestran algunas imágenes de las repeticiones contaminadas.



Figura 36. Sustrato contaminado por *Rhizopus*.

5.2. Estudio de factibilidad técnica: Propuesta de implementación de un sistema de producción de Champiñones en Costa Rica

Se propone un sistema de producción de champiñones en el área de la urbanización el Progreso de San Ramón, Alajuela. El modelo original propuesto se basa en una finca que produce hongos champiñones, comprando el terreno, construyendo las instalaciones y que además produce el sustrato desde el inicio de la actividad. Además, el proyecto se desarrolla asumiendo que el productor cuenta con un capital propio para iniciar las operaciones y mantenerse a lo largo de los años, por lo que no se estudiaron fuentes de financiamiento.

5.2.1. Parámetros técnicos utilizados en la elaboración de la propuesta

Se utilizaron parámetros de literatura, entre ellos el rendimiento (kg/m^2) (Alvarado 2012)¹¹, porcentaje de semilla para la siembra, porcentaje de suplemento para la siembra, porcentaje de tierra de cobertura para la inducción, composición química de las materias primas, temperatura y humedad del compost, entre otros. En el Anexo 4 se presentan los parámetros utilizados para la elaboración de la propuesta.

Los datos de precios de compra se obtuvieron de los diferentes proveedores, el tipo de cambio se tomó del Banco Central de Costa Rica (BCCR 2012a, BCCR 2012b), el precio de venta del producto se obtuvo a partir del precio en el comercio local de hongos, y el precio de venta del subproducto a partir de proveedores de abonos orgánicos del mercado nacional.

¹¹ALVARADO G. 2012. Comunicación personal. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

5.2.2. Desarrollo de la propuesta de implementación para el sistema de producción de hongos Champiñones elaborando el sustrato en la finca

La propuesta consiste en producir 400 kg de hongos por semana, de manera que se obtenga una producción anual de 17.679 kg. Para alcanzar este volumen de producción se deben preparar 3.400 kg de sustrato por semana (176.250 kg anuales). Es importante aclarar que estos datos incluyen el rendimiento real obtenido en las pruebas de campo del 86,0%, y un 2,3% de pérdidas debidas al transporte del sustrato del área de compostaje al cuarto de siembra, con lo que se obtienen 148.218 kg disponibles para utilizar como sustrato. En el Anexo 5 se muestran los cálculos para producir el compost. Para esta etapa se consideraron únicamente los tratamientos T₁ y T₃, que consisten en una mezcla de heno de Transvala, caballaza y aditivos; y broza de café, excretas de caballo y aditivos, respectivamente, debido a que contienen materiales que se encuentran disponibles durante todo el año en el área de estudio. En el caso del T₂, la paja de arroz no se consigue en el medio local, y los transportistas únicamente la transportarían si fuera una cantidad grande, lo cual resulta poco práctico pues se debería de invertir en instalaciones para el almacenaje de la paja. La formulación comercial del tratamiento T₄ se descartó pues no utiliza estiércol de caballo, lo cual es el objetivo de esta investigación. En la Figura 37 se muestra el flujo de producción para 56 semanas de operación, durante los cuales se esperan obtener 4 ciclos productivos por módulo al año. Cada color en la figura representa 1 de los 5 cuartos oscuros o salas de incubación: azul, verde, celeste, rojo y gris respectivamente.

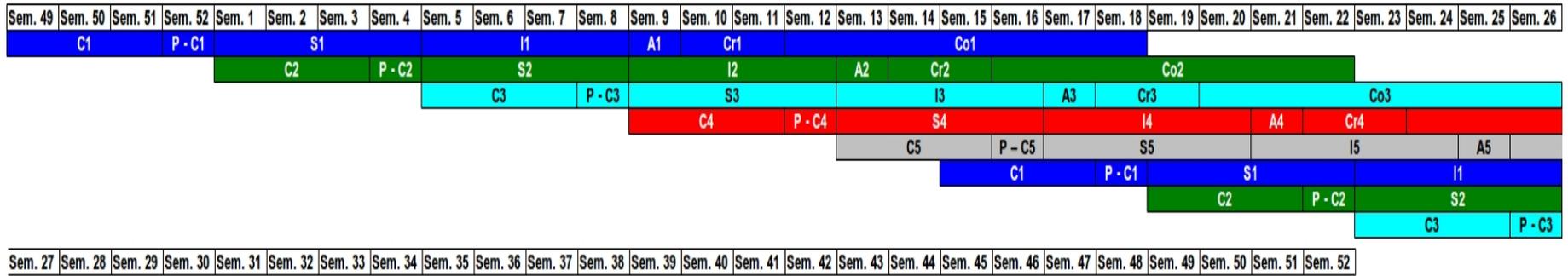


Figura 37. Flujo de producción anual de los champiñones, C=Compostaje; P-C=Pasteurización; S=Siembra; I=Inducción; A=Aparición de botones; Cr=Crecimiento; Co=Cosecha.

5.2.2.1. Costo del sustrato inoculado

Como se puede apreciar en el Anexo 4, se calculó el promedio para el costo de producción del sustrato inoculado. Adicionalmente, en el Cuadro 19 se muestran los principales costos para preparar una bolsa de 10 kg de sustrato.

Cuadro 19. Principales costos anuales de producir las bolsas con el sustrato inoculado.

Sustrato y semilla	Cantidad total, kg	Costo Unitario, ₡	Costo/kg, ₡	Costo Total, ₡
Sust. elaborado	1.021.515,63		114,50	116.960.181,53
Semilla	41.656,10	5.000,00	5.000,00	208.280.502,53
Suplemento	83.312,20	11.117,70	444,71	37.049.602,29
Tierra de cober.	258.267,82	11.117,70	483,38	124.841.051,19
Total	1.404.751,75		346,77	487.131.337,54

De acuerdo con el cuadro anterior, el costo de obtener el sustrato inoculado en la propia finca es mayor a los 487 millones de colones anuales, de los cuales la compra de la semilla representa el 42,7% del total, seguido por la compra de la cobertura y la elaboración del sustrato con un 25,6% y 24,1% respectivamente. Por otra parte, el suplemento representa tan solo el 7,6% de los costos totales.

5.2.2.2. Venta de productos y servicios

Consiste en la venta de hongos champiñones como actividad principal, y la venta de sustrato gastado, el cual se pasteuriza y se vende como abono orgánico, pues es un producto que no reúne las características nutricionales deseadas para ser reutilizado en el cultivo de champiñones. Una vez que el productor considere contar con la suficiente experiencia en el cultivo, podría considerar la venta de servicios mediante la recepción de grupos de estudiantes para mostrar el sistema de cultivo utilizado y cobrar una suma por el ingreso a las instalaciones.

5.2.2.3. Necesidades de materias primas

Se propone la utilización de dos fórmulas de compostaje, la primera a base de heno de Transvala, caballaza y urea, y la segunda con broza de Café, caballaza, harina de Soya y aserrín. Es importante aclarar que las fórmulas expuestas constituyen solamente una guía sobre cómo realizar el sustrato, sin embargo, las mismas pueden variar de acuerdo con el precio y disponibilidad de materiales, por lo que pueden cambiar conforme va aumentando la experiencia del productor. En el Cuadro 20 se presenta un resumen del consumo de materiales durante el primer año de producción. Para referencias en el estudio de factibilidad se calculó el promedio de las dimensiones de las pilas de compostaje, y a partir de ahí se obtuvo un rendimiento real del 88,04% (Cuadro 17).

Cuadro 20. Necesidades materias primas para la elaboración del compost durante el primer año de producción.

Ingrediente	Cantidad necesaria, kg	Costo/ ingrediente, ¢
Transvala	168.001,59	26.084.457,39
Caballaza	336.050,10	2.240.334,00
Urea	6.706,11	5.230.765,80
Subtotal	510.757,80	33.555.557,19
Broza de café	96.955,79	646.371,93
Caballaza	265.299,18	1.768.661,20
Harina de soya	52.785,80	15.365.257,87
Aserrín	106.106,27	1.547.383,10
Subtotal	521.147,04	19.327.674,11
Total	1.031.904,84	52.883.231,30

Los datos del cuadro anterior demuestran el costo bruto de los tratamientos y no incluye el costo anual de la mano de obra para elaborar el sustrato, el cual se estimó en ¢5.919.717,00. El heno de transvala es el material más costoso, representando el 49,3% del total, seguido por el suplemento que equivale al 29,2% del total. La

caballaza, el aserrín y la broza de café representan, en orden decreciente, los materiales más baratos, y por tanto, los más accesibles en cuanto a precio. Al comprar el costo por kilogramo de cada ingrediente con el heno de transvala, se obtiene que la caballaza y la broza son 23,4 veces más baratos, mientras que el aserrín y la harina de soya resultan 10,65 y 5,34 veces menos costosos. Debido a esto, se plantea la sustitución del heno con otros materiales fibrosos como la hoja y el bagazo de caña, además, se pueden utilizar ingredientes proteicos que aporten nitrógeno a la mezcla y que tengan un menor precio que la harina de soya, tales como los destilados de maíz o la pollinaza.

5.2.2.4. Instalaciones necesarias

A partir de la densidad del compost, obtenida en el Cuadro 17 se estimó las necesidades de espacio para el área de compostaje. Inicialmente se propone que el área se encuentre cercada, con piso de cemento, y con un techo, para evitar problemas de humedad durante el compostaje. Los cuartos oscuros se distribuyen en 5 cuartos, con el fin de contar con producción de hongos durante todo el año, sus dimensiones se estimaron a partir del área de las bolsas de siembra mostradas en el Anexo 4, y se propone una construcción prefabricada, con piso de cemento y paredes cubiertas con pintura epóxica, cielorraso y puertas de plástico, iluminación fluorescente para facilitar las labores de limpieza, así como aire acondicionado para el control de la temperatura. Además, como medidas de bioseguridad a la entrada de las instalaciones se propone el uso de duchas, pediluvios, ropa limpia, gabachas, botas de hule blancas, mallas para el cabello, cubrebocas y guantes de látex. En el Cuadro 21 se presentan las dimensiones estimadas, así como el costo de construcción; adicionalmente en el Anexo 6 se muestra la cantidad y el costo de los materiales necesarios para la construcción del lugar, de acuerdo con Gómez (2012)¹².

¹²GÓMEZ L. 2012. Comunicación personal. San Juan de Tibás. San José, Costa Rica.

Cuadro 21. Dimensiones y costo de construcción de las instalaciones.

Construcción de instalaciones	Medidas sin pasillos, m	Distancia de pasillos, m	Costo parcial, ₡
Área de compostaje	(3,18 x 1,96)*4	3,00	218.050,00
Cuartos oscuros (m ²)	(30,00 x 5,60)*5	1,20	29.400.000,00
Baño, servicio sanitario y vestidor (m ²)	4,00 x 2,00	0,00	280.000,00
Bodega (m ²)	2,00 x 2,00	0,00	140.000,00
Oficina (m ²)	2,70 x 4,80	3,00	453.600,00
Cuarto de pasteurización (m ²)	6,00 x 4,00	0,00	840.000,00
Sala de siembra y empaque (m ²)	5,00 x 4,80	0,00	840.000,00
Parqueo (m ²)	6,00 x 2,70	0,00	567.000,00
Cercas (m lineales)			672.760,00
Costo de los materiales			9.365.919,00
Costo total			42.738.650,00

Se necesita una inversión inicial de al menos 42,7 millones de colones para las instalaciones, sin incluir la instalación de los equipos necesarios para iniciar operaciones. El 69,0% de los costos de construcción se atribuyen a los cuartos oscuros, que son el área donde crecen los champiñones y por lo tanto debe ser el área más limpia y segura. El área destinada a parqueo se justifica por la necesidad de contar con un vehículo propio para acarrear las materias primas y comercializar el producto terminado. Finalmente, el área para la elaboración del compost representa tan solo el 0,5% de los costos totales, sin embargo su costo se eleva gracias a la construcción y mantenimiento de cercas perimetrales, por lo que finalmente esta zona requiere la inversión del 24,0% del capital destinado a construcción. Adicionalmente, en la Figura 38 se presenta un esquema de las instalaciones.

