

9  
12



Universidad Nacional  
Autónoma de México

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"CUAUTITLAN"



V N A M

**" CULTIVO COMERCIAL DEL CHAMPIÑON EN SUSTRATOS  
PREPARADOS CON ESTIERCOL DE CABALLO POR  
COMPOSTEO CORTO "**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERA AGRICOLA**

P R E S E N T A N

ALEJANDRA CONTRERAS MORENO

JOSE GOMEZ ROJAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. HERMILO LEAL LARA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	Pag.
INDICE DE FIGURAS -----	i
INDICE DE FIGURAS -----	iv
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE -----	v
1. INTRODUCCION -----	1
OBJETIVOS -----	3
1. REVISION DE CONDICIONES -----	4
2.1. Importancia de los hongos comestibles -----	4
2.1.1. Importancia de los hongos cultivados -----	4
2.1.2. Mercado mundial del champiñon -----	6
2.1.3. Valor alimenticio del champiñon -----	15
2.2. Aspectos biológicos -----	16
2.3. Proceso de cultivo de <i>Agaricus bisporus</i> -----	22
2.3.1. Preparación del sustrato o composteo -----	24
2.3.1.1. Materiales básicos utilizados -----	24
2.3.1.2. Ingredientes -----	27
2.3.1.3. Proceso de composteo -----	22
2.3.1.3.1. Fase I -----	33
2.3.1.3.2. Fase II -----	41
2.3.1.3.3. Métodos de composteo -----	46
2.3.1.3.3.1. Métodos de composteo largo -----	46
2.3.1.3.3.2. Métodos de composteo corto -----	47

2.3.1.3.2.1. Nuevos desarrollos en la preparación de sustratos por composteo lento	49
2.3.2. Etapas de cultivo	54
2.3.2.1. Inducción (estrella)	54
2.3.2.2. Propagación vegetativa (inoculación)	56
2.3.2.3. Cobertura	58
2.3.2.4. Inducción	62
2.3.2.5. Etapa generativa	63
III. MATERIALES Y MÉTODOS	68
3.1. Ubicación y características de la zona de realización del trabajo	68
3.1.1. Localización geográfica	68
3.1.2. Climatología	68
3.1.2.1. Condiciones medio ambientales de cultivo del champiñón	70
3.2. Materiales básicos y suplementos	71
3.3. Metodología	72
3.3.1. Determinaciones analíticas	73
3.3.1.1. Determinación de humedad	73
3.3.1.2. Determinación de nitrógeno (ácido nítrico)	73
3.3.1.3. Determinación de cenizas	75
3.3.2. Proceso de composteo utilizado	76
3.3.2.1. Fase I	76
3.3.2.2. Fase II	78
3.3.3. Cultivo	78

3.3.4. Diseño experimental	80
19. EXPERIENCIAS Y RESULTADOS	82
4.1. Utilización de estiércol fresco y almacenado en la preparación de sustratos	82
4.1.1. Composición y formulación de los estiércoles utilizados	83
4.1.2. Proceso de composteo	85
4.1.2.1. Fase I	85
4.1.2.2. Fase II	91
4.1.3. Rendimiento de estiércol a sustrato pasteurizado	96
4.1.4. Condiciones de cultivo	98
4.1.5. Productividad de los sustratos	101
4.2. Productividad de diferentes cepas de <i>Agaricus bisporus</i>	105
4.2.1. Características de las cepas empleadas	105
4.2.2. Procedimiento de composteo y cultivo	107
4.2.3. Productividad de cepas	108
V. DISCUSIÓN	111
5.1. Comparación de las productividades de sustratos preparados a partir de estiércol fresco y almacenado	112
5.1.1. Comparación de los estiércoles procesados	112
5.1.2. Contaminación	113
5.1.3. Composteo	114
5.1.4. Rendimiento de estiércol a sustrato pasteurizado	118
5.1.5. Productividad de cepas	121

V. Productividad de diferentes cepas de <i>H. diisporus</i> -----	127
VI. CONCLUSIONES -----	135
VII. BIBLIOGRAFIA -----	138
VIII. ANEXOS -----	144

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO NO. 1. PRODUCCION MUNDIAL DE HONGOS COMESTIBLES EN 1981 -----	5
CUADRO NO. 2. NOMBRES POPULARES Y CIENTIFICOS DE ALGUNOS HONGOS COMESTIBLES EN MEXICO -----	7
CUADRO NO. 3. EVOLUCION DEL CONSUMO TOTAL PER CAPITA DE CHAMPIÑONES EN LOS 16 PAISES CON MAYOR CONSUMO -----	8
CUADRO NO. 4. PRINCIPALES PAISES IMPORTADORES DE CHAMPIÑONES (ENLATADOS) -----	10
CUADRO NO. 5. PRINCIPALES PAISES EXPORTADORES DE CHAMPIÑONES (ENLATADOS) -----	11
CUADRO NO. 6. EVOLUCION DE LA PRODUCCION Y EXPORTACION DE CHAMPIÑONES EN HOLANDA -----	12
CUADRO NO. 7. EVOLUCION DE LAS IMPORTACIONES DE HONGOS EN CONSERVA A LOS E.U.A. Y PRODUCCION TOTAL DE CHAMPIÑONES (CONS.) -----	13
CUADRO NO. 8. EXPORTACIONES MEXICANAS DE HONGOS ENLATADOS (CONS.) -----	14
CUADRO NO. 9. CLASIFICACION DE LOS HONGOS COMESTIBLES SEGUN LA CAPACIDAD DE DEGRADACION DE LA MATERIA ORGANICA -----	18
CUADRO NO. 10. COMPOSICION DE LOS LOTES DE ESTIERCOL A, B Y C, Y FORMULACION LAS MEZCLAS DE ESTIERCOL DE CABALLO PARA LA PREPARACION DE COMUESTA -----	84

CUADRO No. 11.	
PROCEDIMIENTO DE COMPOSTEO (FASE I) PARA LA PREPARACION DEL LOTE A -----	86
CUADRO No. 12.	
PROCEDIMIENTO DE COMPOSTEO (FASE I) PARA LA PREPARACION DEL LOTE B -----	88
CUADRO No. 13.	
PROCEDIMIENTO DE COMPOSTEO (FASE I) PARA LA PREPARACION DEL LOTE C -----	90
CUADRO No. 14.	
CAMBIOS DE COMPOSICION EN LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C, DURANTE LA FASE I -----	92
CUADRO No. 15.	
CONDICIONES DE PASTEURIZACION Y ACONDICIONAMIENTO PARA LOS LOTES A, B Y C. -----	93
CUADRO No. 16.	
DATOS DE CONVERSION DE ESTIERCOL A SUSTRATO PASTEURIZADO -----	97
CUADRO No. 17.	
TEMPERATURAS REGISTRADAS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL CULTIVO DEL CHAMPIÑO EN LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C -----	100
CUADRO No. 18.	
PRODUCCION Y DURACION POR BROTE PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado con la cepa L) -----	103
CUADRO No. 19.	
PRODUCCION ACUMULADA Y DURACION POR BROTE PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado con la cepa L) -----	104



## Cuadro No. 20.

CARACTERISTICAS DE CEPAS DE *A. bisporus* EMPLEADAS PARA EVALUAR SU  
 PRODUCTIVIDAD ----- 106

## Cuadro No. 21.

PRODUCCION Y DURACION POR BROTE PARA DIFERENTES CEPAS DE  
*A. bisporus* (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato  
 inoculado) ----- 110

## Cuadro No. 22.

PRODUCCION ACUMULADA POR BROTE PARA DIFERENTES CEPAS DE *A.*  
*bisporus* Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL  
 (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado) ----- 111

## Cuadro No. 23.

CONVERSION DE ESTIERCO A SUSTRATO PASTEURIZADO (SUSTRATO II) --- 120

## Cuadro No. 24.

PRODUCCION SEMANAL PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C, Y SU  
 RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo  
 fresco por tonelada de sustrato inoculado) ----- 123

## Cuadro No. 25.

PRODUCCION ACUMULADA SEMANAL PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B  
 Y C, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL  
 (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado) ----- 124

## Cuadro No. 26.

PRODUCCION SEMANAL PARA DIFERENTES CEPAS DE *A. bisporus* Y SU  
 RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo  
 fresco por tonelada de sustrato inoculado) ----- 130

## Cuadro No. 27.

PRODUCCION ACUMULADA SEMANAL PARA DIFERENTES CEPAS DE *A. bisporus*  
 Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de  
 hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado) ----- 131

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA No. 1. EFFECTO DE VIDA DEL CHAMPIÑON ( <i>Agaricus bisporus</i> )	20
FIGURA No. 2. ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE CULTIVO DEL CHAMPIÑON	23
FIGURA No. 3. ZONIFICACION DE TEMPERATURAS EN UNA PILA DE COMPOSTA	37
FIGURA No. 4. EFFECTO DE HUMEDAD EN UNA PILA DE COMPOSTA	40
FIGURA No. 5. ZONIFICACION DE TEMPERATURAS EN UNA PILA DURANTE EL COMPOSTEO LARGO	48
FIGURA No. 6. ZONIFICACION DE TEMPERATURAS EN UNA PILA DURANTE EL COMPOSTEO CORTO	50
FIGURA No. 7. DESARROLLO DE <i>Agaricus bisporus</i> DESDE QUE EMERGE EN LA COMPOSTA HASTA SU MAXIMO CRECIMIENTO	64
FIGURA No. 8. TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS PROMEDIOS PARA LA ZONA DE ESTUDIO Y CERCEDIO DE 10 ANOS, ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HAITI (No. 1)	69
FIGURA No. 9. EVOLUCION DE TEMPERATURAS DURANTE LA FASE II DE COMPOSTEO PARA LOS CILES No. B y C	95

## I N D I C E D E C U A D R O S D E L A F E N D I C E

	Pág.
CUADRO A-1. TEMPERATURAS PROMEDIOS MENSUALES (°C.). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS -----	144
CUADRO A-2. FRECUENCIA DE LUNAS DE LUNA (días). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS -----	145
CUADRO A-3. TEMPERATURAS MINIMAS EXTREMAS (°C.). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS -----	147
CUADRO A-4. TEMPERATURAS MAXIMAS EXTREMAS (°C.). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS -----	148
CUADRO A-5. OSCILACION DE TEMPERATURAS (°C.). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS -----	149
CUADRO A-6. NUMERO DE HELADAS REGISTRADAS EN UN PERIODO DE 5 AÑOS. ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS -----	150
CUADRO A-7. PROBABILIDAD DE LA COMPOSTA DEL COTE A, POR BOLSA DE 50 Kg. Y POR TONELADA DE SOSTRATO INOCULADO CON LA CEFA C. -----	151
CUADRO A-8. PROBABILIDAD DE LA COMPOSTA DEL COTE B, POR BOLSA DE 50 Kg. Y POR TONELADA DE SOSTRATO INOCULADO CON LA CEFA C. -----	153

## CUADRO A-10.

PRODUCTIVIDAD DE LA COMPOSTA DEL LOTE C, POR BOLSA DE 30 Kg. Y  
 POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO CON LA CEPA L ----- 155

## CUADRO A-11.

PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA H-1 POR BOLSA DE 30 Kg. Y POR TONELADA  
 DE SUSTRATO INOCULADO ----- 157

## CUADRO A-12.

PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA H-4 POR BOLSA DE 30 Kg. Y POR TONELADA  
 DE SUSTRATO INOCULADO ----- 158

## CUADRO A-13.

PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA H-11 POR BOLSA DE 30 Kg. Y POR TONELADA  
 DE SUSTRATO INOCULADO ----- 160

## CUADRO A-14.

PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA H-2 POR BOLSA DE 30 Kg. Y POR TONELADA  
 DE SUSTRATO INOCULADO ----- 162

## I. INTRODUCCION.

El hongo *Agaricus sp.* conocido comunmente como champiñon, es una especie comestible cuyo cultivo artificial se inicio en Francia en el siglo VII. Posteriormente su cultivo se extendio a diferentes paises del mundo (Atkins, 1961).

La industria del champiñon en Europa y Estados Unidos de America comenzo a desarrollarse en el año de 1870, y despues de 1900 logro importantes avances tecnicos y cientificos. Para el año de 1960 la iniciativa privada y el gobierno de los Estados Unidos de America y algunos paises europeos, impulsaron ampliamente el desarrollo de esta industria (López, 1986).

El cultivo del champiñon inicia en Mexico hasta el año de 1955, y por tratarse de un cultivo nuevo, se importó tecnología y materiales de inoculación. Las investigaciones científicas y tecnológicas sobre el cultivo del champiñon u otros hongos comestibles han sido sumamente escasas, no obstante la riqueza micológica de nuestro país, y su tradición ancestral para su consumo.

En la actualidad, el cultivo de hongos en Mexico, está confinado a los industriales que cuentan con el capital necesario para importar la tecnología, técnicos e inóculos. Los pocos productores existentes mantienen un gran hermetismo en esta actividad, pues temen que se incremente la competencia. Es indispensable por ello, desarrollar programas de investigación biotecnológica en esta área, con el fin de

incrementar la industria del champiñón en nuestro país, y hacerla más competitiva, para satisfacer el mercado nacional y realizar exportaciones al mercado norteamericano (U.S.A.), aprovechando la cercanía y demanda existente por este producto en este país.

Es importante entonces, utilizar la tecnología desarrollada en otros países, adoptándola y modificándola de acuerdo a las condiciones locales de nuestro país. Considerando lo anterior, se decidió trabajar sobre el cultivo del champiñón, aprovechando la oportunidad que nos proporcionó la empresa champiñonera INTECHLI S.A. para desarrollar el presente trabajo; con el objetivo principal de conocer y proporcionar información sobre el proceso de cultivo de este hongo.

Siendo la producción de sustrato el punto de partida del proceso productivo del champiñón, se determinó trabajar específicamente en la preparación de sustratos, utilizando como materia básica el estiércol de caballo; tomando en cuenta su bajo costo y continua disponibilidad durante todo el año, en la zona en donde se encuentra ubicada la empresa champiñonera. Además se consideró oportuno evaluar el rendimiento de cinco cepas disponibles de *Agaricus bisporus* sobre el sustrato preparado.