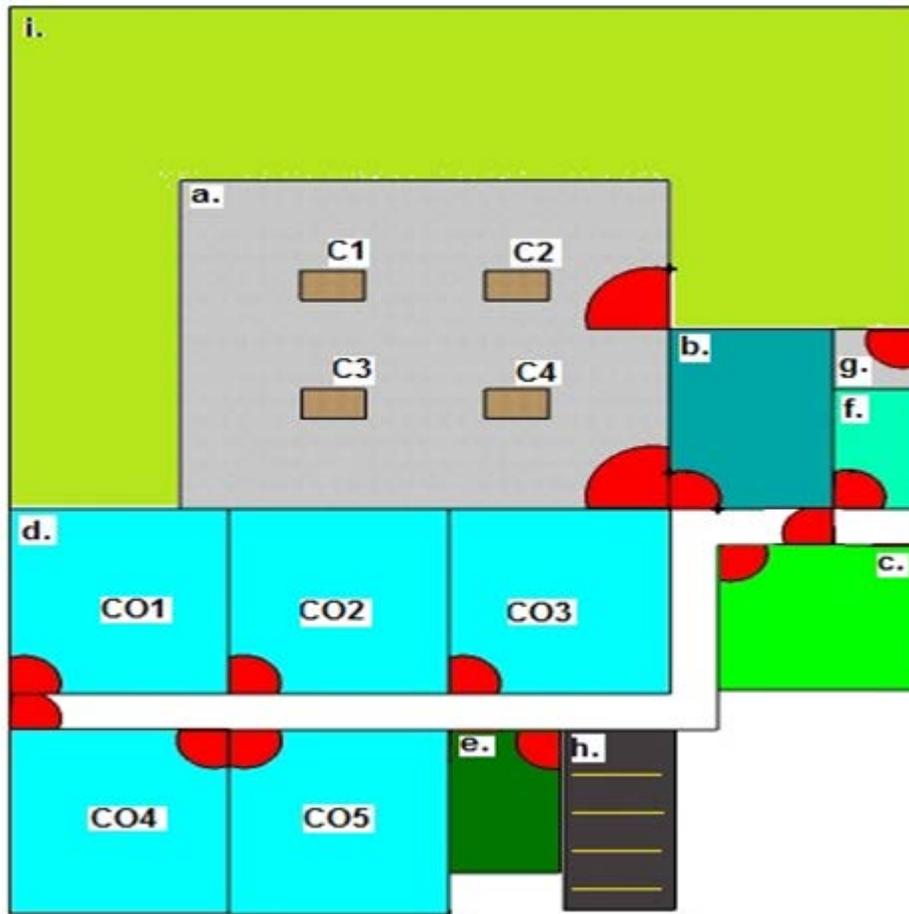


Figura 38. Esquema de las instalaciones propuestas para el modelo de producción de champiñones, a. Área de compostaje (C1, C2, C3 y C4 son las pilas de compostaje); b. Sala de pasteurización; c. Sala de siembra y empaque; d. Salas de incubación (CO1, CO2, CO3, CO4 y CO5 son los cuartos oscuros); e. Oficina; f. Baño y vestidor; g. Bodega; h. Parqueo; i. Zona verde.

Las instalaciones propuestas se describen de la siguiente manera, considerando las medidas presentadas en el Cuadro 21:

- a. Área de compostaje: es una zona cercada, sin paredes, con techo de 2 aguas a 2,50 m de altura y piso rústico de cemento, con espacios entre cama y cama y entre cama y cerca de 3,00 m, un portón de acceso a la instalación de 2,00 m de ancho y una puerta de acceso a la sala de pasteurización de 2,00 m de ancho.
- b. Sala de pasteurización: es un local con paredes de cemento, techo a 2,50 m de altura, cielorraso plástico, piso de cemento con drenajes y puertas de vidrio (1,20

m de ancho que comunica con el pasillo central), las paredes y el piso se cubren con pintura epóxica. Las especificaciones son similares para la sala de siembra y empaque, las salas de incubación, la oficina, el baño y vestidor y la bodega. La caja de pasteurización es de acero inoxidable en láminas de ½ pulgada, con medidas de 1,60 m de largo; 1,00 m de ancho y 1,00 m de altura, con una válvula de escape de vapor en la puerta, entrada de agua en una de las paredes, y montada sobre una base de cemento a 0,55 m de altura, bajo la cual se produce el calor necesario para obtener el vapor de agua.

- c. Sala de siembra y empaque: es un área limpia donde se siembra la semilla y donde se empaca y almacena el producto terminado.
- d. Salas de incubación: son los cuartos oscuros donde se da la inoculación y la fructificación de los hongos, con especificaciones similares a la sala anterior. Además, los cuartos cuentan con sistema de aire acondicionado.
- e. Oficina: es donde se administra la actividad productiva.
- f. Baño y vestidor: necesarios para la limpieza personal y almacenaje de la ropa limpia.
- g. Bodega: donde se almacenan en forma segura los implementos necesarios para la actividad productiva, así como las materias primas que así lo requieran.
- h. Parqueo: con piso de tierra, su función es únicamente como espacio para el vehículo de la empresa y clientes o proveedores que visiten las instalaciones.
- i. Zona verde: necesaria para mantener distancia con los vecinos y para depositar el abono orgánico que no sea comercializado.

5.2.2.5. Mano de obra

Para el adecuado funcionamiento del modelo propuesto se necesitan 4 peones que trabajen tiempo completo. Sus funciones son las siguientes: participar en las actividades de compra de materias primas, mezclado, volteado, riego, control de temperatura y humedad y pasteurización del compost, pasteurización, secado y empaque del sustrato gastado, así como actividades de mantenimiento de las instalaciones y apoyo en el cultivo y cosecha de las setas. Además, se requiere la

presencia a medio tiempo de una secretaria (como mínimo con Diploma en Educación Superior), que se encargue de labores de oficina, tales como organizar los pedidos de materias primas, ventas de productos, calendarización de las labores de mantenimiento para las instalaciones e instrumentos en general, elaboración de inventarios y organización de los ingresos y egresos de la empresa.

Finalmente se requiere un Ingeniero Agrónomo, Zootecnista, Biólogo, Biotecnólogo o Microbiólogo de tiempo completo para la administración de la explotación, de manera que en conjunto con la secretaria organice los documentos y facturas necesarias para la contabilidad de la empresa. Además se encargará de la siembra de los hongos, el monitoreo del cultivo, empaque y venta del producto. En el Cuadro 22 se especifican los costos anuales del personal.

Cuadro 22. Costo anual de la mano de obra.

Costo del personal	Cantidad de trabajadores	Salario mensual neto, ¢	Salario anual neto, ¢	Aguinaldos, ¢
Peones en general	4,00	1.208.149,19	14.497.790,32	1.208.149,19
Secretaria	1,00	194.637,97	2.335.655,64	194.637,97
Zootecnista	1,00	529.855,43	6.358.265,16	529.855,43
Subtotal	6,00	1.932.642,59	23.191.711,12	1.932.642,59
Total			25.124.353,72	

Adaptado del MTSS (2012).

5.2.2.6. Estudio de factibilidad económica

Para el análisis económico de la propuesta se utilizó la metodología seguida por Sapag et al. (2008), y se dividió en 8 partes: inversiones iniciales, reinversiones necesarias, depreciaciones del sistema, inversiones y reinversiones en capital de trabajo, costos operativos, proyección de ventas, flujo de caja y presentación de posibles escenarios para mejorar el modelo propuesto.

5.2.2.6.1. Inversiones iniciales

El modelo se plantea con la posibilidad de suplir el mercado local en la Región Occidental del Valle Central de Costa Rica, con miras a restaurantes, hoteles y tiendas de alimentos. Como se observa en el Anexo 4, el ciclo de producción promedio de los champiñones es de 150 días, por lo que se pretende utilizar 5 áreas de incubación o cuartos oscuros, en los que se espera lograr la siembra de alrededor de 400 bolsas de 10 kg por semana, con el fin de contar con una producción de champiñones constante a lo largo del año.

Dentro de las inversiones iniciales se encuentran la compra del terreno y construcción de instalaciones, compra de equipos necesarios para la producción así como los insumos requeridos. En el Cuadro 23 se aprecia un resumen de las inversiones iniciales, y en el Anexo 7 se presenta en detalle el costo de los rubros mencionados.

Cuadro 23. Resumen de Inversiones iniciales para la producción de champiñones elaborando el sustrato en la finca.

Materiales y equipos	Costo Total, ₡
Sustrato elaborado	434.242.193,70
Insumos	64.071.037,69
Equipos	14.837.137,00
Compra del terreno	38.922.100,00
Instalaciones	42.738.650,00
Costo del personal	25.124.353,72
Total	529.751.228,69

Modificado de Saldaña (2003), Fernández (2005), Ardón (2007).

En el Cuadro 19 y en el Anexo 5 se muestran los costos de producción del sustrato, así como las necesidades de materias primas, por lo que no se detallan en el anterior. Además, en este cuadro se puede apreciar que de las inversiones iniciales, el mayor rubro lo ocupa el costo de producción de las bolsas inoculadas (82,0%), seguido por la construcción y compra de instalaciones (8,0% y 7,0%

respectivamente). El 3,0% del total representa la inversión en personal y compra de equipos.

Dentro de la categoría de insumos se encuentran los guantes tejidos de PVC, el combustible para pasteurización, las bolsas plásticas para siembra, las mallas para cabello, los guantes de látex, el alcohol 70°, la cal, el cloro, los guantes de hule, el alcohol en gel, los cubrebocas, las etiquetas para producto terminado, las escobas y las bandejas para empaque. Los equipos menores de 3 años comprenden aquellos implementos que se deben renovar cada 3 años, entre los que se mencionan: mangueras para riego, rastrillos, palas de aluminio, tridentes o ganchos de heno de 5 dientes, cuchillos para corte de bolsa, focos recargables, cajas plásticas para transportar el producto terminado a la sala de empaque y hieleras para transporte del producto terminado a los puntos de venta. La categoría siguiente se refiere a los equipos que deben renovarse cada 8 ó 9 años, y se denomina equipos entre 8 – 9 años, y son: termómetro para compostaje, higrómetro, hidrolavadora, termómetro de mercurio de inmersión, y romanas de 100 kg, 20 kg y 5 kg. Finalmente, la última categoría, equipos mayores a 10 años, agrupa los implementos cuya vida útil supera los 10 años: vehículo para transporte del producto, carretillos, mesa de trabajo de acero inoxidable, carros transportadores de bolsas, aire acondicionado, estanterías, refrigeradores, mangueras de hule (3/4 pulgadas), acoples rápidos hembra, acoples rápidos macho, boquillas para manguera y la caja de pasteurización.

5.2.2.6.2. Reinversiones necesarias

Una vez establecido el proyecto y debido al paso de los años y al uso de las instalaciones y equipos se hace necesario reemplazarlos por nuevos. El mantenimiento de los mismos es importante para prolongar su vida útil al máximo. En el Anexo 7 se mostró la vida útil para los diferentes equipos, instrumentos, instalaciones, etc.; es importante aclarar que la vida útil de los insumos se consideró como de 0 años debido a que se utilizan a diario y se consumen en menos de 1 año calendario. En el Cuadro 24 se presenta un resumen de las inversiones (mano de

obra) y reinversiones anuales en un plazo de 10 años, para las cuales se consideró una inflación anual del 10,0%.

Cuadro 24. Resumen de las inversiones y reinversiones necesarias en un plazo de 10 años para una explotación de champiñones que elabora el sustrato en la finca.

Tipo de Inversión anual	Monto, ¢
Año 2	
Sustrato elaborado	477.666.413,07
Insumos	27.636.789,09
Costo del personal	18.998.522
Total	519.423.510,80
Año 3	
Sustrato elaborado	525.433.054,38
Insumos	2.399.675,00
Equipos menores de 3 años	121.627,00
Costo del personal	27.636.789,09
Total	568.175.548,00
Año 4	
Sustrato elaborado	577.976.359,82
Insumos	2.639.643,00
Costo del personal	20.898.375,00
Costo del personal	30.400.468,00
Total	624.859.313,08
Año 5	
Sustrato elaborado	635.773.995,80
Insumos	2.903.607,00
Costo del personal	33.440.514,80
Total	687.345.244,39
Año 6	
Sustrato elaborado	699.351.395,38
Insumos	3.193.968,00
Costo del personal	36.784.566,28
Equipos menores de 3 años	161.885,00
Total	756.241.654,00
Año 7	
Sustrato elaborado	769.286.534,91
Insumos	3.513.364,00
Costo del personal	40.463.022,91
Total	831.687.746,00

Cuadro 24. Resumen de las inversiones y reinversiones necesarias en un plazo de 10 años para una explotación de champiñones que elabora el sustrato en la finca (Continuación).

Tipo de Inversión anual	Monto, ¢
Año 8	
Sustrato elaborado	846.215.188,41,00
insumos	3.864.701,00
Costo del personal	44.509.325,20
Equipos entre 8 – 9 años	339.572,00
Total	915.196.092
Año 9	
Sustrato elaborado	930.836.707,25
Insumos	4.251.171,00
Costo del personal	48.960.257,72
Equipos menores de 3 años	161.885,00
Equipos entre 8 – 9 años	75.591,00
Total	1.006.579.648,00
Año 10	
Sustrato elaborado	1.023.920.377,97
Insumos	4.676.288,00
Costo del personal	53.856.283,49
Equipos mayores a 10 años	20.749.940
Total	1.127.726.329,22

Como se aprecia en el cuadro anterior, las reinversiones más fuertes corresponden a la elaboración del sustrato, por ejemplo, en el Año 2 corresponden al 92,0%, lo que indica que las inversiones en insumos y personal son relativamente poco significativas. Si se analiza el Año 9, se puede observar una tendencia similar: la elaboración del sustrato ocupa el 92,0%, mientras que el restante 8,0% es necesario para reinversiones en insumos, equipos menores de 3 años y equipos entre 8 – 9 años. En la Figura 39 se muestran las variaciones anuales en las inversiones y reinversiones.

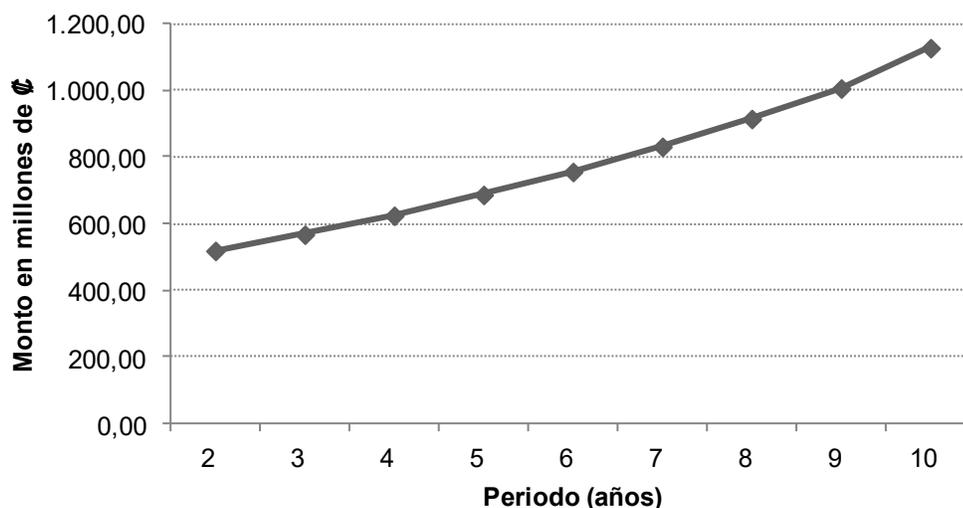


Figura 39. Variaciones anuales en las inversiones y reinversiones.

Las inversiones en el Año 2 son menores que las inversiones iniciales en 10 millones de colones, al año 3 aumentan poco más de 48,5 millones de colones, y a partir de ahí se estabiliza de acuerdo con lo que se espera sea el comportamiento de la inflación anual. Finalmente, en el año 10 se observa un fuerte incremento de casi 30 millones de colones en las reinversiones, producto de la vida útil de los equipos de mayor costo, sin embargo, tales inversiones pueden realizarse de manera escalonada a lo largo del año, tomando en consideración que con el adecuado mantenimiento y cuidado de los equipos su vida útil se podría prolongar un poco más.

5.2.2.6.3. Depreciaciones

Se calculó la depreciación de los equipos entre 8 – 9 años y mayores a 10 años, debido a que son los más costosos y los de un uso más extensivo; así como de las instalaciones, para cada año, a partir de su costo económico y su vida útil. En el Anexo 8 se muestran los resultados obtenidos. Para cada año se estimó el valor residual de los equipos principales. Al analizar el Año 10 se puede observar que el 84,5% del valor residual lo representa la depreciación de las instalaciones, seguido

por las estanterías, refrigeradores y aire acondicionado con menos del 5,0% cada uno. Cabe resaltar que a los vehículos se les asocia una vida útil de 10 años, por lo que su aporte al valor residual es nulo.

5.2.2.6.4. Inversiones y reinversiones en capital de trabajo

La información obtenida del análisis de las inversiones y reinversiones se puede apreciar en el Cuadro 25. Es importante aclarar que para el cálculo del requerimiento capital de trabajo anual se toma en cuenta que existen 365 días en 1 año y que el ciclo de producción del champiñón es de 150 días.

Cuadro 25. Resumen de las inversiones y reinversiones en capital de trabajo necesarias durante los primeros 10 años de funcionamiento del modelo.

Periodo (Años)	Costos de operación/año	Requerimiento Capital trabajo anual	Requerimiento capital trabajo incremental
0			198.610.392
1	483.285.288	198.610.392	18.802.315
2	529.037.588	217.412.707	20.958.158
3	580.035.772	238.370.865	22.767.688
4	635.437.145	261.138.553	25.158.722
5	696.656.702	286.297.275	27.816.996
6	764.344.726	314.114.271	30.223.267
7	837.888.008	344.337.538	33.549.071
8	919.524.082	377.886.609	36.816.893
9	1.009.111.854	414.703.502	48.695.618
10	1.127.604.524	463.399.119	

De esta manera se puede observar en el cuadro anterior que los requerimientos en capital de trabajo del año 0 (inversiones) son 1,1 veces menores en comparación con el año 1, de igual manera es 2,33 veces menor al compararse con el año 10. Los incrementos en el capital de trabajo y costos de operación anuales se deben en gran medida, a la inflación del 10,0% que se asume para cada año operativo, porque

las reinversiones en insumos y equipos no varían en cantidad a través del periodo en estudio.

5.2.2.6.5. Costos operativos

En el Anexo 4 se muestran las tarifas de los servicios mencionados. Por ejemplo, el ICE reporta una tarifa comercial con un máximo de 3.000 KW, lo que significa que por mes el consumo de electricidad llegaría a un máximo de ₡330.000, debido al uso de los aires acondicionados y los refrigeradores principalmente, sin embargo esto obedece a una suposición, ya que no necesariamente los equipos funcionarán todos los días del año; además, se una tarifa básica de telefonía fija, necesaria para contactar proveedores y clientes, así como Internet, para quienes prefieran pagos o recibos electrónicos por ejemplo. Por otra parte, el servicio del AyA indica que para un consumo máximo de agua de 48,52 m³ se cobrarían ₡40.077,52, debido principalmente a las labores de riego del compostaje. En el Anexo 9 se resume la información descrita para los años en estudio. El mantenimiento de los equipos se da en 3 modalidades: mantenimiento anual (vehículos), mantenimiento semestral (hidrolavadoras, romanas) y mantenimiento mensual (carros transportadores, estanterías, aire acondicionado y refrigeradores). Finalmente, en la Figura 40 se puede apreciar la tendencia de los costos operativos a través del lapso de años en estudio.

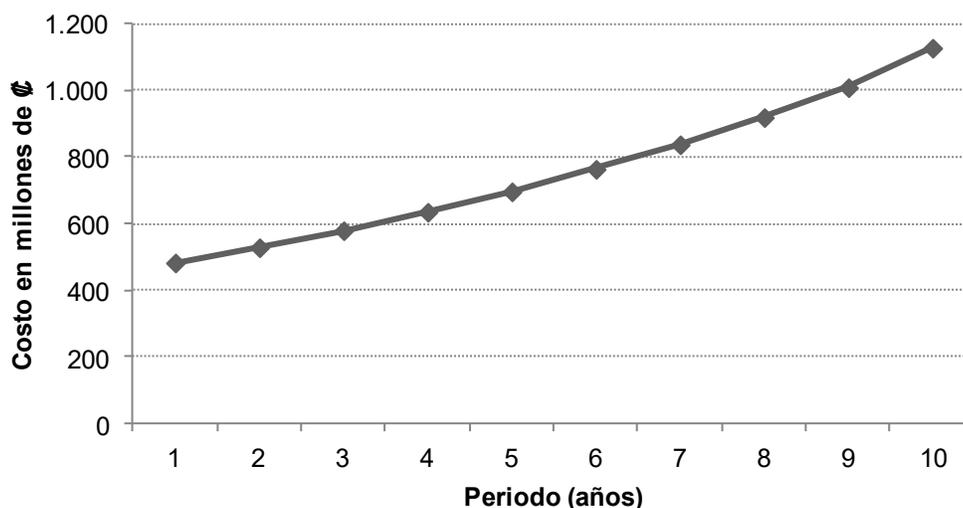


Figura 40. Variación anual de los costos operativos para una empresa productora de champiñones que elabora su propio sustrato.

En la figura anterior se aprecia que los costos de producción aumentan en forma lineal cada año y podría decirse que el aumento se debe a la inflación, pues los costos son siempre los mismos y, como se ha indicado anteriormente, corresponden principalmente a la producción del sustrato, seguido por la mano de obra y en último lugar por las reinversiones necesarias y el mantenimiento de las instalaciones y equipos. Los incrementos en los costos de operación entre los años 1 y 9 son 1,10 veces mayores al comprar el año operativo en curso con respecto al anterior, sin embargo, en el año 10 se aprecia un aumento 1,12 veces mayor al año 9, debido a la compra de un nuevo vehículo para las actividades diarias de la finca.

5.2.2.6.6. Proyección de ventas

Como se indicó al inicio de la propuesta, se estima una producción anual de 17.679,40 kg de champiñones empacados en 70.717,60 bandejas de 250 g cada una con un precio de venta de ₡2.500,00 ivi. Además, se pretende vender el sustrato gastado como abono orgánico, previamente pasteurizado y/o secado en invernaderos, y si se toma en cuenta un 8,5% de pérdidas de sustrato debidas a los procesos de crecimiento del champiñón, pasteurización post-cosecha, secado y

empaques quedan 158.625,00 kg de subproducto aprovechable como abono, que se vende en 6.345,00 sacos de 25 kg con un precio de ₡2.500,00 ivi. En el Cuadro 26 se presenta la proyección anual de ventas.

Cuadro 26. Proyección anual de venta de productos (en millones de colones).

Rubro	Periodo (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hongos Champiñones	176,8	194,5	213,9	235,3	258,8	284,7	313,2	344,5	379,0	416,9
Sustrato utilizado	15,9	17,4	19,2	21,1	23,2	25,5	28,1	30,9	34,0	37,4
Ingreso total	192,7	211,9	233,1	256,4	282,1	310,3	341,3	375,4	413,0	454,3

En este escenario se plantea una producción constante durante los años en estudio, con la posibilidad de aumentar la capacidad de producción si el mercado así lo demanda. La idea de pasteurizar el sustrato gastado obedece a lo expuesto por Beyer (2003), quien menciona que para garantizar que el material que se va a liberar al ambiente se encuentre libre de organismos no deseados debe realizarse este proceso, sin embargo, la pasteurización no debe ser tan rigurosa como la realizada para la fase 2 de la producción del compostaje.