## OBJETIVOS

- Conocer la tecnología en la preparación de composta, para el cultivo comercial del hongo comestible *Agaricus bisporus*, utilizando como material básico al estiércol de caballo, empleando un método de composteo corto.
- Evaluar la productividad de estiércol de caballo con diferente tiempo de almacenamiento, en base a Kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado.
- Evaluar el rendimiento de diferentes cepas de *Agaricus bisporus*, en composta de estiércol de caballo por composteo corto.

## 11. REVISION DE LITERATURA.

### 2.1. Importancia de los hongos comestibles.

#### 2.1.1. Principales hongos cultivados.

A nivel mundial, el consumo de hongos comestibles como fuente de alimento es muy antiguo. Las especies *Lentinus edodes* y *Volvariella volvacea* se consumen desde hace más de 2,000 años en los países asiáticos como producto de un cultivo artificial. La especie *Agaricus sp.* comenzó a cultivarse en el siglo XVII en Francia. Mas recientemente otras especies como *Pleurotus ostreatus*, han entrado al grupo de los hongos cultivados.

En el Cuadro 1 se pueden apreciar los volúmenes de producción de los principales hongos comestibles cultivados actualmente. *Agaricus bisporus* es el más importante en función de los volúmenes de producción y la amplia distribución de las zonas en donde se le cultiva. La producción del shiitake u hongo japonés también es notable, aunque su consumo no es tan generalizado como el del champiñón, siendo Japón el principal centro de consumo. De igual manera la mayoría de las otras especies de hongos comestibles son cultivadas y consumidas principalmente en los países asiáticos. Una excepción es el caso del *Pleurotus ostreatus* cultivado y consumido cada vez más ampliamente en Europa y Estados Unidos de América (Leal, 1985).



CUADRO 1. PRODUCCION MUNDIAL DE HONGOS COMESTIBLES EN 1981.

Especie	Nombre comun	Distribución (países)	Volumen (Ton.)
<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon	Mundial	750,000
<i>Leucinus edodes</i>	Shiitake	Japón, Asia Oriental	180,000
<i>Volvariella volvacea</i>	Hongo chino	Asia Oriental Tropical	65,000
<i>Flamulina velutipes</i>	Hongo de invierno	Japón, Taiwan	65,000
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Hongo ostión	Mundial	40,000
<i>Pholiota nameko</i>	Nameko	Japón	29,000
<i>Auricularia sp.</i>	Auricularia	Japón, Taiwan	12,000
Ótras			3,000
<b>Total</b>			<b>1,135,000</b>

Fuente: Delweg, 1983.

En México, el consumo de hongos comestibles es una tradición que data de siglos, y ha quedado plasmada en los códices indígenas y en las crónicas y escritos de la época de la colonia (Guzmán, 1984).

Guzmán (1977) registró más de 400 nombres populares de hongos comestibles en México, que representan aproximadamente 200 especies.

El cultivo de hongos comestibles, representa una gran potencialidad en nuestro país, dada su riqueza micológica (ver Cuadro 2) y la amplia gama de microclimas existentes; aunado a ello, la gran tradición micófaga del mexicano. No obstante, las investigaciones científicas y tecnológicas que pudieran contribuir al desarrollo del cultivo de hongos en nuestro país han sido muy escasas (Leal, 1985).

Actualmente, en México se cultivan dos especies de hongos: *Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus*, imperando en un alto grado el empirismo, debido principalmente, al escaso nivel de conocimiento científico en esta área.

#### 2.1.2. Mercado mundial del champiñón.

La evolución del consumo del champiñón (per capita) en los principales países consumidores, se presenta en el Cuadro 3. El estándar de vida, en este caso el producto interno bruto, se encuentra íntimamente ligado a los niveles de consumo per capita, en parte como resultado del precio internacional del producto. El consumo de este hongo ha mostrado un incremento importante en cada uno de los países consumidores. Se encuentra a la cabeza Alemania, Bélgica, Francia, Suiza y Canadá, con consumos per capita por arriba de los dos

CUADRO 2. NOMBRES POPULARES Y CIENTÍFICOS DE ALGUNOS HONGOS COMESTIBLES EN MÉXICO.

Nombre científico	Nombre común
<i>Agaricus silvaticus</i>	San Juanero, ojo de venado, hongos de basura.
<i>Amanita caesarea</i>	Iecomate.
<i>Amanita rubescens</i>	Mantecoso, amantecado.
<i>Amillariella mellea</i>	Alachnos, alachitos, sopitza.
<i>Boletus aestivalis</i>	Pancitas, pambazos.
<i>Boletus pinicula</i> , <i>B. edulis</i>	Pancitas, panzas.
<i>Cantharellus cibarius</i>	Amarillo, suchil.
<i>Clavaria botrytis</i> , <i>C. aurea</i>	Escobeta, pachuca.
<i>Clitocybe claviceps</i>	Censos, pata de chivo, chivitos.
<i>Clitocybe infundibuliformis</i>	Pata de pájaro.
<i>Gomphus floccosus</i>	Trompeta.
<i>Helvea crispa</i>	Orejitas de ratón.
<i>Helvea lacunosa</i>	Chile selo, chilpocitos.
<i>Hygrophorus chrysodon</i>	Gachupín.
<i>Hypomyces lactifluorum</i>	Enchilado, trompa roja.
<i>Laccaria laccata</i>	Socoyul, socoyulillos.
<i>Lactarius indigo</i>	Azul, quesque.
<i>Lactarius salmonicolor</i>	Carpintero.
<i>Lentinus lepideus</i>	Pachuca.
<i>Lyophyllum decastes</i>	Hongo de maizorca, cocochonito.
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Hongo de maquey, oreja de cazahuate.
<i>Russula brevipes</i>	Trompas, trompa de cochino.
<i>Ustilago maydis</i>	Mutiacoche.

Fuente: López, 1986.

CUADRO 3. EVOLUCION DEL CONSUMO TOTAL PER CAPITA DE CHAMPINON EN LOS  
16 PAISES CON MAYOR CONSUMO (GRAMOS DE PRODUCTO FRESCO  
EQUIVALENTE).

País	1960	1965	1970	1972	1974	Demanda Total	
						1980	1974 (Tons.)
Alemania Occidental	150	530	1150	1700	2020	2450	125,551
Bélgica	440	730	880	930	1560	2000	15,273
Dinamarca	390	790	950	1070	1350	1800	6,840
Francia	700	850	1020	1420	1440	2100	75,580
Gran Bretaña	300	470	740	880	980	1580	54,990
Italia	40	140	370	590	700	1050	38,912
Holanda	110	500	560	860	950	1350	12,862
Suecia	220	410	650	840	1100	1460	8,952
Suiza	330	570	920	1140	1340	2250	8,615
España	20	80	120	210	400	1180	13,810
Austria	100	360	450	590	760	ND	5,300
Irlanda	140	200	400	480	660	ND	8,830
Australia	100	140	260	440	620	660	1,900
Nueva Zelanda	90	230	440	390	470	ND	1,400
Canada	250	490	750	1300	1450	2000	32,800
Estados Unidos	290	380	510	680	730	1200	155,045

ND = No disponible.

Fuente: Chang & Hayes, 1978.

kilogramos anuales. En los Estados Unidos no se presenta un gran consumo per cápita, sin embargo, en términos de volúmenes totales de importación se encuentra después de Alemania Occidental, Canadá, Suecia y Japón (ver cuadro 4).

En términos de exportación los principales países exportadores de champiñón son China, Holanda, Francia, Taiwan, Hong Kong y Corea del Sur (ver Cuadro 5). Holanda y Francia, surten preferentemente el mercado europeo, y los países asiáticos principalmente al mercado americano (ver Cuadros 6 y 7). El sistema de producción empleado por estos países es radicalmente diferente; en Holanda, por ejemplo, el sistema de producción es muy tecnificado mediante una organización cooperativista. Por otro lado, en China y Taiwan se hace uso intensivo de mano de obra barata, aprovechando las condiciones climáticas favorables para llevar el cultivo bajo condiciones rudimentarias.

Considerando el incremento en la demanda del producto fresco y enlatado en el mercado Americano (ver Cuadros 4 y 7), resulta interesante para México desarrollar el cultivo de champiñones bajo un sistema de producción semejante a China y Taiwan. En este caso, la cercanía del mercado representa un factor muy favorable, que permitiría que la exportación de champiñones representara una fuente importante de divisas. Se ha intentado la exportación de champiñones pero en volúmenes muy reducidos, como se aprecia en el Cuadro 8. Para efectuarla más ampliamente, es indispensable difundir la tecnología que existe actualmente, sin embargo, en México existe un gran hermetismo en esta actividad, los pocos productores existentes

COMPROB. PRINCIPALES PAISES IMPORTADORES DE CHAMPiNONES (ENLATADOS).

PAIS	VOLUMENES DE IMPORTACION (Tons.)				
	1976	1977	1980	1981	1982
Alemania Occidental	73,300	114,700	112,400	119,700	110,500
Estados Unidos	51,000	58,500	84,500	83,600	73,900
Canada	15,000	22,300	25,000	27,100	26,500
Suecia	9,400	8,500	11,800	11,600	12,700
Japón	5,900	8,900	11,600	10,600	13,100
Total	174,600	221,300	245,100	232,800	236,700

Fuente: USDA, 1983. The Mushroom Journal.

CUADRO 5. PRINCIPALES PAISES EXPORTADORES DE CHAMPIÑONES (ENLATADOS).

País	Volumenes de exportación (Tons.)				
	1976	1978	1980	1981	1982
China	30,000	30,000	65,000	73,500	75,800
Holanda	31,400	37,900	48,900	55,400	61,200
Francia	51,500	59,200	49,300	50,000	48,300
Taiwan	48,500	67,700	66,500	35,400	48,000
Hong Kong	26,700	9,200	18,300	25,900	19,200
Corea del Sur	28,600	44,800	19,700	15,400	12,200
Total	216,500	238,900	267,500	255,600	265,700

Fuente: USDA, 1983. The Mushroom Journal.

CUADRO 6. EVOLUCION DE LA PRODUCCION Y EXPORTACION DE CHAMPIONES EN HOLANDA.

	1979	1980	1981	1982	1983
PRODUCCION TOTAL	---	---	---	75,000	81,000
EXPORTACION TOTAL	44,698	48,900	55,444	61,207	73,937
EXPORTADO A:					
Alemania Occidental	40,511	42,807	47,553	50,580	57,437
Bélgica/Luxemburgo	2,753	3,657	4,166	4,863	5,274
Inglaterra	323	742	1,072	1,269	1,640
Dinamarca	665	833	1,272	1,441	1,994
Suecia	182	207	236	116	108
Austria	51	48	33	19	119
Suiza	---	11	---	17	114
Francia	68	42	282	1,431	2,661
Italia	50	107	665	1,355	2,205
Islandia	8	31	29	33	43
Estados Unidos	---	---	---	---	1,008
Otros	37	415	148	143	225

Fuente: Der Champion. Feb., 1984.



CUADRO 7. EVOLUCION DE LAS IMPORTACIONES DE HONGOS EN CONSERVA A LOS  
 EDA Y PRODUCCION TOTAL DE CHAMPIÑONES (tons.).

Importacion de hongos enlatados	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83
TOTAL IMPORADO	59,138	51,518	45,812	43,010	52,006
<u>Procedencia:</u>					
China	25	1,941	9,177	14,803	19,475
Taiwan	14,126	27,824	17,909	13,719	18,927
Hong Kong	5,726	7,969	9,715	9,698	7,607
Corea del Sur	12,259	11,770	5,111	2,965	3,395
Macao	ND	ND	ND	423	1,778
Otros	2,004	2,075	1,900	1,402	824
<u>Produccion local de champiñones</u>					
PRODUCCION TOTAL (1000 tons.)	206	213	217	ND	223
<u>VALOR DE LA PRODUCCION (10<sup>6</sup> US dolares)</u>					
Producto fresco	217	226	267	ND	431
Producto enlatado	144	142	83	ND	ND
Total	361	368	350	ND	ND

ND = No disponible.

Fuente: Der Champignon, Feb., 1984; USDA, 1980.

CUADRO B. EXPORTACIONES MEXICANAS DE HONDOS ENLATADOS (Tons.).

AÑO	DESTINO				Total
	Bélice	Brasil	Canadá	E.U.A.	
1973	---	4.71	2.3	613.78	619
1974	---	---	---	245.59	245.6
1976	---	---	---	---	---
1977	---	---	---	36.60	36.6
1978	---	---	---	---	---
1979	1.53	---	---	7.94	9.48
1980	0.40	---	---	101.00	101.40
1981	---	---	---	78.15	78.15
1982	5.00	---	---	---	5.00
1983	---	---	---	12.24	12.24

Fuente: IMCE.

rechazan un contacto abierto con la publicidad, por temor a que la competencia se incremente (Leal, 1985).

### 2.1.3. Valor alimenticio del champiñón.

A los hongos comestibles se les ha considerado generalmente, como un complemento o ingrediente de diferentes platillos y no tanto como alimento de consumo frecuente. Sin embargo, su importancia en la alimentación debe aumentar, dadas sus excelentes cualidades organolépticas, agradable sabor y fina textura, así como su calidad nutritiva y efectos benéficos para la salud (Leal, 1985).

*Agaricus bisporus* contiene aproximadamente 82 a 85 % de humedad, valor similar al de la mayoría de los vegetales. Los esporocorios de esta especie contienen todos los aminoácidos esenciales, siendo particularmente ricas en lisina y leucina, las cuales son deficientes en la mayoría de los granos básicos. Sin embargo, la metionina y la cistina presentes en las proteínas de la carne se encuentran en bajas cantidades. Esto sitúa al champiñón en una posición intermedia entre los vegetales y los productos de origen animal (Chang, 1980).

El contenido de carbohidratos en el champiñón oscila entre 3.5 y 5 %. Es pobre en materias grasas, sin embargo es rico en potasio, fósforo, hierro y manganeso. Se encuentran altos contenidos de vitaminas del complejo B, principalmente ácido fólico, muy raro de encontrar en las hortalizas. Por ejemplo, la espinaca que puede estimular la curación de algunos casos de anemia. Asimismo, están presentes las vitaminas C (ácido ascórbico) y B<sub>12</sub> (vitamina

(ergosterina) (Vedder, 1978).