5.2.2.6.7. Flujo de caja del modelo de producción expuesto

Para el análisis del flujo de caja de la propuesta se tomaron en cuenta las siguientes variables: costos de inversión, reinversiones, costos operativos e ingresos netos, en un plazo de 10 años y sin financiamiento de ninguna clase. Además, para el análisis de la Tasa Interna de Retorno (TIR) se asumió una tasa del 10,0% (LibreOffice 2012), y para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) se asumió una tasa del 12%.

El proyecto se planteó de manera que un productor con capital propio produzca el sustrato en su finca, con lo que se obtuvo un VAN de – ₡2.929.595.548,52; lo que

significa que el proyecto es rechazado debido a que producirá pérdidas económicas, haciendo que la inversión inicial sea imposible de recuperar en un periodo no menor a 10 años. En cuanto al otro indicador económico, es decir, la TIR no se pudo calcular, lo que apoya la afirmación anterior de que el proyecto no va a retornar los ingresos esperados por el inversionista. Finalmente, la Relación Beneficio/costo es de $-4,92$; lo que significa que existen pérdidas de dinero con el planteamiento del proyecto. En resumen, el proyecto de producción de 17.679,40 kg de champiñones con un precio de venta de $\$2.500,00$ por bandeja de 250 g, produciendo el sustrato en la finca, y la venta de 158.625,00 kg de abono no da la rentabilidad deseada que soporte la inversión de $\$529,75$ millones. En el Cuadro 27 se resume el flujo de caja que justifica la afirmación anterior.

Finalmente, en la Figura 41 se visualiza el efecto del precio de venta tanto de los champiñones como del abono orgánico sobre la TIR del proyecto. Según se aprecia, ambos indicadores económicos aumentan en forma lineal al aumentar el precio de venta del kilogramo de champiñones y del saco de 25 kg de abono, ambos en $\$2.500$, con lo que se observa que la rentabilidad del modelo mejora cuando el precio es de $\$7.500$, y parece que el punto de equilibrio lo alcanza cuando el mismo es de $\$10.000$, sin embargo estos precios no son adecuados para competir con los demás productores, debido a que son demasiado elevados.

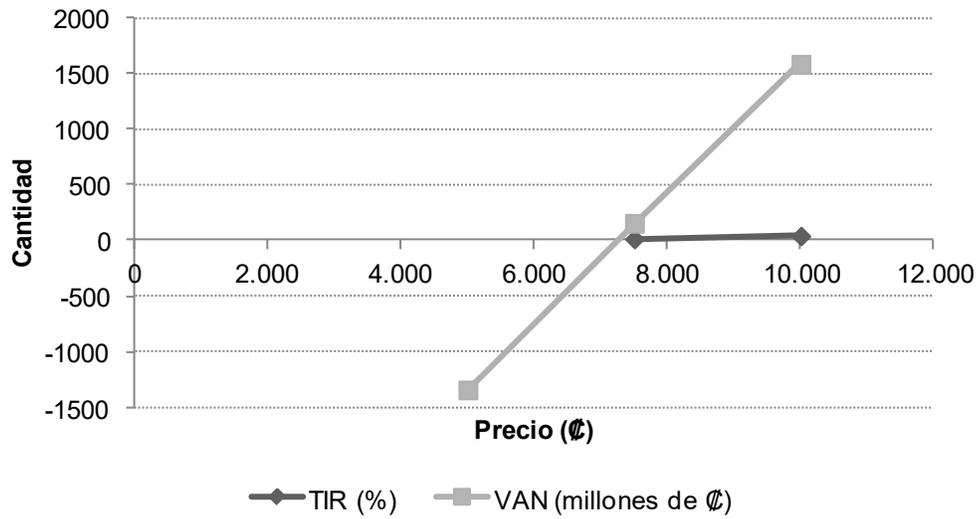


Figura 41. Efecto del precio de venta de los champiñones y el abono sobre el comportamiento de la TIR y el VAN.

Cuadro 27. Flujo de caja de una finca productora de champiñones elaborando el propio sustrato en millones de colones (₡).

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos venta de champiñones y abono		192,66	211,92	233,11	256,43	282,07	310,28	341,30	375,43	412,98	454,27
Menos costos operación anual		-483,29	-529,04	-580,04	-635,44	-696,66	-764,34	-764,34	-837,89	-1.009,11	-1.127,60
Menos carga financiera (intereses)											
Utilidad antes de impuesto renta		-290,63	-317,12	-346,92	-379,01	-414,59	-454,07	-423,04	-462,46	-596,14	-673,33
Menos impuesto de renta		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad después de impuestos		-290,63	-317,12	-346,92	-379,01	-414,59	-454,07	-423,04	-462,46	-596,14	-673,33
Más valor de la depreciación		3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35
Flujo operativo del modelo		-287,28	-313,77	-343,57	-375,66	-411,24	-450,72	-419,70	-459,11	-592,79	-669,98
Inversiones:											
Infraestructura y equipos	-529,75	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,00	53,33	58,80	0,00
Capital de trabajo	-198,61	-18,80	-20,96	-22,77	-25,16	-27,82	-30,22	-33,55	-36,82	-48,70	0,00
Más préstamo fondos reconversión											
Más fondos no reembolsables en finca											
Más recuperación capital de trabajo											463,40
Más valor residual del modelo											23,13
Flujo de caja neto del modelo	-728,36	-306,08	-334,73	-366,22	-400,82	-439,06	-480,82	-453,24	-442,59	-582,68	-183,46
Flujo de caja acumulado	-728,36	-1.034,45	-1.369,17	-1.735,39	-2.136,22	-2.575,28	-3.056,10	-3.509,34	-3.951,94	-4.534,62	-4.718,07

5.2.3. Escenarios alternativos para la propuesta

De acuerdo con los datos analizados en la propuesta anterior se plantearon dos escenarios alternativos en busca de la factibilidad del proyecto, desde el punto de vista económico. De igual manera que el caso anterior, la regla de decisión utilizada para decidir la aceptación o rechazo del proyecto se basa en el análisis de la TIR, el VAN y la Relación Beneficio:Costo (B/C), a partir del flujo de caja.

5.2.3.1. Propuesta alternativa 1: Producción de champiñones elaborando el sustrato y aumentando la producción anual

Se plantea como escenario alternativo aumentar la producción de champiñones 2,1 veces en comparación con el modelo original, lo que significa producir 42.130 kg anuales de hongos (3.500 kg mensuales) empacados en 168.518 bandejas de 250 g, además de abono orgánico, del cual se espera obtener 378.000 kg empacados en 15.120 sacos de 25 kg, manteniendo los precios de venta originales. Bajo estas condiciones se requiere la contratación de un peón más, pues el volumen de sustrato a producir es mayor, además las instalaciones deben ampliar al doble su capacidad, por lo que se incurre en gastos de remodelación de los cuartos oscuros.

A pesar de la mejora en los índices financieros, el proyecto aún no se podría considerar como aceptable desde el punto de vista económico, debido a que la TIR no se puede calcular, el VAN resultante es de – $\text{C}\$1.814.810.511,79$ con una Relación B/C de – 1,95. Con estos indicadores, hasta el año operativo 10 se logra obtener alguna ganancia, sin embargo no es suficiente para recuperar la inversión inicial de – $\text{C}\$685.243.375$. En el Cuadro 28 se aprecia el flujo de caja puro para esta propuesta.

Cuadro 28. Flujo de caja de la propuesta alternativa 1: Producción de champiñones elaborando el sustrato en la finca y aumentando la producción anual en millones de ₡.

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos venta de champiñones y abono		459,10	505,01	555,51	611,06	672,16	739,38	813,32	894,65	984,11	1.082,53
Menos costos operación anual		-596,88	-653,56	-716,57	-785,17	-860,90	-944,55	-944,55	-1.035,63	-	-1.389,15
										1.247,34	
Menos carga financiera (intereses)											
Utilidad antes de impuesto renta		-137,79	-148,55	-161,06	-174,11	-188,74	-205,17	-131,23	-140,98	-263,23	-306,62
Menos impuesto de renta		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad después de impuestos		-137,79	-148,55	-161,06	-174,11	-188,74	-205,17	-131,23	-140,98	-263,23	-306,62
Más valor de la depreciación		4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
Flujo operativo del modelo		-132,97	-143,74	-156,24	-169,30	-183,92	-200,35	-126,41	-136,16	-258,41	-301,80
Inversiones:											
Infraestructura y equipos	-685,24	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,00	72,42	79,80	
Capital de trabajo	-245,29	-23,29	-25,89	-28,19	-31,12	-34,37	-37,43	-41,47	-45,53	-58,28	
Más préstamo fondos reconversión											
Más fondos no reembolsables en finca											
Más recuperación capital de trabajo											570,88
Más valor residual del modelo											37,83
Flujo de caja neto del modelo	-930,54	-156,26	-169,63	-184,32	-200,42	-218,30	-237,66	-167,89	-109,28	-236,89	306,91
Flujo de caja acumulado	-930,54	-1.086,80	-1.256,43	-1.440,75	-1.641,17	-1.859,46	-2.097,12	-2.265,01	-2.374,29	-2.611,18	-2.304,27

5.2.3.2. Propuesta alternativa 2: Producción de champiñones comprando el sustrato y manteniendo el nivel de producción original

Esta propuesta consiste en comprar el sustrato listo para incubar. Se plantea mantener la producción del modelo original de 17.679,40 kg anuales de champiñones con una producción estimada de 158.625,00 kg de abono. Se propone la compra mensual de las bolsas inoculadas de 10 kg a un precio estimado de ₡3.000 por bolsa. Este supuesto indica que las inversiones iniciales son 2,86 veces menores a las del modelo anterior, debido a que los procesos de compostaje y pasteurización no se realizan en la finca; además la inversión en mano de obra necesaria es menor ya que se requiere la presencia de solo 2 peones, lo que supone 2 salarios menos, y se mantienen una secretaria y un agrónomo.

El análisis de la TIR, el VAN y la Relación B/C muestra que la TIR es de 33,2%; de la que se interpreta que el proyecto genera ganancias permitiendo recuperar la inversión de 185 millones de colones en un plazo de 4 años, sin embargo, a partir del primer año operativo se observa un saldo positivo de ingresos netos. El VAN se estimó en ₡349.683.492,82; consistente con la Relación B/C que señala que se obtienen ₡1,47 por cada ₡1,00 colón invertido. En el Cuadro 29 se presenta el flujo de caja para esta propuesta.

Cuadro 29. Flujo de caja de la propuesta alternativa 2: producción de champiñones comprando el sustrato listo para incubar y manteniendo el volumen de producción original en millones de ₡.

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos venta de champiñones y abono		192,66	211,92	233,11	256,43	282,07	310,28	341,30	375,43	412,98	454,27
Menos costos operación anual		-128,28	-139,09	-151,68	-164,85	-179,63	-196,25	-196,25	-213,64	-255,21	-299,03
Menos carga financiera (intereses)											
Utilidad antes de impuesto renta		64,38	72,83	81,43	91,58	102,44	114,03	145,05	161,79	157,77	155,24
Menos impuesto de renta		-6,44	-7,28	-8,14	-9,16	-10,24	-11,40	-14,51	-16,18	-15,78	-15,52
Utilidad después de impuestos		57,94	65,55	73,29	82,42	92,20	102,62	130,55	145,61	141,99	139,72
Más valor de la depreciación		3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35
Flujo operativo del modelo		61,29	68,89	76,64	85,77	95,54	105,97	133,90	148,96	145,34	143,07
Inversiones:											
Infraestructura y equipos	-185,08	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,00	39,42	43,50	
Capital de trabajo	-52,72	-4,45	-5,17	-5,41	-6,07	-6,83	-7,15	-8,17	-8,91	-18,01	
Más préstamo fondos reconversión											
Más fondos no reembolsables en finca											
Más recuperación capital de trabajo											122,89
Más valor residual del modelo											23,13
Flujo de caja neto del modelo	-237,80	56,84	63,72	71,35	79,69	88,71	98,95	125,72	179,47	170,83	289,08
Flujo de caja acumulado	-237,80	-180,96	-117,24	-45,89	33,81	122,52	221,46	347,19	526,66	697,48	986,57

5.2.3.3. Propuesta alternativa 3: Producción de champiñones comprando el sustrato y aumentando el volumen de producción

Como último escenario alternativo se plantea la producción de champiñones comprando el sustrato pero aumentando el volumen de producción en 2,00 veces, lo que se traduce en una producción anual de 42.130 kg de hongos y aproximadamente 378.000 kg de abono. Al igual que en el escenario anterior, el sustrato se compra a un precio de ₡3.000. En esta oportunidad las inversiones iniciales ascienden a ₡334.809.148, casi al mismo nivel que la propuesta 2, sin embargo, la diferencia radica en que las ventas para el primer año son 2,38 veces mayores en este escenario 3.