## 2.2. Aspectos biológicos.

En la naturaleza se pueden encontrar cultivos casi puros de hongos comestibles en diversos tipos de ecosistemas. Este fenómeno resulta muy interesante, pues su crecimiento es relativamente lento en comparación con microorganismos como las bacterias y mohos, que presentan una distribución en la naturaleza mucho más amplia y que fácilmente podrían contaminar tales cultivos. Esto no sucede debido a la conjunción de un número de condiciones ambientales, que inhiben el desarrollo de microorganismos competitivos. Estos factores ambientales son tanto físicos como químicos, y deben definirse para cada tipo de hongo comestible, con el fin de poder desarrollar una tecnología para su cultivo artificial. Esta tarea es muy amplia y requiere tiempo, debido a la extensa variedad de habitats en la que se desarrollan estos hongos, lo cual implica diferentes tipos de fisiologías (Leal, 1985).

Los hongos comestibles como cualquier organismo viviente requieren de ciertos nutrientes para su desarrollo. Los más importantes son los que proporcionan las fuentes de energía y carbono. Los organismos autótrofos (vegetales verdes), son capaces de sintetizar sus propios hidratos de carbono a partir de dióxido de carbono utilizando la luz solar como fuente de energía. Mientras en los organismos heterótrofos (entre ellos los hongos comestibles) la oxidación de los sustratos orgánicos constituye su fuente de energía y

de carbono. Al no poder elaborar sus alimentos, como hacen las plantas verdes, los hongos deben tomarlo ya elaborado de otro organismo. Si se alimentan de organismos muertos se conocen como saprófitos, por ejemplo, el champiñón, el shiitake, etc. Si se alimentan de células vivas se les denomina parásitos, por ejemplo, el hongo *Ustilago maidis*, también se asocian con las plantas, formando lo que se llama simbiosis, ejemplo de ello son las trufas.

A los hongos se les puede clasificar en degradadores primarios, secundarios y continuos, dependiendo del estado de degradación de la materia orgánica que utilicen como nutriente. Los degradadores primarios son los responsables de iniciar la descomposición de los residuos vegetales en la naturaleza, muchos de ellos, son específicos para materia orgánica intacta. Algunas especies atacan carbonohidratos de fácil degradación (hongos de pudrición blanda), otros degradan a los polisacáridos, celulosa y hemicelulosa (hongos de pudrición oscura) y algunos inclusive degradan la lignina (hongos de pudrición blanca). En el Cuadro 9 se indica el grupo al que pertenecen algunos hongos comestibles (Leal, 1985).

De todos los tipos de hongos comestibles, únicamente se cultiva artificialmente a los que se encuentran dentro del grupo de los saprófitos. Esto se debe a que sus requerimientos fisiológicos y ecológicos son más simples que los que pertenecen al grupo de los hongos parásitos y simbióticos, los cuales se desarrollan en ecosistemas más complejos y son menos conocidos. El hongo comestible más cultivado es *Agaricus bisporus*, siendo el más ampliamente

CUADRO 9. CLASIFICACION DE LOS HONGOS COMESTIBLES SEGUN LA CAPACIDAD DE DEGRADACION DE LA MATERIA ORGANICA.

Tipo de nutrición	Hongos comestibles (género)
<u>Blanda</u> (Atacan carbohidratos de fácil degradación)	<i>Lepiota, Lepista, Morchella</i> <i>v Gyromitra.</i>
<u>Oscura</u> (Degradan a los polisacáridos, celulosa y hemicelulosa)	<i>Volvariella, Coprinus,</i> <i>Stropharia y Agaricus.</i>
<u>Blanca</u> (Pueden degradar inclusive a la lignina)	<i>Lentinus, Pleurotus,</i> <i>Flammulina, Auricularia,</i> <i>Pholiota, Tremella, Agrocybe,</i> <i>Ganoderma, Coprinus.</i>

fuentes: Leal, 1985.

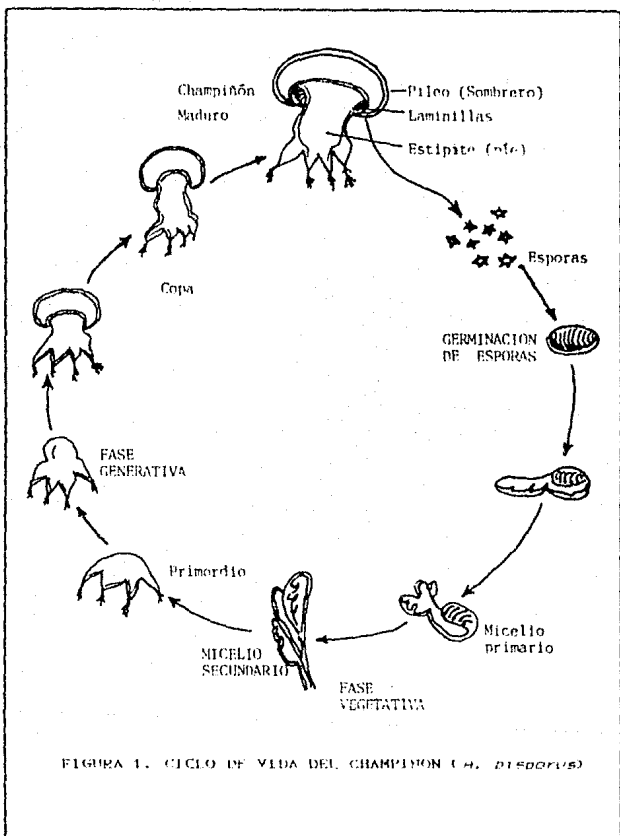
estudiado en su fisiología y ecología (Gee, 1955).

El cultivo comercial de este hongo, consiste en el establecimiento de condiciones nutricionales y ambientales semejantes a las de la ecología donde se presenta su desarrollo natural. Es necesario primeramente, preparar un sustrato con las características físicas, químicas y microbiológicas que permitan el desarrollo del micelio del hongo. Posteriormente, es preciso establecer las condiciones medio ambientales apropiadas para que sobre ese sustrato, se lleven a cabo cada una de las fases de su ciclo de vida.

*Agaricus sp.* se encuentra en la naturaleza en el suelo de los bosques de zonas templadas, ricos en materia orgánica en donde encuentra los nutrientes adecuados. Normalmente en el otoño se presentan las condiciones ambientales apropiadas (temperatura, humedad ambiental, ventilación, etc.) para el desarrollo de sus esporóforos.

El ciclo de vida del champiñón es una sucesión de etapas, que va desde la germinación de sus esporas, hasta la formación de los cuerpos fructificantes. En la Figura 1 se ilustra el ciclo de vida de este hongo y sus estructuras en las diferentes etapas de su desarrollo.

Bajo condiciones adecuadas (humedad, temperatura, pH del sustrato) las esporas germinan, desarrollando un tubo germinal que crece y origina una hifa. Esta hifa se ramifica desarrollando en su conjunto el micelio primario, el que continúa ramificándose a micelio secundario. El micelio es funcionalmente similar al sistema reticular de los vegetales, ya que la absorción de nutrientes se efectúa por este medio, además tiene la función de anclar los esporóforos al





substrato. Esta primera etapa de crecimiento micelial es conocida como fase vegetativa. El cambio en las condiciones ambientales (temperatura, humedad y ventilación) induce a este organismo a pasar de un desarrollo vegetativo a uno generativo (fase generativa). Posteriormente se forman los micelios que crecen y dan origen a la estructura visible, comúnmente conocida como hongo o champiñón, y científicamente como cuerpo fructificante o esporocorio. Cuando madura el esporocorio se producen las esporas sexuales en la parte inferior del sombrero.

Los nutrientes necesarios para el crecimiento del champiñón son fundamentalmente: carbohidratos, nitrógeno y minerales. Durante su fase vegetativa metaboliza preferentemente lignina, y en su fase generativa metaboliza principalmente polisacáridos (almidón, celulosa, hemicelulosa y pectinas) (Leal, 1985). El requerimiento de nitrógeno del champiñón es muy específico, el cual debe ser suministrado como compuestos proteicos preferentemente. La presencia de nitrógeno amoniacal debe restringirse totalmente, ya que *A. bisporus* es sumamente sensible a este. Los requerimientos de minerales para este hongo, no son por lo general muy importantes, siendo el calcio el que presenta un mayor efecto (Vender, 1979).

Una vez resueltas las demandas nutricionales para el desarrollo del hongo, las condiciones ambientales deben encontrarse dentro de un cierto rango para que las diferentes fases de su desarrollo puedan llevarse a cabo. Los parámetros ambientales que ejercen una mayor influencia son: temperatura, humedad y nivel de aereación del

ambiente, así como el pH del sustrato. La temperatura óptima para el desarrollo vegetativo del champiñón es de 14 a 20°C. Mientras que para la fase generativa ésta debe ser menor, entre 16 y 18°C. En relación con los niveles de humedad, ésta debe oscilar entre 65 y 70 % para el sustrato en donde se desarrolla. La humedad del aire a su vez, debe fluctuar entre 90 y 95 % durante la propagación vegetativa, y entre 80 y 85 % para la formación final de los esporos. El nivel de ventilación es un aspecto de suma importancia; durante la fase generativa, el CO<sub>2</sub> inhibe la fructificación; 0.5 % de CO<sub>2</sub> en el aire produce un retraso de la formación de botones, y una concentración de 1 % ocasiona deformaciones en las estructuras reproductivas. Este es un factor crucial que es regulado manipulando el régimen de ventilación en la zona de cultivo. Mayores niveles de CO<sub>2</sub> en el aire implica una mayor ventilación.

El valor del pH en la composta representa otro factor ambiental de importancia. Este debe estar cerca de la neutralidad para un óptimo desarrollo del micelio de *Agaricus bisporus*.

### 2.3. Proceso de cultivo de *Agaricus bisporus*

El proceso de cultivo de este hongos, se inicia con la preparación del sustrato o composta; en donde se desarrolla su micelio, y de donde toma los nutrientes necesarios para su propagación y producción de cuerpos fructíferos. En la Figura 2 se indica el proceso general de cultivo del champiñón que a continuación se describe.

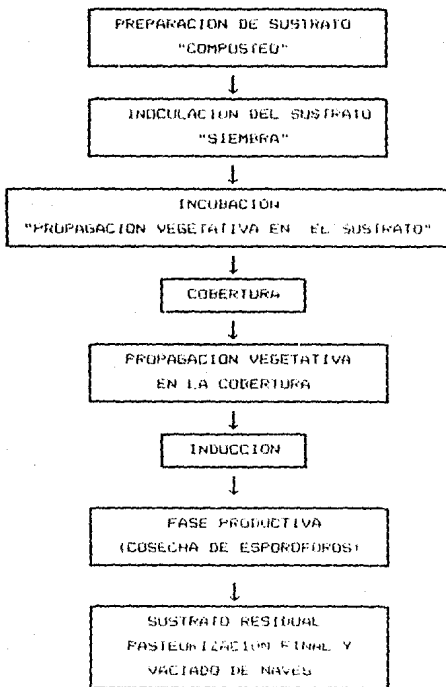


FIGURA 2. PROCESO GENERAL DE CULTIVO DEL CHAMPINON.

### 2.3.1. Preparación del sustrato o composteo.

El composteo consiste en la fermentación de materiales orgánicos, para liberar y transformar las materias nutritivas presentes en los mismos, para poder suministrarlas al champiñón bajo una forma adecuada (Vedder, 1979).

El sustrato para *Agaricus bisporus* es preparado de una mezcla de materias orgánicas, las cuales son sometidas a un proceso de composteo (Gerrits, 1984).

El composteo es un proceso dinámico de naturaleza química y biológica con un gran número de variables (Carapiet, 1985).

#### 2.3.1.1. Materiales básicos utilizados.

En la preparación de sustratos para el champiñón, se pueden utilizar una amplia gama de desperdicios de origen vegetal o animal (Vedder, 1979). El material básico para este hongo ha sido el estiércol de caballo desde hace dos siglos (Peerally, 1981).

El estiércol de caballo es obtenido de las cuadras de caballos, y aun cuando los cultivadores le dan ese nombre, el material contiene aproximadamente 90 % de paja y 10 % de estiércol. Este estiércol incluye las heces, orina y la paja que ha sido utilizada como cama en los establos, y la calidad de este material depende de las proporciones en que se presentan estos 3 componentes (Gerrits, 1984).

La composición del estiércol depende de la alimentación del caballo, el sistema de establo, tipo de cama utilizada, frecuencia de

sacado del estiércol, etc.. A este respecto, en el cultivo de champiñones, se hace una distinción entre estiércol pobre o ligero (con mucha paja) y estiércol pesado (con poca paja) (Gerrits, 1984).

Se considera generalmente, que el estiércol debe ser fresco y no viejo o almacenado. Esto es posible cuando los establos son regularmente limpiados, lo cual también asegura un suministro regular de estiércol a la empresa composteadora (Atkins, 1961). Vedder (1979), señala que el mejor estiércol de caballo y el que menos problemas presenta durante el composteo es el estiércol ligero y fresco: con abundante paja larga, que contenga excrementos y paja impregnada con orina. El estiércol viejo da malos resultados, pues durante su almacenamiento se presenta una fermentación seca que hace a la paja muy blanda, tornándose pegajosa y pesada cuando se le da suficiente agua al estiércol.

La paja de trigo, centeno, cebada y avena utilizada como cama en los establos, suministra a la composta los carbohidratos básicos para la nutrición del hongo. La paja de trigo contiene aproximadamente 30 % de celulosa, 25 % de pentosas y 10 % de lignina. La celulosa y pentosas son descompuestas a azúcares simples que suministran la energía para el crecimiento microbiológico. La lignina es un material altamente resistente, que durante el composteo es convertido al complejo nitrógeno-lignina-humus, que funciona como una fuente de proteínas para *A. bisporus*.

La paja de trigo es preferida debido a su mayor resistencia natural que ayuda a proveer de una buena estructura a la composta.

Otros tipos de pajas, como la avena y cebada, en particular, pierden estructura y tienden a sobrehumedecerse, creando condiciones anaeróbicas, no favorables durante el composteo. Pero cuidando estos factores y con un manejo adecuado, cualquier tipo de paja puede ser utilizada obteniendo buenos resultados.

La presencia y el balance adecuado de los diferentes nutrientes requeridos por el champiñón, es la razón por la cual el estiércol de caballo es un material favorable para el composteo. Las heces de caballo son una fuente de nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales. La paja a su vez, contiene carbohidratos y en las heces viven microorganismos que aceleran el proceso de composteo. Es por ello que este material tiene una ventaja decisiva frente a otros materiales (Stamets & Chilton).

De acuerdo con el tipo de material utilizado para la preparación de sustratos, la composta se conoce como: "Composta de estiércol de caballo" o "Composta clásica" cuando el material básico es el estiércol de caballo. "Composta sintética" se conoce a la composta donde las pajas representan el material básico sin hacer uso de estiércol de caballo. La "Composta mixta" es una mezcla de estiércol de caballo y paja, preferentemente con pollinaza.

La rápida expansión del champiñón a nivel mundial y la escasez de estiércol de caballo, estimularon a varios investigadores a estudiar la posibilidad de usar paja para la preparación de "Composta sintética": Lambert, 1929; Waksman & Wenzler, 1934; Demelon et. al. 1973; Stoller, 1943; Edwards, 1949; Sinden, 1946; Gerrits, 1974;

Overstijns, 1978).

Con el transcurso de los años se han desarrollado diferentes alternativas. Así, la paja de arroz es considerada como el mejor material en la preparación de composta para *Agaricus* en todas las ciudades productoras de arroz (China, Indonesia, Filipinas, Corea y Taiwan) (Ukashashi, 1978).

En Holanda, Gerrits (1974) estudió el desarrollo de una composta sintética basada en paja de trigo y estiércol de pollo. Particularmente para la composta sintética en base a paja, el estiércol de pollo es indispensable por su alto contenido de nitrógeno, aparte de que representa también una fuente rica de microorganismos (Overstijns, 1978).

Otros investigadores en diversos países han probado los materiales disponibles localmente. Dawson (1978) ha utilizado con éxito el estiércol de vaca como fuente de nitrógeno.

Peareilly (1981), utilizó el bagazo y la paja de caña de azúcar; con el primer material obtuvo pobres resultados, pero con la paja, éstos mejoraron.

### 3.3.1.2. Suplementos.

Durante el desarrollo del composteo, la población microbiana juega un papel muy importante. Esta se encuentra presente en grandes cantidades en los estiércoles de los animales, y requiere de la presencia del agua para llegar a ser activa. Para estimular su

actividad y facilitar el inicio del proceso de fermentación, los materiales básicos son suplementados con alguna fuente de nitrógeno y carbohidratos fácilmente disponibles (Wuest, 1972; Vedber, 1974).

Una amplia gama de materiales han sido probados como suplementos en la elaboración de diferentes tipos de composta. A continuación se indican los más utilizados, agrupándolos de acuerdo a su contenido de nitrógeno (Stamets & Chilton, 1983).

**GRUPO I Alto contenido de nitrógeno.**

Sulfato de amonio	21 %
Nitrato de amonio	26 %
Urea	46 %

**GRUPO II 10 - 14 % de nitrógeno.**

Harina de sangre	13.5 %
Harina de pescado	10.5 %

**GRUPO III 3 - 7 % de nitrógeno.**

Cebada germinada	45 %
Residuos de cerveza	3.5 %
Harina de semilla de algodón	6.5 %
Harina de cacahuete	6.5 %
Estiércol de pollo	3-6 %

**GRUPO IV De bajo contenido de nitrógeno y alto contenido de carbohidratos.**

Bagaço de uva	1.5 %
Pulpa de remolacha	1.5 %
Pulpa de papa	1.0 %
Bagaço de manzana	0.7 %
Melaza	0.5 %
Cáscara de semilla de algodón	1 %



GRUPO V Muy bajo contenido de nitrógeno.

Estiércol de vaca	0.5 %
Estiércol de cerdo	0.3 - 0.8 %

GRUPO VI Heno 2 - 2.5 % de nitrógeno.

Alfalfa	2.0 - 2.5 %
Trébol	2 %

GRUPO VII Sin contenido de nitrógeno.

Yeso  
CaCO<sub>3</sub>

Los suplementos del grupo I son ampliamente utilizados proporcionando nitrógeno a la composta, por medio de una rápida descomposición y liberación de amoníaco. Los suplementos del grupo II son escasamente empleados debido a su alto costo, mientras que los del grupo III, son generalmente usados por los cultivadores en el mundo, pues proporcionan un balance adecuado de carbono y nitrógeno.

Los suplementos del grupo IV se aplican principalmente como fuente de carbohidratos fácilmente disponibles, con el fin de incrementar la temperatura de la composta a través de la gran actividad microbiana. Varios investigadores han estudiado la influencia de suplementar a la composta con carbohidratos fácilmente asimilables (Hayes & Randle (1968), Laborde & Delmas (1969), Randle & Hayes (1972), Smith (1974), Smith y Spencer (1976), Smith & Spencer, 1977, encontraron que la adición de estos suplementos resulta en un incremento en el rendimiento.

Los materiales dentro del grupo V son considerados como suplementos propios de una mezcla sintética, son empleados raramente, excepto en áreas donde no se dispone de estiércol de caballo o de polio. Los suplementos del grupo VI son utilizados en compostas sintéticas para aumentar las temperaturas iniciales en la composta. La alfalfa contiene cantidades considerables de carbohidratos y un contenido relativamente alto de nitrógeno, que ayuda a incrementar la población microbiana en la composta (Stamets & Chilton, 1983).

El tipo de suplemento utilizado en el composteo, estará finalmente determinado por la disponibilidad del mismo en la zona de trabajo y por su costo (Wedder, 1979; Stamets & Chilton, 1983).

El suplemento mineral más importante (grupo VII) en el composteo es el yeso, su acción en la composta es de naturaleza química y sus principales efectos son:

- 1.- Mejora la estructura física de la composta. Causa agregación de las partículas coloidales, produciendo mayor granulación, y por tanto mayor número de espacios porosos que facilitan la aireación en la composta.
- 2.- Incrementa la capacidad de retención de agua, mientras decrecen los riesgos de un exceso en el contenido de humedad.
- 3.- Contrarresta la alta concentración de los elementos minerales como K, Mg, P y Na, y por tanto previene condiciones grasosas en la composta.

- 4.- Suministra calcio para el metabolismo del hongo y permite que el ácido oxálico producido por el champiñón sea neutralizado como oxalato de calcio.

Gerrits (1979), estudió la importancia del yeso en la composta sintética suplementada con gallinaza como fuente de nitrógeno. Él comparó los rendimientos obtenidos en composta con y sin aplicación de yeso. Fue posible definir que el efecto del yeso tiene una relación con el contenido de amoníaco en la composta. Cuando se aplican niveles altos de gallinaza, el contenido de  $\text{NH}_3$  se incrementa y con ello el pH de la composta sube. En presencia de yeso el pH decrece. Dado que el  $\text{NH}_3$  es dañino para el crecimiento de este hongo, es importante que el contenido de  $\text{NH}_3$  en la composta disminuya. Por ello, la adición de yeso en la composta tiene un efecto estabilizador en el rendimiento, por lo tanto, es el suplemento más importante (Gerrits, 1977).

El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), también es utilizado como suplemento mineral; sus efectos durante el composteo son semejantes a los del yeso. Este suplemento se utiliza, generalmente, cuando se aplica sulfato de amonio como fuente de nitrógeno a la composta, para neutralizar el residuo de ácido sulfúrico. Se adiciona en una proporción de 3 partes de  $\text{CaCO}_3$  por una de sulfato de amonio (Bech, 1978; Vedder, 1977).

La medida en que se requiere añadir los suplementos, depende en gran parte de la composición del estiércol y del tipo de composta. Por ello, es necesario, antes de iniciar el proceso de composteo, analizar el contenido de humedad y nitrógeno del material básico. La

suplementación se realiza en base al contenido de materia seca de los materiales básicos (kg de suplemento por tonelada de materia seca) (Wuest, 1972; Bech, 1970).

De acuerdo al tipo de composta se ha encontrado que el nivel óptimo de nitrógeno al iniciar el composteo es de 1.5 % para composta de estiércol de caballo, y de 1.7 a 2.0 % en el caso de composta sintética (Wuest, 1972; Gerrits, 1984).

La cantidad de suplemento nitrogenado adicionado a una composta, estará en función del balance de nitrógeno de los materiales básicos y considerando el nivel óptimo de nitrógeno deseado (Fleq et. al., 1985).

#### 2.3.1.3 Proceso de composteo.

El proceso de composteo tiene el propósito de preparar un medio con características que permitan el crecimiento del micelio del champiñón, y excluya el crecimiento de organismos competidores. Específicamente, mediante el composteo se debe obtener un sustrato con las siguientes características:

- 1.- Química y físicamente homogéneo.
- 2.- Selectivo, en el cual prospere mejor el micelio del champiñón y excluya nutrientes favorables a los competidores.

Para lograr estas características, los materiales básicos son sometidos a un proceso de fermentación que consta de dos etapas comúnmente llamadas fase I y fase II (Vedder, 1975).

### 2.3.1.3.1. Fase 1.

Esta fase del proceso se realiza en un patio de composteo al aire libre. En ella, se desencadenan procesos químicos y microbiológicos de manera espontánea. Los tipos perseguidos son: mezclar, humedecer, suplementar, airear y homogeneizar los materiales utilizados (Vedder, 1979).

En el material básico se encuentran inicialmente presentes los nutrientes bajo forma difícilmente asimilables para el champiñón. Gran parte del nitrógeno, está presente en forma de compuestos amoniacales en una concentración incompatible para la supervivencia del champiñón. Estos se deben transformar con la fermentación en combinaciones proteicas o integrarse al complejo ligno-humico. Este complejo es difícilmente asimilable para muchos organismos, siendo casi exclusivamente aprovechado por *A. bisporus* (Vedder, 1979).

La paja también contiene compuestos de carbono que son relativamente difíciles de degradar (celulosa, lignina), al mismo tiempo que otra parte se presenta en forma de azúcares y pectinas fácilmente asimilables. Durante el cultivo, algunos hongos competidores se podrían desarrollar sobre estos carbohidratos fácilmente degradables. Por esta razón, durante la fermentación se busca eliminar a estos últimos carbohidratos que desaparecen en forma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , mientras que los de difícil degradación no son atacados. Esta selección de nutrientes favorece al champiñón que puede asimilar los compuestos difícilmente asimilables como alimento; mientras que muchos de sus competidores precisan hidratos de carbono fácilmente

asimilables. Así, conseguir un medio selectivo para el champiñón es un mal necesario, pues a pesar de que el champiñón puede asimilar carbonhidratos fácilmente degradables es necesario eliminarlos para evitar la competencia de otros organismos (Vedder, 1979).

El primer paso en el proceso de composteo, es la adición de agua al material básico. El propósito de esta operación de prehumedecimiento, es activar a los microorganismos presentes en el estiércol, que una vez activados comienzan a atacar la capa cerosa de la paja. El objetivo de romper las fibras de la paja (celulosa), es el de hacerla flexible y absorbente. La absorción de agua es muy importante, pues hace que la composta tenga un correcto nivel de humedad para la fermentación. Por otro lado, las fibras de celulosa rotas proporcionan el azúcar libre, en forma de glucosa, que es oxidada, siendo así el combustible primario para que se inicie la fermentación de la composta; la celulosa es degradada enzimática y químicamente por un proceso llamado hidrólisis alcalina (Carapiet, 1985).

La composta de estiércol de caballo requiere de menor tiempo de pretratamiento que la composta sintética. Esto se debe a que la paja que sirvió de cama a los caballos, ha sido rota por la acción de las pisadas de los mismos, y las heces y orina comienzan a suavizarla. Esto no sucede con la paja de una composta sintética, pues esta es fresca y resistente. En este caso, para estimular la acción microbiana (rompimiento de la capa cerosa) es necesario adicionar algún suplemento del grupo I, IV o V. La duración del pretratamiento en

general, es de 3 días para el estiércol de caballo, y de 5 a 12 días para la composta sintética. El tiempo de pretratamiento para la composta sintética puede ser acortada si la paja es mecánicamente cortada (Gerrits, 1974; Takahashi, 1978).

El material deberá ser humedecido a saturación, el estiércol de caballo de 69 a 71 %, y la composta sintética de 71 a 75 %, para posteriormente ser amontonado en un banco con una sección semi-elíptica. Durante este período el material del montón puede ser mezclado y humedecido aún más.

El agua es el componente más importante en el proceso de composteo. En gran medida, el agua gobierna el nivel de actividad microbiana. Esta actividad, determina la cantidad de calor generado dentro de la pila de la composta, debido a que los microorganismos pueden solamente tomar sus nutrientes en solución (Wuest et al., 1978).

Los microorganismos necesitan también de oxígeno para desarrollarse. Años de práctica y observación han establecido una relación entre la cantidad de agua adicionada y la aireación de la composta. Sobrehumedecimiento en la composta, arriba del 75 %, ocasiona que los espacios de aire se llenen con agua, reduciendo el caso del oxígeno al interior de la composta, causando condiciones anaeróbicas. En contraste, insuficiente humedad, abajo del 67 %, resulta en una composta muy aireada donde la actividad de los microorganismos es baja (Stamer & Chilton, 1961).

Una vez que el material es humedecido y se aplica alguna fuente de nitrógeno, se mezcla y se apila en un banco a pila con sección

transversal de forma rectangular o cuadrada. Las dimensiones varían de 1.50 a 1.80 m. de ancho y 1.20 a 1.80 m. de alto. La formación de la pila se lleva a cabo después del pretratamiento, en el día considerado como "día cero" o bien, "día del apilado" (Gerrits, 1984). De esta manera se facilita e incrementa el desarrollo de los microorganismos aeróbicos benéficos en la composta. Esto es muy importante si se considera que el composteo es un proceso de descomposición microbiana. Si en los materiales apilados se da un balance adecuado de nutrientes, aire y agua, la continua sucesión de poblaciones microbianas producen temperaturas de hasta 82 °C dentro de la pila. Estos microorganismos pueden ser divididos, de acuerdo a sus requerimientos de temperaturas en : mesófilos y termófilos. Los microorganismos mesófilos (bacterias y hongos) son activos abajo de 38 °C y los termófilos (hongos, actinomicetos y bacterias) son activos entre 38 y 72 °C (Stamets & Lantton, 1993). En la figura 3 está indicada la zonificación general de temperaturas que se presentan en una pila de composta. Durante el precomposteo, las bacterias y hongos mesófilos utilizan los hidratos de carbono fácilmente disponibles y degradan los componentes nitrogenados liberando amoníaco. Este amoníaco es entonces utilizado por una población microbiana sucesiva y las temperaturas en la composta aumentan.