Bajo este nuevo panorama, se obtiene a partir del flujo de caja que el proyecto genera ingresos a partir del año operativo 1 y se estabiliza a partir del año 3 con una TIR de 54,7% y una VAN de ₡1.351.618.516,56 con una Relación B/C de 3,12. Estos datos indican que el proyecto podría ser económicamente viable, sin embargo con una inversión inicial tan elevada, se disminuyen las posibilidades de desarrollarlo. El flujo de caja para este escenario se muestra en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Flujo de caja de la propuesta alternativa 3: producción de champiñones comprando el sustrato listo para incubar y aumentando el volumen de producción original en millones de ₡.

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos venta de champiñones y abono		459,10	505,01	555,51	611,06	672,16	739,38	813,32	894,65	984,11	1.082,53
Menos costos operación anual		-238,63	-260,59	-285,05	-311,56	-340,87	-373,30	-373,30	-408,44	-490,37	-557,84
Menos carga financiera (intereses)											
Utilidad antes de impuesto renta		220,47	244,42	270,45	299,50	331,30	366,08	440,02	486,21	493,75	524,68
Menos impuesto de renta		-22,05	-24,44	-27,05	-29,95	-33,13	-36,61	-44,00	-48,62	-49,37	-52,47
Utilidad después de impuestos		198,42	219,97	243,41	269,55	298,17	329,47	396,02	437,59	444,37	472,21
Más valor de la depreciación		4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
Flujo operativo del modelo		203,15	224,70	248,13	274,27	302,89	334,20	400,74	442,31	449,10	476,94
Inversiones:											
Infraestructura y equipos	-334,81	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	51,55	56,81	
Capital de trabajo	-98,07	-9,03	-10,05	-10,89	-12,04	-13,33	-14,44	-16,02	-17,64	-27,73	
Más préstamo fondos reconversión											
Más fondos no reembolsables en finca											
Más recuperación capital de trabajo											229,25
Más valor residual del modelo											37,15
Flujo de caja neto del modelo	-432,87	194,12	214,65	237,33	262,23	289,56	319,84	384,72	476,22	478,18	743,34
Flujo de caja acumulado	-432,87	-238,75	-24,11	213,22	475,45	765,01	1.084,85	1.469,57	1.945,79	2.423,97	3.167,30

5.3. Análisis del estudio de factibilidad económica

Tanto la propuesta original (producir champiñones elaborando el sustrato en la finca) como las 3 propuestas alternativas: 1° (aumentar la producción de champiñones produciendo el sustrato en la finca), 2° (mantener producción original de champiñones comprando el sustrato inoculado) y 3° (aumentar la producción de champiñones comprando el sustrato inoculado); representan diferencias considerables entre indicadores económicos, así como en las utilidades netas al final de cada año operativo en estudio. Estos parámetros se utilizan como guía para la posible aceptación o rechazo de cada propuesta. En el Cuadro 31 se presenta un resumen con las principales características de las diferentes propuestas.

Cuadro 31. Comparación entre los principales parámetros de las 4 propuestas analizadas.

Parámetro	Propuesta original	1° Propuesta	2° Propuesta	3° Propuesta
VAN (millones)	- ¢2.929,59	- ¢1.814,81	¢349,68	¢1.351,62
TIR (%)	NC*	NC*	33,2	54,7
Relación B/C	- 4,92	- 1,95	1,47	3,12
Inversiones iniciales (millones de ¢)	529,75	685,24	185,00	334,81
Producción anual de hongos (kg)	17.679,40	42.130,00	17.679,40	42.130,00
Producción anual de abono (kg)	158.625,00	378.000,00	158.625,00	378.000,00
Ingresos (millones de ¢)				
Año 1	192,66	459,10	192,66	459,10
Año 10	454,27	1.082,53	454,77	1.082,53
Costos operativos (millones de ¢)				
Año 1	483,29	596,88	128,28	238,63
Año 10	1.127,60	1.389,15	299,03	557,84
Utilidades netas (millones de ¢)				
Año 1	- 306,08	- 156,26	56,84	194,12
Año 10	- 183,46	306,91	289,08	743,34

*No calculada.

De acuerdo con el cuadro anterior, se puede concluir lo siguiente:

- ☞ El VAN del escenario original y de la 1° propuesta es negativo, por lo que no resultan propuestas factibles. Por otra parte, el VAN del 3° escenario resulta

ser 3,86 veces mayor que el VAN de la 2° propuesta, lo que indica que ambos casos parecen ser aceptables desde el punto de vista económico.

- 💡 No fue posible de calcular la TIR de la propuesta original y la 1° opción, por lo que se apoya la afirmación anterior al indicar que en ambos casos no representan una oportunidad de inversión factible. Al analizar la TIR del 2° y 3° escenario se concluye que ambos indicadores muestran buenos índices al ubicarse por encima del 30%, sin embargo no se puede utilizar como única herramienta para decidir la forma de proceder a la hora de aceptar un proyecto.
- 💡 El análisis de las utilidades netas se realiza en dos partes, de acuerdo al volumen de producción anual. En el primer caso, el modelo original registra pérdidas económicas hacia el primer año operativo, y al concluir el décimo año este rubro no presenta un saldo positivo, contrario a lo que se muestra en el 1° modelo, en el cual genera utilidades negativas en el primer año, situación que continúa hasta el año 10 donde genera ingresos 1,06 veces mayores que el 2° modelo, sin embargo es improbable que se recupere la inversión realizada en ese tiempo. El panorama cambia al analizar el 2° y 3° modelo, en los cuales se registran saldos positivos en las utilidades netas desde el primer año, y la inversión inicial se recupera en 4 y 3 años, respectivamente.
- 💡 De lo anterior se puede concluir que la 2° y 3° propuestas son las que presentan una mayor rentabilidad, sin embargo el horizonte de recuperación del capital invertido es mejor para la 3° propuesta.

CONCLUSIONES

- ☞ Para desarrollar las fórmulas de compostaje debe tomarse en cuenta la disponibilidad de materias primas para cada región, así como su cercanía a las instalaciones, para no elevar los costos de producción de los sustratos.
- ☞ De los 4 tratamientos utilizados para la elaboración del sustrato, el T₂ (paja de arroz + calabaza + aditivos) no se recomienda debido a la dificultad para obtener la paja, el T₄ o control (bagazo de caña + pollinaza + aditivos) resultó con el menor contenido de N de los 4 tratamientos, lo que presenta dificultades para el desarrollo de un adecuado compostaje. Finalmente los costos de producción por kilogramo para el T₁ (heno de transvala + calabaza + aditivos) y el T₃ (broza de café + calabaza + aditivos) son de ₡77,29 y ₡48,45 respectivamente.
- ☞ El proceso de compostaje debe realizarse en instalaciones apropiadas, con el fin de controlar al máximo las condiciones ambientales para que sea más probable la obtención de un producto de calidad y que no tenga excesos ni deficiencias de humedad.
- ☞ El consumo de agua para el humedecimiento del compostaje es muy alto, por lo que es necesario diseñar sistemas de captación y recirculación de lixiviados.
- ☞ El proceso de pasteurización del compost es necesario para obtener un sustrato que permita la colonización del micelio del hongo sin la presencia de competidores.
- ☞ Para los procesos de producción del champiñón es necesario contar con instalaciones que permitan la adecuada desinfección y limpieza, así como de estrictas medidas de bioseguridad para el ingreso a las mismas.

- 💡 Tanto el 2° escenario (compra del sustrato inoculado en la finca a volúmenes mayores a las 159 toneladas anuales) como el 3° escenario (la compra del sustrato inoculado a volúmenes mayores a las 378 toneladas anuales), representan propuestas económicamente viables para su desarrollo, sin embargo es necesario realizar un estudio para evaluar si los productores de hongos se encuentran en capacidad de comercializar este volumen de sustrato.

- 💡 El modelo original bajo las condiciones planteadas de producción del sustrato en la finca no es rentable porque no se pudo calcular la TIR, el VAN es negativo (– 2.929 millones de colones) y la Relación B/C resultó ser de – 4,92.

- 💡 Se obtuvieron dos escenarios factibles desde el punto de vista económico, sin embargo el escenario que representa los mejores índices es el 3°, donde el horizonte de recuperación de la inversión es de 3 años, se obtienen utilidades netas superiores a los 190 millones de colones anuales, una TIR de 54,7%, un VAN de ₡1.351.618.516 y una relación B/C de 3,12.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis químico a las materias primas que se van a utilizar en la formulación del compost y cuya composición no se encuentra disponible en la literatura nacional, con el fin de desarrollar una mezcla de ingredientes con base en parámetros que se ajusten a la realidad costarricense.
- A pesar de que el sustrato que contiene broza de café y caballaza es el menos costoso de los sustratos estudiados, se puede realizar una mezcla de estos ingredientes con el heno de transvala, hoja y bagazo de caña con el fin de explorar la posibilidad de contar con diferentes ingredientes y así no depender de uno solo. De igual manera se plantea la sustitución de la harina de soya como aditivo de los sustratos por otras fuentes nitrogenadas menos costosas.
- Para evitar problemas de exceso o falta de humedad en la o las pilas de compostaje se recomienda que el proceso sea llevado a cabo en instalaciones con piso de cemento y bajo techo.
- Se recomienda el uso de canales de desagüe y tanques para recolectar los lixiviados provenientes de las pilas de compostaje para reutilizarlos en los riegos posteriores, a fin de disminuir el consumo de agua de la finca.
- Deben investigarse fuentes de energía alterna para alimentar el proceso de pasteurización, y de esa manera disminuir la huella de carbono en la finca.
- Para la construcción de las instalaciones se recomienda investigar en el mercado sobre materiales de bajo costo pero que permitan no solo el lavado diario de las mismas, y que impidan la acumulación de desechos que puedan

favorecer el crecimiento de microorganismos patógenos, sino también la recuperación de las inversiones realizadas.

- 💡 Como medidas de bioseguridad se recomienda el uso de la ducha previo al ingreso a los cuartos oscuros, ropa limpia, gabachas, botas blancas, cubrebocas, mallas para el cabello y guantes de látex.

- 💡 Se recomienda investigar un quinto escenario alternativo, que consiste en iniciar comprando el sustrato, y alrededor del tercer año operativo empezar su elaboración dentro de la finca, con el fin de disminuir la compra del insumo hasta el punto de producirlo en su totalidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO G. 2012. Curso: Cultivo del champiñón (*Agaricus spp.*): Módulo II. BioFungi CR S.A. San José, Costa Rica.
- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis 13th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, United States of America. 1141 p.
- ARDÓN C. 2007. La producción de los hongos comestibles. Maestría en Docencia Universitaria con especialidad en Evaluación Educativa, Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala. Disponible en <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/07/07_1932.pdf>. Consultado el 17/05/11.
- BCCR (BANCO CENTRAL DE COSTA RICA). 2012a. Indicadores económicos. Disponible en <<http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20471>>. Consultado el 28/08/12.
- BCCR (BANCO CENTRAL DE COSTA RICA). 2012b. Indicadores económicos. Disponible en <<http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>>. Consultado el 28/08/12.
- BARTABURU D., MONTES E., PEREIRA M. 2006. Utilización de la paja de arroz en la alimentación animal. Alternativas tecnológicas para enfrentar situaciones de crisis forrajeras N° 027. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, República Oriental del Uruguay. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/31-crisis_forrajera.pdf>. Consultado el 22/06/11.
- BEYER D. 2003. Basic procedures for *Agaricus* mushroom growing. College of Agricultural Sciences, Agricultural Research and Cooperative Extension. Pennsylvania State University. 16 p.
- CAFESA. 2011. Etiqueta del fertilizante 30-0-15, 45 kg.
- CALDERÓN S.; ESCORCIA M. 2005. Optigen 1200® como fuente de nitrógeno en vacas lecheras estabuladas alimentadas con ensilaje de sorgo (*Sorghum bicolor*) y heno de Trasvala (*Digitaria eriantha*). Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura, El Zamorano, Honduras. 18 p.

- CAMBRONERO J., CHAN O. 1982. Composición química de materias primas y subproductos agroindustriales de uso común en la alimentación animal en Costa Rica. Tesis presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Agrónomo en el grado de Licenciado en Zootecnia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 152 p.
- CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2011. Reporte de análisis químico de abonos orgánicos. Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CINA (CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN NUTRICIÓN ANIMAL). 2012. Reporte de análisis químico a muestras de caballaza. Ciudad de la investigación, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- COBEAVINT. 2010. Curso básico de producción de hongos comestibles. Corporación Biológica Ambiental para la Vida Integral, Colombia. 45 pp. Disponible en <<http://www.cobeavint.org/documentos.html>>. Consultado el 19/01/11.
- FEDNA. 1999. Normas FEDNA para la formulación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 496 p.
- FERNÁNDEZ F. 2002. El cultivo de setas (*Pleurotus spp*). Hacienda las Trojes, Guadalajara, México. Disponible en: <<http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/setas/setas.htm>>. Consultado el 07/03/11.
- FERNANDEZ F. 2005. Manual práctico de producción comercial de champiñón apuntes, recopilación de datos y experiencias adquiridas en el cultivo comercial de champiñones. Jalisco, México. Disponible en <http://www.grupofungitech.com/Manual_de_Champinon.pdf>. Consultado el 08/09/11.
- FERRAGUT F., GEA F., GARCÍA-MORRÁS J. 1997. El ácaro del champiñón *Brennandia lambi* (Krczal) (*Acari: Pygmephoroidea*): introducción en España, importancia económica y separación de especies afines. Bol. San Ver. Plagas 23: 301-311. Disponible en <http://www.google.co.cr/url?sa=t&rct=j&q=%C3%A1caro+del+champi%C3%B1%C3%B3n+&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.magrama.gob.es%2Fministerio%2Fpags%2Fbiblioteca%2Frevistas%2Fpdf_plagas%252FBSVP-23-02-301-311.pdf&ei=0S1eUI-zCpLs9AScIYGICw&usg=AFQjCNGdQpYwD8Y5iJzbHw_sNICHqD4i6Q&cad=rja>. Consultado el 09/05/12.
- FITZPATRICK G.E. 1993. A program for determining compost bleding ratios. Compost Science & Utilization 1(3): 30 – 33.

- GONZALVO N., LY M., CARÓN M., MARTÍNEZ V. 2001. Algunos aspectos del valor nutritivo de alimentos venezolanos destinados a animales monogástricos. *Livestock Research for Rural Development* (13)2. Disponible en <<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/2/gonz132.htm>>. Consultado el 20/07/11.
- GOOGLE EARTH. 2012. Programa de información geográfica Google earth 6.2. Google Inc.
- GOOGLE SKETCHUP 8. 2012. Programa de dibujo Google SketchUp 8.0.4811 Google Inc..
- INDEX FUNGORUM. 2008. *Agaricus bisporus*. In: Index Fungorum database. Disponible en <<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=531546>>. Consultado el 16/08/12.
- INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS). 2012a. Consulta de importaciones agrupado por partidas. Disponible en <<http://www.inec.go.cr/sicceweb/default.aspx>>. Consultado el 27/08/12.
- INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS). 2012b. Consulta de exportaciones agrupado por partidas. Disponible en <<http://www.inec.go.cr/sicceweb/default.aspx>>. Consultado el 15/04/12.
- INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS). 2012c. Proyección de la población de Costa Rica entre los años 2000 y 2015. Disponible en <<http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx>>. Consultado el 28/08/12.
- LIBREOFFICE. 2012. Hoja de cálculo LibreOffice Calc, LibreOffice 3.5.4.2. Derivado de OpenOffice.org.
- LÓPEZ E. 1990. Cultivo del champiñón, la trufa y otros hongos. Aedos, España. 132 p.
- LÓPEZ J. 1987. Prefactibilidad para la producción de abono orgánico a partir de la broza del café en Coopronaranja R.L. Informe de práctica dirigida, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. 75 p.
- MATA L. 2011. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. Sección de impresión del SIEDIN, San José, Costa Rica. 132 p.
- MEJÍA P. 2005. Manual de lombricultura. Agroflor Lombricultura, Villarrica, Chile. 30 p.

- MTSS (MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL). 2012. Salarios mínimos para el sector privado, Segundo Semestre 2012. Disponible en <www.mtss.go.cr>. Consultado el 26/07/12.
- MORA G. 1990. Estudio de factibilidad para la implantación de una planta procesadora de broza de café. Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de Costa Rica, San José. Costa Rica, 144 p.
- MUÑOZ R. 2007. Cultivo de champiñones. Fundación para Innovación Tecnológica Agropecuaria. El Salvador. Disponible en <<http://fiagro.org.sv/archivos/0/471.pdf>>. Consultado el 23/03/11.
- MYCOBANK. 2012. Fungal databases: Nomenclatural and species bank. International Mycological Association. Disponible en <<http://www.mycobank.org/BioloMICS.aspx?Table=Mycobank&Rec=708&Fields=All>>. Consultado el 16/08/12.
- NEGRO M., VILLA F., AIBAR J., ALARCÓN R., CIRIA P., CRISTÓBAL M., DE BENITO A., GARCÍA A., GARCÍA G., LABRADOR C., LACASTA C., LEZAÚN J., MECO J., PARDO G., SOLANO M., TORNER C., ZARAGOZA C. 2000. Producción y gestión del compost. Centro de Técnicas Agrarias, Departamento de Agricultura. Zaragoza, Gobierno de Aragón. Informaciones Técnicas Nº 88. Disponible en <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>>. Consultado el 23/03/11.
- NOWAK P., SHEPARD R., MADISON F. 2002. Farmers and manure management: A Critical Analysis, pp. 1-32. *In*: HATFIELD J.L., STEWART B.A. (eds). Animal waste utilization: Effective use of manure as a soil resource. Lewis Publishers, United States of America. 315 p.
- OJEDA F., CÁCERES O., MONTEJO I. 2003. Evaluación de diferentes materiales absorbentes para ensilar hollejo de cítrico. Pastos y Forrajes 26 (4). Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. Disponible en <<http://payfo.ihatuey.cu/Revista/v26n4/pdf/pyf10403.pdf>>. Consultado el 07/05/11.
- RYNK R., VAN DE KAMP M., WILLSON G., SINGLEY M., RICHARD T., KOLEGA J., GOUIN F., LALIBERTY L., KAY D., MURPHY D., HOITINK H., BRINTON W. 1992. On-farm composting handbook. Northeast Regional Engineering Service, New York, United States of America. 186 p.

- SALDAÑA D. 2003. Estudio de factibilidad para el establecimiento de una empresa productora de champiñones en Costa Rica. Trabajo de Graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciatura, Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica. 120 p.
- SANDOVAL L.E. 2012. Estudio de las cualidades nutritivas de cuatro tipos de sustratos para el cultivo de champiñones (*Agaricus bisporus*). Tesis de Grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Ecuador. Disponible en <<http://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/70>>. Consultado el 20/08/12.
- SAPAG N., SAPAG R. 2008. Preparación y evaluación de proyectos. Quinta edición. McGraw Hill International, México. 445 p.
- SILVA R., FRITZ C., CUBILLOS J., DÍAZ M. 2010. Manual para la producción de hongos comestibles (Shiitake). *In*: Proyecto CONAMA – FPA RM – 027 – 2010, Utilización de desechos de podas del arbolado urbano como sustrato para la producción de hongos comestibles (Shiitake) en la comuna de La Pintana, Ministerio del Medio Ambiente, Chile. Disponible en <www.forestaluchile.cl/shiitake/Manual%20Producci%C3%B3n%20de%20hongos%20comestibles_2010.pdf>. Consultado el 16/08/12.
- SZTERN D., PRAVIA M. 1999. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Oficina de Planeamiento y Presupuesto, Unidad de Desarrollo Municipal, Uruguay. Disponible en: <<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>. Consultado el 23/03/11.
- TOBÍA C., VARGAS E. 2000. Evaluación de las excretas de pollos de engorde (pollinaza) en la alimentación animal. I. Disponibilidad y composición química. *Agronomía Costarricense* 24(001): 47-53.
- TOBIA C., VARGAS E., ROJAS A., SOTO H. 2001. Evaluación de las excretas de pollos de engorde (pollinaza) en la alimentación animal. III. Rendimiento productivo de toretes de engorde. *Agronomía Costarricense* 25(2): 35 – 43.
- VÁSQUEZ A. 2010. Caracterización del residuo del cultivo de *Agaricus bisporus* y su utilización en dietas para ovinos. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad Ganadería. Colegio de Postgraduados. México D.F., México. Disponible en <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/168/1/Vasquez_Dominiguez_AN_MC_Ganaderia_2010.pdf>. Consultado el 10/01/11.
- WINGCHING-JONES R., ALVARADO G. 2009. Valor nutricional del heno de Transvala inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus* sp. *Agronomía Costarricense*. 33(1): 147-153.

Anexo 1. Registro diario de eventos de los tratamientos.

Bitácora de eventos					
Inicio	Fecha	Tc (°C)	Humedad (%)	TA (°C)	Observaciones
	07/02/2012	0	0	0	Se trasladó la caballaza y la broza de café hasta la UCR-SO
	08/02/2012	0	0	0	NA
	09/02/2012	0	0	0	NA
	10/02/2012	0	0	0	Se volteó la broza
	11/02/2012	0	0	0	NA
	12/02/2012	0	0	0	NA
	13/02/2012	0	0	0	NA
	14/02/2012	0	0	0	NA
	15/02/2012	0	0	0	NA
	16/02/2012	0	0	0	NA
	17/02/2012	0	0	0	Se volteó la broza
	18/02/2012	0	0	0	NA
	19/02/2012	0	0	0	NA
	20/02/2012	0	0	0	NA
	21/02/2012	0	0	0	NA
	22/02/2012	0	0	0	NA
	23/02/2012	0	0	0	NA
	24/02/2012	0	0	0	NA
	25/02/2012	0	0	0	Compra y traslado de aserrín. Se mezcló la broza con la caballaza y el aserrín. Se agregó agua con melaza.
	26/02/2012	0	0	0	NA
	27/02/2012	0	0	0	NA
	28/02/2012	0	0	0	NA
	29/02/2012	0	0	0	NA
	01/03/2012	0	0	0	NA
	02/03/2012	0	0	0	NA
	03/03/2012	0	0	0	Se volteó el montículo, se agregó agua. Se registró calor y se notó la presencia de bacterias termofólicas.
	04/03/2012	0	0	0	NA
	05/03/2012	0	0	0	NA
	06/03/2012	60	0	25	Se volteó y se agregaron 20L agua.
	07/03/2012	0	0	0	NA
	08/03/2012	0	0	0	NA
	09/03/2012	60	61,4	25	Se agregaron 200g melaza en 10L agua. Se agregaron 65L agua y se obtuvo una humedad del 66,56%.
	10/03/2012	0	0	0	NA
	11/03/2012	0	0	0	NA
	12/03/2012	48,4	80,08	25	Se midió temperatura y humedad.
	13/03/2012	0	0	0	NA
	14/03/2012	0	0	0	NA
	15/03/2012	55,33	93,6	23	Se midió temperatura y humedad.
	16/03/2012	53,33	69,33	23	Se volteó el montículo, se agregaron 60 L de agua y aditivos (harina de soya).
	17/03/2012	0	0	0	NA
	18/03/2012	0	0	0	NA
	19/03/2012	0	0	24	Se agregaron 100 L de agua.
	20/03/2012	0	0	0	NA
	21/03/2012	0	0	0	NA

Preparación

Precompostaje

Compostaje

Agua consumida: 330 L

Primer volteo
Agua consumida: 165 L

Segundo volteo
Agua consumida: 20 L

Tercer volteo
Agua consumida: 75L

Cuarto volteo
Agua consumida: 60 L

Agua consumida: 100 L

Quinto volteo

Anexo 2. Materias primas utilizadas en la formulación del sustrato.