Después del apilado, los microorganismos mesófilos permanecen en la zona exterior de la pila (Zona 1), mientras que los hongos, actinomicetos y bacterias ocupan el interior de la pila (Zona 2). Los actinomicetos son claramente visibles como puntos blanquiczos.



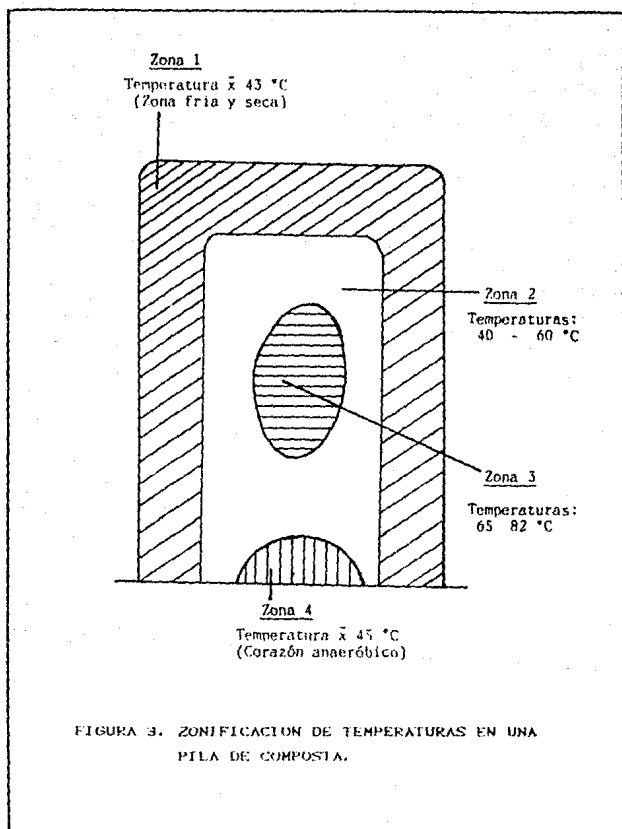


FIGURA 3. ZONIFICACION DE TEMPERATURAS EN UNA PILA DE COMPOSTA.

formando un círculo alrededor de la zona caliente de la pila (Zona 3). Las bacterias dominan el centro de la pila y continúan la descomposición de los compuestos nitrogenados liberando más amoníaco. En este momento los carbohidratos en la pila están listos para su aprovechamiento.

A temperaturas por arriba de los 65 °C, la acción de los microorganismos disminuye y la importancia de los procesos químicos aumenta. Entre 65 y 74 °C la acción microbiana y química ocurre simultáneamente. De 74 a 82 °C la descomposición es principalmente química por reacciones de humificación y caramelización; esto ocurre bajo condiciones de alta temperatura, pH arriba de 8.5 y en presencia de amoníaco y oxígeno. La descomposición se produce rápidamente bajo estas condiciones, y si se puede mantener a través de la fase I, el proceso de composteo será reducido considerablemente. La coloración oscura de la composta presentada después de la fase I es resultado de estas reacciones químicas.

Después de pocos días del apilado el tamaño de la pila disminuye llegando a ser muy compacta. Esto es consecuencia de la descomposición microbiana de la materia orgánica con la pérdida de  $\text{CO}_2$  y agua. La compactación cierra los espacios de aire y suprime la acción aeróbica de los microorganismos; particularmente en el centro y fondo de la pila, en donde como consecuencia se puede presentar una fermentación anaeróbica. Por ello es necesario desharer la pila, agregar los materiales en esta, adicionar agua (si es necesario) y apilar nuevamente. A esta actividad se le conoce como volteo.

Handie y Fiegg mostraron que el oxígeno en la pila es consumido por la microflora en pocas horas después del volteo. Así que el volteo tiene una limitada función en cuanto al suministro de aire. El efecto de convección indicado en la Figura 4, es el mecanismo más importante para la aireación de la composta. El aire penetra a la pila a causa de la diferencia de temperaturas entre el medio ambiente y el interior de la pila.

El propósito más importante del volteo consiste entonces, en conseguir una buena mezcla de todas las zonas de la pila, y obtener una composta lo más homogénea posible. Para ello, durante el volteo las zonas más frías y secas (zona 1) de la pila son humedecidas y trasladadas al centro de la nueva pila, mientras que las Zonas 2, 3 y 4 son colocadas en la parte exterior. Los suplementos que no se aplicaron al apilado son adicionados durante el volteo. El yeso o el carbonato de calcio son normalmente agregados y mezclados lo más uniformemente posible durante el segundo volteo (Bech, 1978; Stamets & Chilton, 1983; Gerrits, 1984).

Durante un ciclo de volteos, el material fermentado sufre algunos cambios que determinan si la composta es apropiada para llevarla a la fase II de composteo. El juicio a seguir está basado en el color, textura y olor de la misma. Las características que la composta debe presentar al ser transferida a la fase II o de pasteurización, son las siguientes:

- 1.- La composta presenta un color café oscuro.

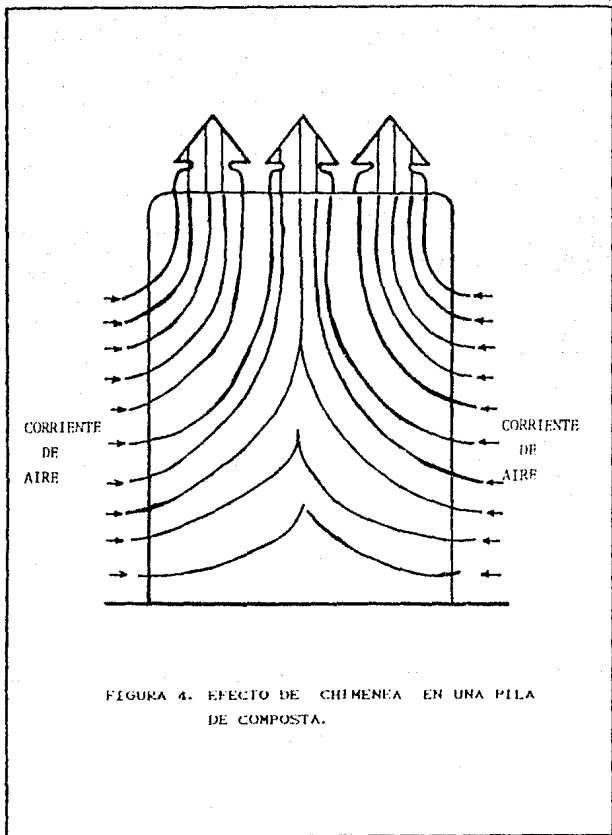


FIGURA 4. EFECTO DE CHIMENEA EN UNA PILA DE COMPOSTA.

- 2.- La paja es todavía larga y fibrosa, pero puede ser desmenuzada con poca resistencia.
- 3.- Cuando la composta es firmemente apretada con las manos apenas aparecen unas gotas entre los dedos. Normalmente esta condición corresponde a un contenido de humedad de 70 %.
- 4.- El olor de la composta es agradable, con un fuerte olor a amoníaco y un pH de 8.0 a 8.5 . Si la composta estuvo sometida a condiciones anaeróbicas, presenta zonas con coloración amarillenta y olores putrefactos.
- 5.- La composta presenta manchones blanquiceros (colonias de actinomicetos).
- 6.- Tiene un nivel de nitrógeno de 1.5 % para estiércol de caballo, y 2 % para composta sintética.

#### 2.3.1.3.2. Fase II.

La Fase II es principalmente un proceso biológico, llevado a cabo por microorganismos termófilos (bacterias, actinomicetos y hongos) (Carapiet, 1985). Esta fase se conoce también como de pasteurización o calentamiento, y en su acepción inglesa, como "pear heat" ó "sweat out". Se realiza en una instalación especial, conocida como cuarto, sala o túnel de pasteurización, equipada para poder controlar la temperatura, humedad y ventilación de la composta. Generalmente se distinguen 2 etapas en la fase II se composteo.

## 1.- Pasteurización.

La temperatura de la composta y el aire se mantiene de 58 a 60 °C durante 2 a 6 horas. El propósito de la pasteurización es matar o neutralizar a los organismos dañinos de la composta (nematodos, huevos y larvas de moscas, ácaros y algunas esporas de hongos dañinos).

## 2.- Acondicionamiento.

Una vez que la pasteurización se ha realizado, la temperatura de la composta se baja hasta el rango de 52 a 48 °C y se mantiene en este valor durante 6 a 8 días aproximadamente. La finalidad es terminar los procesos biológicos e incrementar la selectividad de la composta, favoreciendo el desarrollo de actinomicetos (Vedder, 1979; Stamets & Chilton, 1983).

El llenado de la sala de pasteurización se realiza de acuerdo al sistema de cultivo utilizado. La fase II se puede efectuar en charolas colocadas en estantes, o bien a granel o en masa, sistema conocido como "bulk pasteurization" (Gerrits, 1981).

Independientemente del sistema empleado, la composta debe colocarse en la sala de pasteurización lo más rápido posible, para evitar pérdidas de calor. Si en esta operación la composta presenta zonas secas, estas deben regarse ligeramente. Cuando la composta presenta un exceso de humedad, esta no debe ser transportada al cuarto de pasteurización, se le debe adicionar más yeso, voltear y permitirle más días adicionales de fermentación. Si se usan estantes, estos se

llenan de forma uniforme con unos  $110 \text{ kg/m}^2$  para que la capa de composta sea de igual espesor, a fin de que las temperaturas en éstas sean lo más posiblemente uniformes. Con el sistema de estantes fijos, la cantidad de composta llenada para pasteurizar es usualmente la misma que servirá para el desarrollo vegetativo y productivo del champiñón. En este caso, existe una relación entre el rendimiento y la cantidad de composta llenada por metro cuadrado.

Debido a que en la fase II también participan microorganismos aerobios, es indispensable contar con un suministro constante de aire fresco. Para asegurar una adecuada aireación es indispensable el establecimiento de un eficiente sistema de ventilación. El nivel de oxígeno puede ser checado en la práctica, si al encender un cerillo en el cuarto de pasteurización la flama puede ser mantenida, entonces el nivel de oxígeno es suficiente. La falta de oxígeno estimula el crecimiento del hongo *Chaetomium* (hongo verde oliva) que impide el crecimiento de *Agaricus bisporus* en la composta.

El aire fresco no solamente suministra oxígeno a la composta, además controla la temperatura de la misma, manteniéndola dentro del nivel correcto. Cuando la composta presenta sobrecalentamiento, es decir, temperaturas mayores de  $60^\circ \text{C}$ , es necesario suministrar mayores volúmenes de aire fresco, situación que es particularmente común después de la pasteurización. Otra situación que también puede presentarse es cuando la temperatura desciende por abajo del nivel óptimo de  $40$  a  $52^\circ \text{C}$ , situación en la cual la entrada de aire fresco deberá disminuirse.

El objetivo del acondicionamiento consiste en terminar el proceso de fermentación en condiciones controladas. Los microorganismos activos en este proceso son principalmente las bacterias termófilas, los actinomicetos y los hongos termófilos. Las temperaturas a las que se desarrollan estos organismos son ligeramente diferentes. Las bacterias termófilas dominan en la composta a temperaturas entre 40° y 55° C, y son responsables de la amonificación que ocurre a estas temperaturas. Las bacterias del género *Pseudomonas* sp. son las más comunes. Los actinomicetos se desarrollan en un rango de temperaturas de 52 a 55° C. Las especies más usuales son del género *Streptomyces* y *Thermomonospora*. Estudios realizados por Stanek (1971) han mostrado que las bacterias y actinomicetos son más eficientes cuando trabajan juntos. Los hongos termófilos se desarrollan entre 48 a 50° C, son comunes los géneros *Humicola* y *Monilia* en la composta. Investigaciones recientes indican que estos hongos son los más eficientes deamonificadores.

La función de estos microorganismos es utilizar y por tanto eliminar los carbonhidratos fácilmente asimilables y el amoníaco libre. El amoníaco en particular, debe ser eliminado hasta alcanzar niveles muy bajos, por su marcado efecto inhibitor sobre el crecimiento del micelio de *A. bisporus*. Estos tipos de microorganismos se desarrollan de acuerdo a la secuencia descrita, lo que quiere decir, que el acondicionamiento de la composta se llevará a cabo en mejores condiciones a temperaturas que disminuyan gradualmente de 50 a 42° C. (Vedder, 1979).



La duración de esta fase varía de 3 a 10 días, dependiendo de las características de la composta procesada, y del control de las condiciones ambientales en la sala de pasteurización. Esto se ve afectado principalmente, por el tipo y cantidad de suplemento nitrogenado y el espesor de la composta (Vander, 1979).

Gerrits (1984) encontró que el contenido de amoníaco en la composta influye sobre la duración de la fase II. De esta manera, si el nivel de nitrógeno al momento del apilado, está por arriba del 1,5% en compostas a base de estiércol de caballo, o de 2 % con compostas sintéticas, la concentración de amoníaco durante la fase II será muy alta. El tiempo para eliminar este amoníaco de la composta será mayor conforme aumente su concentración. Normalmente, el contenido de amoníaco en la composta decrece diariamente una cantidad determinada, por lo que una composta con menor contenido de amoníaco será preparada más rápidamente.

La fase II termina cuando la composta constituye un medio adecuado para que al inocular a *Bacillus pasteurus*, este se desarrolle rápidamente. Para que esto ocurra, la composta debe presentar las siguientes características:

- 1.- El olor de la composta es agradable, ligeramente dulce.
- 2.- El olor a amoníaco no se presenta.
- 3.- El pH está abajo de 7,8, preferiblemente 7,5.
- 4.- La composta presenta un olor café achocolatado, con manchas blanquizas (actinomicetos).

5.- La paja es blanda y flexible, y puede ser desmenuzada fácilmente.

6.- Cuando se aprieta la composta con las manos, ésta mantiene su forma, y no aparece agua entre las manos.

7.- El contenido de humedad es de 64 a 66 % para estiércol de caballo, y de 67 a 68 % para composta sintética.

8.- El contenido de nitrógeno es de 2 % .

#### 2.3.1.3.2. Métodos de composteo.

Existen diferentes métodos de composteo en función de los materiales básicos, los suplementos y los recursos disponibles del productor. De acuerdo al tiempo de preparación, éstos se pueden clasificar en dos grupos.

#### 2.3.1.3.3.1. Métodos de composteo largo.

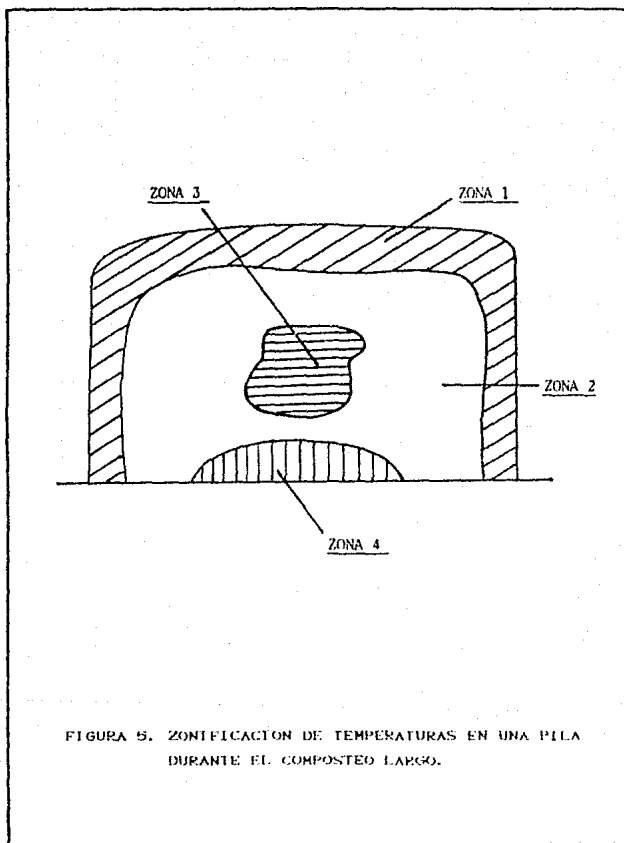
Se caracteriza por una duración de 20 a 28 días para completar la fase I. En estos métodos la descomposición de los materiales es fundamentalmente debida a la acción microbiana. El desarrollo de los microorganismos termófilos es promovido como un medio para la eliminación del amoníaco antes de la realización de la pasteurización o fase II. En estos métodos se busca evitar la descomposición química, por lo que no deben permitirse temperaturas arriba de 65 °C. Esto se logra mediante un manejo adecuado de los materiales; tomando principalmente en consideración una adecuada periodicidad en los

volteos y en las dimensiones de las pilas. En la Figura 5 se indica la zonificación de temperaturas deseadas en la pila, para lograr una adecuada fermentación con este método de composteo. Para obtener esta situación, el material a procesar se amontona formando pilas de baja altura, aproximadamente de 1.20 m. de altura, y 1.80 m. de ancho. La altura inicial de la pila se mantiene durante el primer y segundo volteo, adicionando veso en el segundo, y agua si es necesario. Al tercer volteo la altura de la pila se disminuye a 60 cm. y en el cuarto volteo la altura de la pila varía entre 40 y 60 cm. .

La fase II finaliza cuando la composta presenta un color café oscuro, se encuentra bien impregnada de actinomicetos y está libre de amoníaco. En este momento la composta presenta un contenido de humedad entre 67 y 70 % y un pH de 7.0 a 7.5. Con este método de composteo, la fase II consiste exclusivamente en una pasteurización a 57 °C durante 4 horas.

#### 2.3.1.3.3.2. Métodos de composteo corto.

El método de composteo corto fue originalmente desarrollado por Sinden y Hausen (1963). Con este método se promueve el proceso de descomposición química, el cual se ve favorecido por temperaturas mayores de 65 °C, un pH alcalino y presencia de amoníaco y oxígeno. Estas son las condiciones características de la zona 3 de la pila de composteo. Con este método se pretende entonces que las condiciones de la zona 3 se presenten en la mayor parte de la pila. Para ello, las pilas de composta deben tener una mayor altura que en un método de



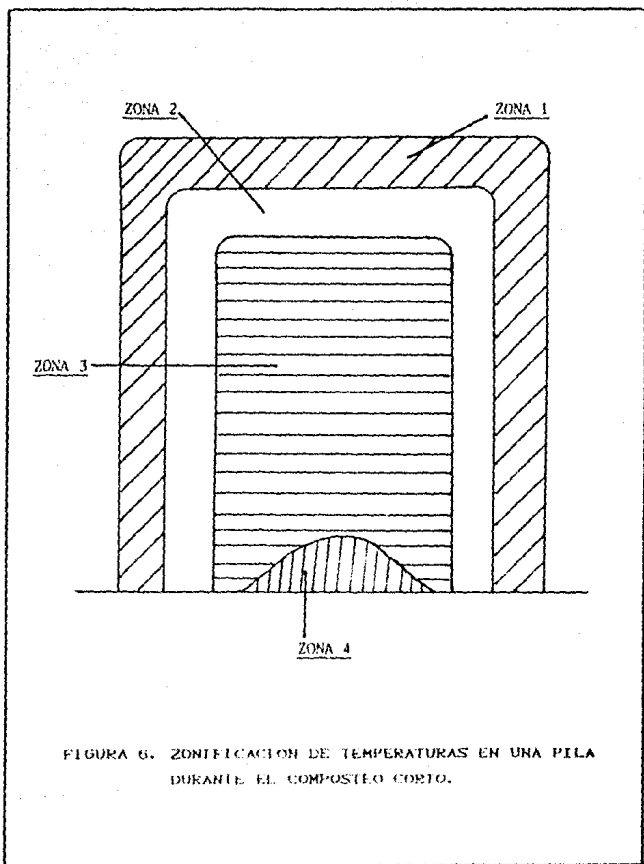
composteo largo (1,50 a 1,60 m. de altura). En la Figura 6 se indica la distribución de temperaturas en un corte transversal de una pila procesada por composteo corto.

En general, los métodos de composteo corto están caracterizados por una fase I de muy reducida duración, entre 8 y 12 días. La fase II de composteo consiste en una pasteurización y acondicionamiento. Durante la cual se termina el proceso de fermentación bajo condiciones controladas, hasta la eliminación del amoníaco a niveles no dañinos para el micelio de *Agaricus bisporus*.

#### 2.3.1.5.3.2.1. Nuevos desarrollos en la preparación de sustratos por composteo corto.

Numerosos métodos han sido utilizados en la elaboración de sustratos para la producción del champiñón sin empaquetado, la mayoría han tenido el objetivo principal de acortar el período de preparación y disminuir las pérdidas de materia seca de los materiales básicos.

Hill (1962) realizó una de las primeras investigaciones en éste sentido: utilizó una mezcla de paja de trigo, heno de alfalfa, harina de semilla de algodón, turba y yeso que fue humedecido a 70 % con un pH de 6,8 y un contenido de nitrógeno de 2,5 %. Esta mezcla no fue sometida a una previa descomposición microbiana, sino que fue esterilizada en autoclave a 121 °C durante 5 horas. Ya frío el sustrato, fue inoculado con micelio de *A. bisporus* en condiciones asepticas; la incubación del sustrato se realizó en 35 días. Con este experimento, Hill demostró que el micelio del champiñón es capaz de



degradar una mezcla altamente celulítica sin previa fermentación. Sin embargo en esas condiciones se observó que en un medio ambiente no estéril, este hongo no puede competir por los nutrientes con otros microorganismos. Este método de preparación fue utilizado en pequeña escala, y resultó altamente eficiente, produciendo un rendimiento equivalente a 300 kg de hongo por tonelada de composta a la inoculación. No obstante, los altos costos en la preparación, y el tener que mantener al sustrato bajo condiciones estériles, lo hace un método comercialmente antieconómico.

Hunke y Sandbush (1968) modificaron el procedimiento de Hill, sometieron la mezcla esterilizada de paja de trigo, turba y carbonato de calcio junto con una fuente de carbono y nitrógeno, a una fermentación controlada después de inocular a la composta con microflora específica. Ellos prepararon el sustrato en 3 días, resultando selectivo al crecimiento del champiñón. En este caso, no fue necesario inocular en condiciones estériles, y la incubación se produjo con mayor rapidez. Los rendimientos obtenidos equivalieron del 25 al 30% del peso fresco del sustrato, es decir 259 kg. de hongos por tonelada de sustrato a la inoculación.

Más tarde, Hunke (1972) intentó preparar un sustrato partiendo de estiércol de caballo, acortó el tiempo de esterilización y utilizó temperaturas más bajas antes de inocular al sustrato con microflora específica. Los rendimientos obtenidos con este método dependieron un poco de la variabilidad en la composición del estiércol de caballo.

Lamborde y Delmas (1969) simplificaron el sistema de composteo reemplazando la esterilización de Hill (1962) y Hunkke & Seegbusch (1968), por una pasteurización con un tratamiento de vapor que no afectaba la microflora termofílica de la composta. Ellos utilizaron una cama de paja de establo, sometiéndola a una fermentación controlada; utilizaron charolas dentro de un cuarto convencional de pasteurización. La temperatura del cuarto fue incrementada mediante la inyección de vapor, hasta que la composta alcanzó una temperatura de 70 °C. después de 12 horas del llenado de las charolas. Esta temperatura fue suficiente para pasteurizar la composta, mientras que los microorganismos termofílicos permanecieron no afectados. Una fermentación controlada a 48-50 °C fue estimulada dentro de la composta, hasta que el amoníaco fue liberado de la misma. Un sustrato selectivo fue preparado en 3 a 7 días, dependiendo del llenado del material dentro de las charolas. Utilizando una capa de 12 cm. de composta, las pérdidas de materia seca durante 7 días de composteo, resultaron generalmente por abajo del 50 % y los rendimientos sobre 200 kg. de hongo por tonelada de composta inoculada. A este método se le conoce como de preparación rápida de sustrato (R.P.S.), y no requiere de un desembolso mayor de capital y equipo.

Smith (1974) y Smith & Spencer (1974) adoptaron un procedimiento de composteo similar al de Lamborde & Delmas (1969). Ellos sometieron una mezcla de paja de trigo, salvado de trigo, harina y cebada a 60-65 °C durante 12 a 24 horas antes de reemplazar a 50-55 °C por 4 a 5 días. Las temperaturas iniciales fueron alcanzadas mediante la inyección de



vapor dentro de un cuarto de pasteurización. Aunque inicialmente los rendimientos de hongos fueron más bajos que los obtenidos de una composta convencional, posteriormente fue posible mejorarlos con la adición de materiales ricos en carbohidratos solubles, al inicio del composteo (Smith & Spencer, 1977).

En los experimentos realizados por Smith & Spencer (1977) y Smith & Fermor (1977) se observó, que al usar tales suplementos se disminuyó el requerimiento del vapor necesario para iniciar la termogénesis microbiana. La temperatura de la composta alcanzó 70 a 75 °C sin inyección de vapor, pero en algunos casos, si fue necesario el vapor intermitente dentro del cuarto de pasteurización durante los estados posteriores de composteo, para mantener la temperatura del sustrato entre 50 y 55 °C. Usando esta técnica, la composta fue preparada en 5 a 7 días, con pérdidas de materia seca en algunos casos, por abajo del 20 %, y los rendimientos obtenidos fueron de 130 a 150 kg. de hongos por tonelada de composta inocuada en 6 semanas de corte.

Un enfoque algo distinto fue seguido por Bech (1978), quien desarrolló un procedimiento de composteo de 5 días para la fase I, y de 3 días para la fase II. Como material básico utilizó estiércol de caballo, con humedad promedio de 65 % y un contenido de nitrógeno de 1,1 % (en base seca). Empleó como suplementación sulfato de amonio y carbonato de calcio, 11,25 kg. y 34,75 kg. respectivamente, en base a 450 kg. de materia seca del estiércol de caballo. Con este método, en el día 12, el material era mezclado y amontonado en el patio de composteo, tomándose muestras para determinarle la humedad, y así

definir el contenido de materia seca y la suplementación. En el día cero, se añadió agua y sulfato de amonio, mezclando homogéneamente el material y formando una pila. En el día 2 el carbonato de calcio era añadido y la mezcla volteada dos veces, con el riego necesario, para asegurar un material homogéneo. Después del volteo, el material fue pasteurizado en masa, llenando el cuarto de pasteurización con 1,000 Kg. de composta por m<sup>2</sup>.

La pasteurización se inició inyectando vapor durante 3 horas para incrementar la temperatura a 59 °C. La temperatura en la composta fue mantenida a 54 °C durante 56 horas, para después entrarla hasta 29 °C y entonces, 72 horas después del llenado, inoculada con 3 gramos de semilla por kilogramo de composta. El rendimiento obtenido fue de 366 Kg de hongo (con pata), por tonelada normal de composta, o bien 342 Kg. de hongo por tonelada de composta inoculada, durante un periodo de corte de 4 semanas. Las pérdidas de materia seca fueron de 20 a 25 % con este método de composteo.

### 2.3.2. Etapas de cultivo.

#### 2.3.2.1. Inoculación (Siembra).

Una vez preparado el sustrato, el cultivo del champiñón consiste de varias etapas sucesivas, para lograr que se produzcan esporos sobre la composta. Primeramente, el sustrato es inoculado con la semilla o inóculo de *Agaricus bisporus*. Tradicionalmente los cultivadores utilizaban como inóculo, porciones de estiercol de caballo fermentado espontáneamente, donde se observaba un fuerte desarrollo micelial de

## Agaricus.

Este tipo de inóculo presentaba muchas desventajas, ya que contenía numerosas fuentes de contaminación, el periodo de desarrollo vegetativo era muy lento y los rendimientos muy bajos.

Con el desarrollo de técnicas de producción de cultivos puros de micelio, fue posible obtener inóculos libres de contaminaciones, así como almacenar y mantener cepas de este hongo. La composta esterilizada fue el medio preferido para producir cultivos puros para usarlos como inóculo, siendo éste, el método utilizado por la industria champiñonera durante muchos años.