Aserrín



Bagazo de caña de azúcar



Caballaza



Hoja de caña de azúcar



Melaza



Pollinaza



Suplemento nitrogenado



Heno de Transvala



Paja de Arroz

Anexo 3. Registro de temperatura del cuarto oscuro.

Control de temperatura del sustrato	
Consecutivo	.004
Fecha	25/04/2012
Temperatura ambiente (°C)	0,00
Temperatura cuarto oscuro (°C)	25,00
Repetición	Temperatura del sustrato (°C)
T1.1	25,00
T1.2	24,00
T1.3	26,00
T1.4	24,00
T1.5	25,00
T1.6	24,00
Promedio	24,67
T2.1	25,00
T2.2	25,00
T2.3	26,00
T2.4	23,00
T2.5	26,00
T2.6	29,00
Promedio	25,67
T3.1	25,00
T3.2	25,00
T3.3	25,00
T3.4	24,00
T3.5	23,00
T3.6	24,00
Promedio	24,33
T4.1	25,00
T4.2	24,00
T4.3	26,00
T4.4	25,00
T4.5	24,00
T4.6	24,00
Promedio	24,67

Anexo 4. Parámetros utilizados en la elaboración de la propuesta de implementación del sistema de producción de champiñones.

Parámetro	Valor
Medidas de volumen	
Metro cúbico (m ³)	1,00
Litro (L)	1.000,00
Medidas de masa	
Kilogramo (kg)	1,00
Gramo (g)	1.000,00
Medidas de longitud	
Metro (m)	1,00
Centímetro (cm)	100,00
Medidas de área	
Hectárea (ha)	1,00
Metro cuadrado (m ²)	10.000,00
Relación porcentual	
Porcentaje (%)	100,00
Inflación anual (%)	10,00
Costo del capital para evaluar el proyecto	0,12
Tipo de cambio monetario	
Colón (₡)	505,35
Dólar (\$)	1,00
Euro (€)	1,29
Parámetros de tiempo	
Ciclo de producción del hongo (días)	150,00
Ciclo de producción del compostaje (días)	22,00
Días por semana	7,00
Semanas por mes	4,32
Meses por año	12,00
Días por año	365,00
Semanas por año	52,00
Jornada laboral diaria (horas)	8,00
Jornada medio tiempo (horas)	4,00
Área del círculo	$A = \pi * r^2$
Área de la bolsa (m ²)	0,11
Cantidad de bolsas/m ²	7,96
Producción media en Costa Rica (kg/m ²)	15,00
Estimación de producción	
Producción mensual (kg)	1.478,75
Bolsas sembradas/semana	399,99
Producción anual (kg)	17.679,45
Bolsas necesarias/año	33.324,88
Cantidad de bandejas anuales (unidades)	70.717,59
Densidad promedio del compost (kg/m ³)	449,80
Rendimiento del compost (%)	86,04

Anexo 4. Parámetros utilizados en la elaboración de la propuesta de implementación del sistema de producción de champiñones (Continuación).

Parámetro	Valor
Necesidades de materiales para la siembra	
Cantidad de sustrato/bolsa (kg)	10,00
Cantidad anual de sustrato (kg)	176.250,00
Semilla/bolsa (%)	2,50%
Cantidad de semilla necesaria/año (kg)	8.331,22
Suplemento/bolsa (%)	5,00%
Cantidad de suplemento necesario/año (kg)	16.662,44
Tierra de cobertura/bolsa (%)	15,50%
Cantidad de cobertura necesaria/año (kg)	51.653,56
Área de siembra	
Ancho de las bolsas (m)	0,30
Longitud del estante (m)	1,60
Bolsas/estante	4,00
Estantes/estantería	4,00
Bolsas/estantería	16,00
Costo del Personal	
Peón en general, Jornal diario (₡)	8.120,33
Peón en general, Salario mensual neto (₡)	302.037,30
Secretaria, Salario mensual medio tiempo (₡)	194.637,97
Zootecnista, Salario mensual tiempo completo (₡)	529.855,43
Costo de servicios	
Electricidad (₡/KWh)	110,00
Agua potable (₡/m3)	826,00
Telefonía fija (₡)	2459,50
Internet (₡)	10.000,00
Gastos de mantenimiento	
Equipos menores (vida útil menor a 3 años)	2.500,00
Total mantenimiento equipos mayores/año	30.000,00
Equipos mayores (vida útil mayor a 4 años)	1.000,00
Total mantenimiento equipos mayores/año	12.000,00
Infraestructura/mes	5.000,00
Total mantenimiento infraestructura/año	60.000,00
Cercas en finca/mes	2.000,00
Total mantenimiento cercas/año	24.000,00
Imprevistos sobre Costos de operación (%)	3,00

Anexo 5. Cálculos para el costo de producción para 1320 kg de sustrato.

Actividades	Día	Tiempo, horas	Trabajad. necs.	Costo/hora, ¢
Compra de mat. prim	1 – 2	16,00	2,00	32.409,28
Formación de pilas	3	8,00	2,00	16.204,64
Volteo	5 – 7	3,00	2,00	6.076,74
Observación	8	1,00	2,00	2.025,58
Observación	9	1,00	1,00	1.012,79
Observación	10	1,00	1,00	1.012,79
Observación	11	1,00	1,00	1.012,79
Volteo	12	3,00	2,00	6.076,74
Observación	13	1,00	1,00	1.012,79
Observación	14	1,00	1,00	1.012,79
Volteo	15	3,00	2,00	6.076,74
Volteo	16	3,00	2,00	6.076,74
Observación	17	1,00	1,00	1.012,79
Volteo	18	3,00	2,00	6.076,74
Volteo	19	3,00	2,00	6.076,74
Pasteurización	20 – 21	48,00	2,00	97.227,84
Acondicionamiento	22 – 24	4,00	2,00	8.102,32
Traslado	25	1,00	2,00	2.025,58
Subtotal				200.532,42
Cargas sociales				46.122,46
Total*		102,00		246.654,88

*Costo/tratamiento: ¢61.663,72; Tiempo completo: 12,75 días; Medio tiempo: 25,5 días.

Costo de producción para 1.031.904.84 kg de sustrato (incluye 86,04% de rendimiento)

Ingrediente	Costo/kg, ¢	Cant. nec., kg	Costo/ ingred., ¢	Costo neto/trat., ¢	Costo/kg, ¢
Transvala	155,26	168.001,59	26.084.457,39	39.475.274,19	77,29
Caballaza	6,67	336.050,10	2.240.334,00		
Urea	780,00	6.706,11	5.230.765,80		
Subtotal		510.757,80	33.555.557,19		
Broza de café	6,67	96.955,79	646.371,93	25.247.391,11	48,45
Caballaza	6,67	265.299,18	1.768.661,20		
Harina de soya	291,09	52.785,80	15.365.257,87		
Aserrín	14,58	106.106,27	1.547.383,10		
Subtotal		521.147,04	19.327.674,11		
Total		1.031.904,84		64.722.665,30	62,72
Costo MO			5.919.717,00		

Anexo 6. Cantidad y costo aproximados de los materiales necesarios para la construcción de las instalaciones.

Material	Cantidad	C.U., ¢	Total
Láminas contra agua 244 x 122 (unidades)	200	6.905,10	1.381.020,00
Tablilla plástica (5,95 m)	34	3.870,00	130.070,70
Furring (3,66 m)	61	1.098,95	67.035,95
Láminas de zinc grandes (3,66 m)	138	13.690,00	1.889.220,00
Arena (m3)	6	13.800,00	82.800,00
Piedra (m3)	5	15.500,00	77.500,00
Sacos de cemento (50 kg)	20	5.290,00	105.800,00
Puertas de madera (1 x 2,10 m)	9	36.344,00	327.096,00
Puertas plegables 1,20x2,40 m (unidades)	5	35.260,00	176.300,00
Bisagras 4x4 (pares)	14	1.146,05	16.044,70
Reglas de marco de 1x4x3 varas (unidades)	35	1.220,65	42.722,75
Llavines (unidades)	9	9.900,00	89.100,00
Perling estructura de techo 2x3 m (unidades)	140	17.381,00	2.433.340,00
Piezas de 1/2x3 varas batiente (unidades)	35	764,05	26.741,75
Tornillos punta broca 1x1/4 (unidades)	2.000	17,75	35.500,00
Tornillos tirafondo para techo 2 pulgadas (unidades)	9.000	157,30	1.415.700,00
Inodoro + lavatorio	1	39.290,10	39.290,10
Fregadero 100x50 cm	1	30.637,60	30.637,60
Malla ciclón (m)	49	9.240,00	452.760,00
Tubos de acero (unidades)	25	8.800,00	220.000,00
Imprevistos			1.000.000,00
Total			10.038.680

Anexo 7. Inversiones iniciales para la producción de champiñones elaborando el sustrato en la finca.

Materiales y equipos	Cantidad total	C.U., ¢	C.T., ¢	Vida útil, años
Sustrato elaborado (kg)	1.021.515,63	309,12	434.242.193,70	0
Insumos				
Guante tejido PVC (pares)	2	1.893	3.786	0
Combustible para pasteurización (sacos)	200	1.000	200.000	0
Bolsas plásticas para siembra (17x25) (kg)	160	1.000	160.000	0
Mallas para cabello (unidades)	52	650	33.800	0
Guantes de látex (cajas)	15	4.000	60.000	0
Alcohol 70° (L)	15	1.450	21.750	0
Cal (bolsas)	1.680	5	8.400	0
Cloro (galones)	15	2.205	33.075	0
Guantes de hule (Pares)	15	860	12.900	0
Alcohol en gel (L)	6	1.900	11.400	0
Cubrebocas (cajas)	15	1.730	25.950	0
Etiquetas para producto terminado (rollo)	19	35.000	674.074	0
Escobas (unidades)	6	1.336	8.018	0
Bandejas para empaque de 250 g (unidades)	9.630	90	866.667	0
Subtotal (¢)			2.119.820	
Equipos				
Mangueras 25 mm (1 pulgada) (Rollo de 90 m)	1	27.750	27.750	1
Rastrillo (unidades)	2	3.200	6.400	3
Palas aluminio #12 (unidades)	2	16.825	33.649	3
Tridentes (Gancho de heno 5 dientes) (unidades)	2	10.418	20.836	3
Cuchillos de corte de bolsa (docena)	1	4.000	4.000	3
Foco recargable (unidades)	2	1.995	3.990	3
Cajas plásticas de 10 kg (unidades)	3	2.300	6.900	3
Hieleras para transporte (unidades)	2	61.780	123.560	3
Termómetro para compostaje (unidades)	1	48.524	48.524	8
Higrómetro (unidades)	1	68.322	68.322	8
Hidrolavadora (unidades)	1	48.007	48.007	8
Termómetro de mercurio inmersión (-10 a 250°C) (unidades)	2	4.600	9.200	8
Romanas 100 kg (unidades)	1	10.283	10.283	9

Anexo 7. Inversiones iniciales para la producción de champiñones elaborando el sustrato en la finca (Continuación).