Sinden (1932) desarrolló el proceso de producción de inóculo utilizando granos de cereal como portadores del micelio de *Agaricus bisporus*. En la actualidad, este tipo de inóculo ha despreciado totalmente el uso de otros materiales, y se han investigado diferentes métodos para lograr que el micelio invada con mayor rapidez la composta. Actualmente el método más usado es el desarrollado por Sinden (1938), que consiste en que en lugar de extender el inóculo sobre la superficie de la composta, éste sea mezclado lo más uniformemente posible con el sustrato. De esta manera, el micelio invade con mayor rapidez debido al mayor número de puntos de siembra, cada semilla de cereal representa un punto. Antes de la inoculación, es necesario separar los granos que están unidos entre sí, para que las hifas deterioradas tengan tiempo de reconstruirse y se distribuyan homogéneamente en la composta.

La tasa de inoculación utilizada (Kg. de inóculo por Kg. de composta) influye sobre el tiempo de colonización del micelio en la composta. Utilizando cantidades pequeñas de inóculo, el micelio se desarrolla lentamente y se corre el riesgo de permitir un mayor desarrollo de contaminaciones en la composta. Cuando el micelio del champiñón se desarrolla rápidamente, tiene la facultad de inhibir el desarrollo de organismos competidores (antagonismo). Venner (1979) señala que es aconsejable utilizar cuando menos una cantidad de inóculo equivalente al 0.5 % del peso de la composta.

La siembra debe realizarse lo más rápido posible y el material empleado debe estar bien lavado, lo mismo que las manos y ropas del personal. Es necesario también limpiar y desinfectar la nave de cultivo que se va a utilizar.

La composta inoculada (en charolas, estantes o bolsas) es compactada ligeramente, para evitar la deshidratación causada por una excesiva aireación. De esta manera, también se consigue una superficie plana que permite aplicar más adecuadamente la capa de cobertura, evitando además acumulaciones locales de  $CO_2$ .

#### 2.3.2.2. Propagación vegetativa (Inoculación).

La colonización de la composta debe realizarse lo más rápido posible para evitar el establecimiento de otros microorganismos. Bajo las condiciones ambientales adecuadas, se espera que el micelio se desarrolle inmediatamente después de la siembra. Dependiendo de la

cantidad de la composta, de la cepa cultivada, y de la cantidad de inóculo, el micelio puede alcanzar su desarrollo después de 10 a 14 días de incubación.

durante el desarrollo vegetativo, se debe mantener una temperatura en la composta entre 25 y 27 °C. Cada grado por arriba del óptimo puede ser dañino, ya que el micelio de *Agaricus* puede inactivarse por sobrecalentamiento. Con temperaturas por abajo de 25 °C se presenta un retardo en el desarrollo del micelio (Mushroom News, 1978).

La temperatura en el sustrato es controlada mediante la manipulación de la temperatura del aire circundante. Un sistema de calentamiento y enriamiento es indispensable si las condiciones climáticas no son favorables. Un equipo de ventilación con entrada de aire fresco y recirculación es necesario para mantener las temperaturas uniformes en la nave de cultivo y evitar sobrecalentamiento, sobre todo en las zonas superiores. La inyección de aire fresco dependerá de la temperatura del sustrato. Una mayor actividad del micelio, será acompañada de un aumento en la temperatura de la composta, a esto corresponderá una mayor necesidad de oxígeno, y por ello, una ventilación más intensa.

La humedad ambiental es extremadamente importante, debiendo de mantenerse entre 90 y 95 %. Si baja de este nivel, el agua se evapora en la superficie del sustrato con un detrimento en el crecimiento micelial. Un sustrato seco, produce un micelio muy fino, con una producción de champiñones escasa; debido a que el agua es insuficiente

para el transporte y asimilación de nutrientes. El sobrehumedecimiento de la composta inhibe el crecimiento del micelio. La humedad ambiental puede ser suministrada por medio de vapor o humedeciendo regularmente los muros y el suelo. Si se utiliza vapor, se debe tener cuidado de no incrementar la temperatura del aire y de la composta por arriba del rango óptimo, por lo que es conveniente utilizarlo únicamente si la temperatura de la composta se encuentra por abajo de 25 °C. Un método para evitar el secado de la superficie del sustrato es el de cubrirla con plástico.

Durante la incubación, el micelio del hongos genera grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  siendo factible que su concentración en el medio ambiente alcance valores de 1.5 a 3 %. Estas concentraciones de  $\text{CO}_2$  no influye negativamente sobre el crecimiento vegetativo. Bajo las condiciones que normalmente imperan durante esta etapa, es difícil que se produzcan concentraciones de  $\text{CO}_2$  en el medio ambiente, que sean inhibitorias para el desarrollo micelial.

### 2.3.2.3. Cobertura.

Una vez que el micelio de *Boaricus bisporus* ha invadido el sustrato, se procede a cubrir la superficie de la misma con tierra de cobertura. Esta práctica fue desarrollada desde hace mucho tiempo por los cultivadores de champiñones, los cuales observaron que la formación de esporoforos se estimulaba al cubrir con tierra la composta.

La capa de cobertura es el medio en el cual el micelio pasa de la

rse vegetativa a la generativa. En ella, se favorecen los factores que desencadenan el proceso de fructificación, tales como la formación de un gradiente en la concentración de  $\text{CO}_2$  y de un cierto microclima, así como la presencia de cierto tipo de bacterias. Las principales funciones que tiene que cumplir la tierra de cobertura son:

- 1.- Mantener la humedad de la composta en el nivel deseado. Los períodos de secado y los suministros de cantidades considerables de agua pueden ser manejados sin daños al micelio.
- 2.- Proveer un microclima con características específicas de humedad y ventilación que permitan la formación de primordios, y su desarrollo hasta la etapa de esporoforos maduros y sanos.
- 3.- Proveer de una reserva de agua para la maduración adecuada del hongo.
- 4.- Favorecer el crecimiento de la microflora, la cual influye beneficiosamente sobre la formación de los primordios, y en particular la acción de ciertas bacterias como *Pseudomona putida*.

De acuerdo con lo anterior, el material utilizado como cobertura debe tener una estructura granulosa que permita un eficiente intercambio gaseoso ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ), así como una buena capacidad de absorción y retención de humedad, además de que pueda suministrar progresivamente el agua necesaria para el desarrollo de los cuerpos fructíferos.

La tierra de cobertura debe tener un pH neutro entre 7 y 7.5, pues un medio muy alcalino o ácido, inhibe el crecimiento micelial en la cobertura. Como el micelio libera determinados ácidos durante el cultivo, el nivel de alcalinidad disminuye cuando el micelio comienza a invadir la tierra de cobertura y puede alcanzarse un pH de 6.0. Para evitar esta situación se utiliza  $\text{CaCO}_3$  como sustancia "buffer", aplicándolo a la tierra antes de la cobertura.

La tierra de cobertura debe ser desinfectada por medio de vapor o formol para evitar cualquier contaminación por nemátodos u hongos. La experiencia ha demostrado que no es necesario que este material contenga elementos nutritivos.

La elección del tipo de material que es utilizado como cobertura, depende frecuentemente de la disponibilidad del mismo. En diferentes países se ha utilizado arcilla de varios tipos, turba, caliza triturada con turba, turba negra, marca, etc., se ha empleado incluso el sustrato residual del cultivo del champiñón después de una preparación especial.

El material de cobertura debe encontrarse a su máximo contenido de humedad, evitando que éste sea excesivo y que dificulte su manejo para extenderla, o para mantener la estructura granulosa. La estructura será adecuada si haciendo una bola pequeña y dejándola caer al suelo, ésta se disgrega en grumos.

El espesor de la capa de cobertura, depende principalmente de la profundidad del llenado (cantidad de composta). En la práctica, una



capa gruesa de cobertura presenta menos problemas que una capa delgada, sobre todo durante el riego. En general, el espesor de la capa de cobertura más comúnmente utilizada es de 1.5 a 4 cm.

La cobertura debe colocarse con un espesor uniforme, ya que el micelio puede alcanzar su superficie más rápido en algunas áreas. En este caso, los primordios se formarían a distintas profundidades y con los riegos se tendrían zonas con mucha agua y otras secas. Para obtener un espesor homogéneo en la cobertura, es necesario que la composta se haya compactado bien desde la siembra, presentando una superficie plana.

Las condiciones ambientales después de la cobertura serán las mismas que durante la incubación. Durante los siguientes días después de la cobertura, se proporciona a la tierra el grado apropiado de humedad. Se riega 4 ó 5 veces durante los 3 o 4 primeros días. La tierra de cobertura tiene suficiente humedad cuando comprimiendo un puñado se forman gotas de agua entre los dedos. Si la cobertura está muy mojada durante la formación de primordios, el micelio se desarrolla en mechones grisáceos y se forman menos botones.

Después de 5 a 7 días de colocada la tierra de cobertura, el micelio se habrá desarrollado en la superficie de la misma. Si es necesario se riega nuevamente y la superficie de la cobertura se nivela. Esto consiste en rascar un poco de la tierra de las capas más espesas y recubrir con ellas las más delgadas.

#### 2.3.2.4. Inducción.

El cambio de condiciones ambientales para pasar de un desarrollo vegetativo a uno generativo (formación de primordios) es conocido como inducción.

La inducción propiamente comienza cuando el micelio ha alcanzado la superficie de la tierra de cobertura. El primer paso de este proceso, consiste en disminuir la temperatura de la composta y del aire al rango de fructificación, entre 18 y 20 °C en la composta, y de 15 a 17 °C en el aire. Para lograr este descenso en la temperatura, es necesario ventilar con un gran volumen de aire fresco (frio). El tiempo necesario para lograr tal efecto está determinado por la cantidad de sustrato y la temperatura del aire introducido. Aproximadamente 48 horas después, la temperatura del sustrato descenderá al nivel optimo. En esta etapa, la humedad ambiental debe mantenerse a un nivel de 95 %. El contenido de CO<sub>2</sub> debe ser reducido por medio de la ventilación de aire fresco. Durante el crecimiento vegetativo el micelio se desarrolla bien a concentraciones de CO<sub>2</sub> del 2 %, pero durante la fructificación, esta debe descender a un valor entre 0,1 y 0,2 %. Cuando los niveles de CO<sub>2</sub> permanecen muy altos el micelio del hongo cubre totalmente la superficie de la cobertura con una capa gruesa de micelio conocida como "estroma". Esto no permite que el agua penetre a la cobertura y se producen muy pocos primordios.

La combinación de estos factores, descenso en la temperatura, alta humedad ambiental y reducción de gases metabólicos por medio de

un suministro constante de aire, conduce a la formación de primordios.

#### 2.3.2.5 Etapa generativa.

El desarrollo de un esporoforo comienza con la aglomeración de filamentos de micelio, que van a formar una pequeña esfera conocida como primordio o cabeza de afilete. Después de unos días, el primordio alcanza el tamaño de un chubasco y posteriormente se distingue un pie y un sombrero. Esta estructura continúa creciendo, y el sombrero se extiende y aparecen laminas de color rosa, en donde se forman las esporas (ver Figura 7).

El crecimiento de champiñones se da en ciclos llamados flujos o brotes. Dependiendo de la cepa, estos brotes normalmente tiene un intervalo de producción de 7 a 10 días. El primer, segundo y tercer brotes, son los más importantes, disminuyendo posteriormente la producción de manera gradual. El 70 % de la producción total se recoge en los tres primeros ciclos (Vedder, 1979).

Durante la etapa vegetativa (fructificación), es necesario asegurar un adecuado nivel de humedad en la tierra de cobertura. Se requiere también un constante suministro y recirculación de aire, asegurándose de mantener la temperatura del aire dentro del rango óptimo de fructificación, 18 a 20 °C, y reducir la humedad ambiental a 85 %.

Cuando los primordios han alcanzado el tamaño de un botón, la tierra de cobertura es humedecida abundantemente para lograr un buen

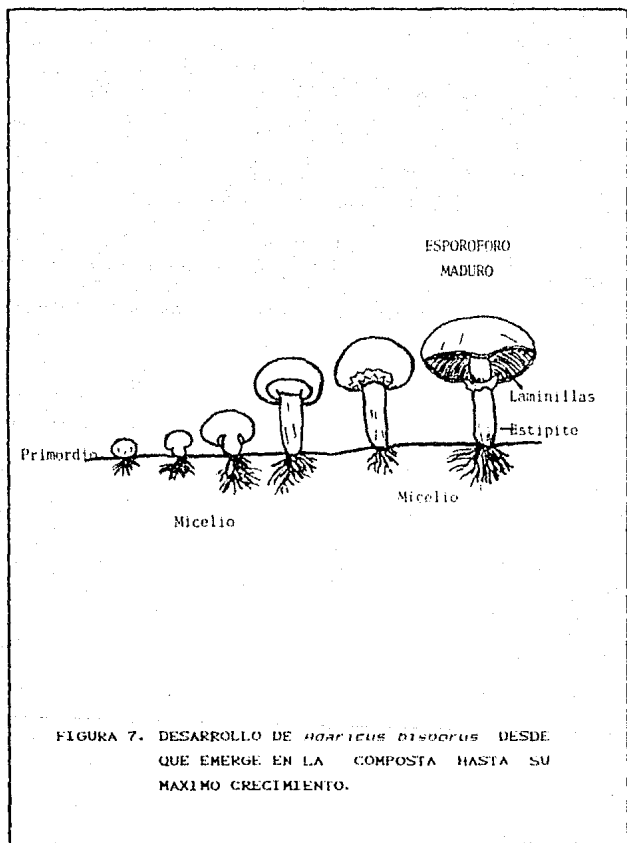


FIGURA 7. DESARROLLO DE *AGARICUS BISPORUS* DESDE QUE EMERGE EN LA COMPOSTA HASTA SU MAXIMO CRECIMIENTO.

desarrollo de los esporóforos. Es conveniente proporcionar el agua mediante 2 o 4 riegos ligeros al día, pues de esta manera la tierra de cobertura puede absorber lentamente el agua sin daño de la superficie. Es muy importante mantener la cobertura con su estructura y porosidad a través del ciclo de producción. Se debe evitar que se presenten encharcamientos en la misma, ya que un sobrehumedecimiento ocasiona manchas bacterianas en el sombrero del champiñón. Por el contrario, si la tierra de cobertura carece de humedad, el desarrollo de los esporóforos será raquítico. Por otro lado, si al momento de cortar los champiñones la cobertura está demasiado seca, el hongos acarreará pedazos de tierra creando huecos en la superficie de la misma, y dejando al descubierto la composta. De esta manera, el micelio puede ser dañado y se aumenta el riesgo de contaminaciones y de reducciones en el rendimiento.