Materiales y equipos	Cantidad total	C.U., ¢	C.T., ¢	Vida útil, años
Romanas 20 kg (unidades)	1	9.402	9.402	9
Romanas 5 kg (unidades)	1	12.373	12.373	9
Vehículos para transporte del producto (unidades)	1	8.000.000	8.000.000	10
Carretillos (unidades)	1	45.352	45.352	15
Mesa de trabajo acero inoxidable (unidades)	1	213.240	213.240	15
Carros transportadores de bolsas (unidades)	1	70.000	70.000	15
Aire acondicionado (unidades)	5	252.675	1.263.375	15
Estanterías (unidades)	25	70.000	1.750.000	15
Refrigeradores (unidades)	1	1.429.555	1.429.555	15
Mangueras de hule (unidades)	1	479	479	18
Acoples rápidos hembra (unidades)	4	885	3.540	18
Acoples rápidos macho (unidades)	4	425	1.701	18
Boquillas para manguera (unidades)	4	1.994	7.975	18
Caja de pasteurización	1	1.618.722	1.618.722	100
Subtotal (¢)			14.837.137	
Compra del terreno	514	35.000	8.739.150	20
Instalaciones (m2)			10.000.000	
Costo del personal (¢)	4		17.271.384	
Total			58.310.225	

Modificado de Saldaña (2003), Fernández (2005), Ardón (2007).

Anexo 8. Depreciación del modelo de producción de champiñones produciendo el propio sustrato, en un plazo de 10 años.

Tipo de Inversión	Monto, ¢	Vida Útil, años	Depr. anual, ¢	Depr. anual acumulada, ¢
Año 1				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	59.782,08
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	42.458,76
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	42.328,94
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	9.140,44
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	42.005,99
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	8.356,98
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	199.024,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	65.333,33
Termometro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	8.050,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	1.179.150,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	1.633.333,33
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	10.998,57
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	1.334.251,33
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	7.200.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	18.340.842,50
Total			2.175.172,95	
Año 2				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	51.241,79
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	36.393,23
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	39.305,45
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	7.997,89
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	36.005,14
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	7.312,36
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	184.808,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	60.666,67
Termometro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	6.900,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	1.094.925,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	1.516.666,67
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	9.623,75
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	1.238.947,67
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	6.400.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	17.375.535,00
Total			2.175.172,95	
Año 3				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	42.701,49
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	30.327,69
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	36.281,95
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	6.855,33
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	30.004,28

Anexo 8. Depreciación del modelo de producción de champiñones produciendo el propio sustrato, en un plazo de 10 años (Continuación).

Tipo de Inversión	Monto, ¢	Vida Útil, años	Depr. anual, ¢	Depr. anual acumulada, ¢
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	6.267,73
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	170.592,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	56.000,00
Termometro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	5.750,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	1.010.700,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	1.400.000,00
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	8.248,93
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	1.143.644,00
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	5.600.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	16.410.227,50
Total			2.175.172,95	
Año 4				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	34.161,19
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	24.262,15
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	33.258,46
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	5.712,78
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	24.003,43
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	5.223,11
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	156.376,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	51.333,33
Termometro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	4.600,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	926.475,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	1.283.333,33
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	6.874,11
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	1.048.340,33
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	4.800.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	15.444.920,00
Total			2.175.172,95	
Año 5				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	25.620,89
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	18.196,61
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	30.234,96
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	4.570,22
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	18.002,57
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	4.178,49
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	142.160,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	46.666,67
Termometro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	3.450,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	842.250,00

Anexo 8. Depreciación del modelo de producción de champiñones produciendo el propio sustrato, en un plazo de 10 años (Continuación).

Tipo de Inversión	Monto, ¢	Vida Útil, años	Depr. anual, ¢	Depr. anual acumulada, ¢
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	1.166.666,67
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	5.499,28
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	953.036,67
Vehículos para transporte	8.000.000,00	10,00	800.000,00	4.000.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	14.479.612,50
Total			2.175.172,95	
Año 6				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	17.080,60
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	12.131,08
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	27.211,46
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	3.427,67
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	12.001,71
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	3.133,87
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	127.944,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	42.000,00
Termómetro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	2.300,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	758.025,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	1.050.000,00
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	4.124,46
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	857.733,00
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	3.200.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	13.514.305,00
Total			2.175.172,95	
Año 7				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	8.540,30
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	6.065,54
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	24.187,97
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	2.285,11
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	6.000,86
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	2.089,24
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	113.728,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	37.333,33
Termómetro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	1.150,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	673.800,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	933.333,33
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	2.749,64
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	762.429,33
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	2.400.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	12.548.997,50
Total			2.175.172,95	

Anexo 8. Depreciación del modelo de producción de champiñones produciendo el propio sustrato, en un plazo de 10 años (Continuación).

Tipo de Inversión	Monto, ¢	Vida Útil, años	Depr. anual, ¢	Depr. anual acumulada, ¢
Año 8				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	0,00
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	0,00
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	21.164,47
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	1.142,56
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	0,00
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	1.044,62
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	99.512,00
Carros transportadores de bolsas	70.000,00	15,00	4.666,67	32.666,67
Termómetro de mercurio inmersión (-10 a 250°C)	9.200,00	8,00	1.150,00	0,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	589.575,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	816.666,67
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	1.374,82
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	667.125,67
Vehículos para transporte	8.000.000,00	10,00	800.000,00	1.600.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	11.583.690,00
Total			2.175.172,95	
Año 9				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	59.782,08
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	42.458,76
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	18.140,98
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	0,00
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	42.005,99
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	0,00
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	85.296,00
Carros transportadores	70.000,00	15,00	4.666,67	28.000,00
Termómetro de mercurio	9.200,00	8,00	1.150,00	8.050,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	505.350,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	700.000,00
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	0,00
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	571.822,00
Vehículos para transporte del producto	8.000.000,00	10,00	800.000,00	800.000,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	10.618.382,50
Total			2.175.172,95	
Año 10				
Higrómetro	68.322,38	8,00	8.540,30	51.241,79
Termómetro para compostaje	48.524,30	8,00	6.065,54	36.393,23
Carretillos	45.352,44	15,00	3.023,50	15.117,48
Romanas 100 kg	10.283,00	9,00	1.142,56	9.140,44
Hidrolavadora	48.006,85	8,00	6.000,86	36.005,14
Romanas 20 kg	9.401,60	9,00	1.044,62	8.356,98
Mesa de trabajo acero inoxidable	213.240,00	15,00	14.216,00	71.080,00
Carros transportadores	70.000,00	15,00	4.666,67	23.333,33

Tipo de Inversión	Monto, ¢	Vida Útil, años	Depr. anual, ¢	Depr. anual acumulada, ¢
Termometro de mercurio	9.200,00	8,00	1.150,00	6.900,00
Aire acondicionado	1.263.375,00	15,00	84.225,00	421.125,00
Estantería	1.750.000,00	15,00	116.666,67	583.333,33
Romanas electrónicas 5 kg	12.373,39	9,00	1.374,82	10.998,57
Refrigeradores	1.429.555,00	15,00	95.303,67	476.518,33
Vehículos	8.000.000,00	10,00	800.000,00	0,00
Instalaciones generales	19.306.150,00	20,00	965.307,50	9.653.075,00
Total			2.175.172,95	11.411.949,15

Anexo 9. Resumen de los costos de operación para una finca productora de champiñones que elabora su propio sustrato, para un lapso de 10 años.

Tipo de costo operación	Unidad medida	Cantidad	Costo total
Año 1			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	434.242.194
Compra de insumos			1.200.743
Compra de equipos menores a 3 años			227.086
Compra de equipos entre 8 – 9 años			128.047
Compra de equipos mayores a 10 años			45.352
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	200.000
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	8.000
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	36.000
Mantenimiento infraestructura	Meses	12,00	60.000
Costo de servicios	Meses	12,00	4.590.444
Costo mano de obra	Meses	13,00	25.124.354
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			469.209.018
Imprevistos 3%			14.076.271
Total			483.285.288
Año 2			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	477.666.413
Compra de insumos			1.351.342
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	220.000
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	11.000
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	39.600
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	66.000
Costo de servicios	Meses	12,00	5.049.489
Costo mano de obra	Meses	13,00	25.878.084
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			513.628.726
Imprevistos 3%			15.408.862
Total			529.037.588
Año 3			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	525.433.054
Compra de insumos			1.486.477
Compra de equipos menores a 3 años			296.073
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1	242.000
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2	12.100
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	43.560
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	72.600
Costo de servicios	Meses	12,00	5.554.438
Costo mano de obra	Meses	13,00	26.654.427
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			563.141.526
Imprevistos 3%			16.894.246
Total			580.035.772

Anexo 9. Resumen de los costos de operación para una finca productora de champiñones que elabora su propio sustrato, para un lapso de 10 años (Continuación).

Tipo de costo operación	Unidad medida	Cantidad	Costo total
Año 4			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	577.976.360
Compra de insumos			1.635.124
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	266.200
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	13.068
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	47.916
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	79.860
Costo de servicios	Meses	12,00	6.109.881
Costo mano de obra	Meses	13,00	27.454.060
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			616.929.267
Imprevistos 3%			18.507.878
Total			635.437.145
Año 5			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	635.773.996
Compra de insumos			1.798.637
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	292.820
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	14.641
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	52.708
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	87.846
Costo de servicios	Meses	12,00	6.720.869
Costo mano de obra	Meses	13,00	28.277.681
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			676.365.730
Imprevistos 3%			20.290.972
Total			696.656.702
Año 6			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	699.351.395
Compra de insumos			1978500
Compra de equipos menores a 3 años			394.073
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	322.102
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	16.105
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	57.978
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	96.631
Costo de servicios	Meses	12,00	7.392.956
Costo mano de obra	Meses	13,00	29.126.012
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			742.082.258
Imprevistos 3%			22.262.468
Total			764.344.726
Año 7			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	769.286.535
Compra de insumos			2.176.350
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	354.312

Anexo 9. Resumen de los costos de operación para una finca productora de champiñones que elabora su propio sustrato, para un lapso de 10 años (Continuación).

Tipo de costo operación	Unidad medida	Cantidad	Costo total
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	17.716
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	63.776
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	106.294
Costo de servicios	Meses	12,00	8.132.252
Costo mano de obra	Meses	13,00	29.999.792
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			813.483.503
Imprevistos 3%			24.404.505
Total			837.888.008
Año 8			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	846.215.188
Compra de insumos			2.202.657
Compra de equipos entre 8 – 9 años			348.536
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	389.743
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	11.692
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	70.154
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	116.923
Costo de servicios	Meses	12,00	8.945.477
Costo mano de obra	Meses	13,00	30.899.786
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			892.741.827
Imprevistos 3%			26.782.255
Total			919.524.082
Año 9			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	930.836.707
Compra de insumos			2.633.384
Compra de equipos menores a 3 años			524.511
Compra de equipos entre 8 – 9 años			75.591
Mantenimiento anual de equipos	Meses	1,00	428.718
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	4.287
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	74.831
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	128.615
Costo de servicios	Meses	12,00	9.840.025
Costo mano de obra	Meses	13,00	31.826.780
Depreciaciones del sistema			3.346.798
Subtotal costos operación			979.720.247
Imprevistos 3%			29.391.607
Total			1.009.111.854

Anexo 9. Resumen de los costos de operación para una finca productora de champiñones que elabora su propio sustrato, para un lapso de 10 años (Continuación).

Tipo de costo operación	Unidad medida	Cantidad	Costo total
Año 10			
Bolsa sembrada	kg	1.404.751,74	1.023.920.378
Compra de insumos			31.072.473
Sustrato elaborado	kg	27.435,45	7.406.948
Compra de insumos			2.896.722
Compra de equipos mayores a 10 años			20.749.940
Mantenimiento semestral de equipos	Meses	2,00	18.864
Mantenimiento mensual de equipos	Meses	12,00	77.169
Mantenimiento de infraestructura	Meses	12,00	141.477
Costo de servicios	Meses	12	10824027
Costo mano de obra	Meses	13,00	32.781.583
Depreciaciones del sistema			2.175.172,95
Subtotal costos operación			1.094.761.674
Imprevistos 3%			32.842.850
Total			1.127.604.524