Después de que el primer brote es cosechado, la cobertura se mantendrá húmeda mediante riegos ligeros, hasta que se formen los primordios del siguiente brote. Cada brote es tratado de esta manera y ya que en los últimos brotes se formarán menos champiñones, se requerirá por consiguiente de menos agua.

Durante el desarrollo vegetativo la temperatura de la composta es mantenida en el rango óptimo por manipulación de la temperatura del aire. Ya durante el desarrollo generativo, la temperatura del sustrato es menos crucial, siendo entonces la temperatura del aire un factor de mucha importancia. Cuando la temperatura de aire desciende por abajo de 15 °C, el desarrollo de los cuerpos fructíferos se prolongará por

mayor tiempo. Al aumentar la temperatura por arriba de este nivel puede ocasionar un incremento en la producción de  $\text{CO}_2$ , así como el desarrollo de insectos y contaminaciones.

Durante toda la fase generativa, la ventilación es muy importante. Los gases procedentes de la respiración, principalmente el  $\text{CO}_2$ , deben ser eliminados de la superficie de la cobertura. Altas concentraciones de  $\text{CO}_2$ , arriba de 0.2 %, tienen una influencia negativa sobre la formación de los champiñones que se están desarrollando, tanto en su cantidad como en su morfología. En los botones más pequeños, altos niveles de  $\text{CO}_2$  ocasionan la formación de un pileo grueso en forma de cebolla; en los más desarrollados resulta en patas muy largas y un sombrero muy pequeño. Cuando el contenido de  $\text{CO}_2$  asciende por arriba de 0.4 %, se inhibe la fructificación, favoreciendo que el micelio se desarrolle de manera abundante (vegetativamente) en la superficie de la tierra de cobertura sin la formación de esporoforos.

Es muy importante el efecto que tiene la recirculación de aire y el suministro del mismo, sobre la evaporación de humedad de la superficie de la cobertura. La evaporación ayuda para el transporte de nutrientes en solución de la composta a los esporoforos. Así, una excesiva humedad ambiental sin una adecuada circulación de aire, evita la evaporación y retarda el desarrollo de los cuerpos fructíferos. Es por ello muy importante que después de la formación de los primordios, se baje la humedad del aire a 85-92 %, manteniendo este nivel a través de toda la etapa generativa (Stamets & Chilton, 1983). No obstante,

aquí también deben evitarse excesos, ya que si la evaporación es excesiva, y la humedad del aire desciende por abajo de 85 %, se producen escamas en el sombrero del champiñón, causándole un deterioro sensible en su calidad.

En resumen, es muy importante que el cultivo logre un balance apropiado entre el aire de recirculación, el suministro de aire fresco, la humedad ambiental y el nivel de evaporación de la cobertura. Este es uno de los aspectos más importante en el arte de cultivar champiñones.

Finalmente, la cosecha en la mayoría de los países, se realiza en la etapa previa a la maduración fisiológica del champiñón, el corte se lleva a cabo cuando el sombrero ha alcanzado su máxima dimensión pero permanece aún cerrado. Esto significa que el borde del sombrero debe estar totalmente enrollado y el velo no se observa aún.

### III. MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1. Ubicación y características de la zona de realización del trabajo.

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones de la empresa INTECALI S.A. de C.V. (Investigación y Tecnología Alimentaria S.A. de C.V.) localizada en el poblado de Tres Marias, Huitzilac, estado de Morelos; y en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la División de Ingeniería de la Facultad de Química de la UNAM.

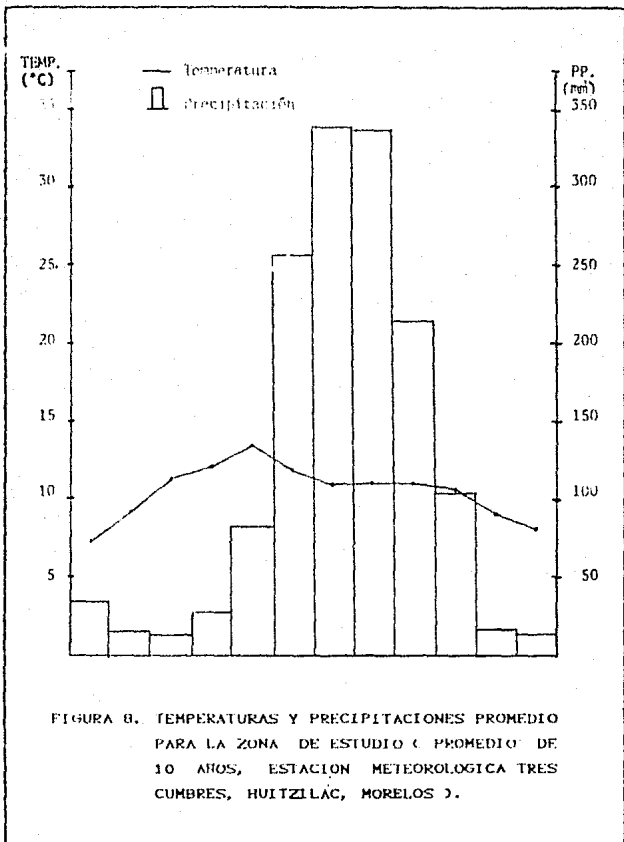
##### 3.1.1. Localización geográfica.

Tres Marias se localiza hacia la porción sur de la Sierra del Ajusco. Su altitud sobre el nivel del mar está comprendida entre 2808 y 2825 m.s.n.m.; con coordenadas geográficas de 19° 04' de latitud Norte y 99° 15' de longitud Oeste. Limita al Sur con Cuernavaca, al Este con Tepoztlán y al Oeste con el estado de México.

##### 3.1.2. Climatología.

La zona se caracteriza por presentar un clima de tipo  $Cw_2$ , que se describe como templado subhúmedo con lluvias de verano, y semihúmedo y seco en el invierno. En la Figura 8 se presentan las temperaturas y precipitaciones promedio mensuales que se registraron en un periodo de 10 años, en la estación meteorológica de Tres Cumbres, Huitzilac (Ver





Cuadros A-1 y A-2 del apéndice). La temperatura media anual es de 10,5 °C. El mes más frío del año es enero, con temperaturas mínimas extremas de hasta -6 °C (ver Cuadro A-3); y el mes más cálido es mayo, con temperaturas máximas extremas de hasta 30 a 32 °C (ver Cuadro A-4). La oscilación de temperaturas es mayor durante los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo, disminuyendo en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (ver Cuadro A-5).

La precipitación promedio anual es de 1425 mm., registrándose una mayor precipitación de junio a septiembre, con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % (ver Figura B).

El rango de heladas fluctúa entre 80 y 125 días al año (ver Cuadro A-6). Estas se presentan principalmente en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. La máxima incidencia de este fenómeno se registra en enero y diciembre. La frecuencia de granizadas es de 0 a 4 días al año, registrándose en los meses de junio, julio y agosto.

### 2.1.2.1. Condiciones medio ambientales de cultivo del champiñón.

Los primeros intentos para cultivar al champiñón fueron realizados por horticultores (meloneros) franceses. Inicialmente a este hongo se le cultivaba al aire libre. Posteriormente se observó que *Agaricus sp.* podía desarrollarse sin luz, y entonces su cultivo fue transferido a cuevas. Con el transcurso del tiempo se ha ido evolucionando cada vez más hacia la explotación en locales especiales, debido a que en ellos pueden crearse condiciones óptimas de

cultivo, y considerando el ciclo de vida del champiñón, es factible y altamente deseable establecer su cultivo a todo lo largo del año.

El cultivo del champiñón durante el presente trabajo fue llevado a cabo en instalaciones con la infraestructura adecuada para llevar su cultivo bajo condiciones controladas (temperatura, humedad y aireación).

Considerando las condiciones climáticas que prevalecen en la zona en donde está ubicada la empresa champiñonera, solo es posible establecer el cultivo del champiñón bajo condiciones controladas, con el fin de obtener una producción a todo lo largo del año. Tres Marias presenta una oscilación de temperaturas muy variable (ver Cuadros A-3 y A-4), con frecuente presencia de heladas. Por lo tanto es necesario contar con las instalaciones adecuadas en donde se pueda controlar las condiciones medioambientales.

### 3.2. Materiales básicos y suplementos.

- Estiércol de caballo: se obtuvo del Lienzo Charro del Pedregal. En donde la paja de avena se utilizó como cama en las cuadras de caballos, produciéndose un estiércol ligero, con aproximadamente 80 % de paja y 20 % de excretas (Leal, 1987)11.

El estiércol disponible presentaba diferente tiempo de almacenamiento, de acuerdo con lo cual se identificaron 3 lotes:

#### • COMUNICACION PERSONAL.

Lote A - estiércol con aproximadamente 5 días de almacenamiento.

Lote B - estiércol con aproximadamente 8 días de almacenamiento.

Lote C - estiércol con aproximadamente 30 días de almacenamiento.

Los estiércoles de los lotes A y B se caracterizaban por contener paja casi íntegra, mientras que la paja del lote C mostraba mayor destrucción.

- Sulfato de amonio (20.5 % N).

- Carbonato de calcio

- Cepas fúngicas: se utilizaron cepas de 3 diferentes tipos o razas, las cuales fueron:

Cepa P-3 de raza blanca.

Cepa B-4 de raza café.

Cepas H-1, H-2 y L de raza híbrida.

### 3.3. Metodología.

Antes de iniciar el proceso de composteo que a continuación se describe, se requirió conocer la composición del material utilizado, por ello fue necesario determinar el contenido de humedad, nitrógeno y cenizas del estiércol de caballo. Una vez que éste llegó al patio de composteo, se tomaron muestras homogéneas de cada uno de los lotes de estiércol A, B y C para su análisis en el laboratorio. La metodología utilizada para estos análisis fue la de la American Official Analytical chemical (A.O.A.C.).

### 3.3.1. Determinaciones analíticas.

#### 3.3.1.1. Determinación de humedad.

Se pesaron 20 gramos de muestra homogénea de estiércol de cada lote (por triplicado), y se colocaron en la estufa a 100 °C. Cada una de las muestras de estiércol fue pesada cada hora hasta obtener un peso constante, lo que se logró aproximadamente después de 6 horas.

El contenido de humedad (%) se obtuvo por diferencia de peso con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso final de la muestra}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100$$

#### 3.3.1.2. Determinación de nitrógeno (Macrodieldahl).

Las proteínas y demás materia orgánica son oxidadas por el ácido sulfúrico; transformándose el nitrógeno que se encuentra en forma orgánica a sulfato de amonio. Al hacer reaccionar esta sal con una base fuerte, se desprende amoníaco que se destila y recibe en un volumen conocido de ácido bórico con indicadores, formándose el borato correspondiente. Por titulación con ácido clorhídrico valorado, se calcula la cantidad de borato de amonio formado y así, la cantidad de nitrógeno de la muestra.

El procedimiento consistió en pesar 1 gramo de muestra de estiércol (base seca), en papel delgado blanco, introduciéndolo con

todo y papel en un matraz de Kjedahl de 800 ml. Se añadieron de 6 a 8 gramos de mezcla reactiva de Selenio (Merck Art 8030) y 25 ml. de ácido sulfúrico concentrado. Se agregaron piedras de ebullición al matraz Kjedahl y se colocó el mismo, a fuego hasta la total destrucción de la materia orgánica quedando atrapado el nitrógeno en forma de sulfato de amonio. Esto ocurrió hasta que la muestra adquirió una coloración clara transparente, aproximadamente después de 2 horas y media de digestión.

Se dejaron enfriar los matraces y se procedió a agregar 200 ml. de agua destilada. Los matraces fueron nuevamente enfriados en hielo durante 15 minutos.

En matraces erlenmeyer de 500 ml. se colocó 50 ml. de ácido bórico con 3 o 4 gotas de indicador rojo de metilo y azul de metileno. Estos matraces se colocaron en las salidas del destilador, cuidando que la punta del tubo del condensador penetrara en la solución del ácido.

Una vez fríos los matraces Kjedahl, se les agregaron 80 ml de solución de hidróxido de sodio al 2%, desmenuzando lentamente por la pared del matraz, para evitar la mezcla de la capa de ácido con la rosa, y con ello una posible fuga de amoniaco. Se conectó la boca del matraz inmediatamente al sistema de destilación, verificando que el tapón del destilador quedara perfectamente conectado. Para activar la reacción se agitó la mezcla, y el matraz se colocó en la perilla del destilador.

La destilación se dio por terminada al obtener en el matraz erlenmeyer 250 ml. del destilado. Se tituló con una solución valorada de ácido clorhídrico (0.01 N) hasta el virar de color verde violeta pálido.

Se elaboró un blanco (sin muestra) utilizando un pedazo de papel igual al empleado para cada una de las muestras de estiércol, procediendo con éste, de la misma manera que para las muestras.

El contenido de nitrógeno se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de nitrógeno} = \frac{0.014 \times N \times (\text{Vol}_m - \text{Vol}_b)}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

0.014 = Mivalente.

N = Normalidad del ácido clorhídrico.

Vol<sub>m</sub> = Mililitros de ácido clorhídrico gastados en titular la muestra.

Vol<sub>b</sub> = Mililitros de ácido clorhídrico gastados en el blanco.

Cabe hacer notar que cada determinación de nitrógeno se realizó en dos ocasiones.

### 3.3.1.3. Determinación de cenizas.

Se pesó medio gramo de muestra seca de cada uno de los tipos de estiércol (por triplicado), colocándolo en cápsulas pesadas pesadas después de calcinarlas durante 2 horas a 600 °C. Las muestras fueron carbonizadas primero en mechero, y posteriormente calcinadas en

la muria a 600 °C hasta que las cenizas se encontraban completamente de color gris. Si se observaban puntos negros se humedecían con unas cuantas gotas de agua destilada y se secaban en la estufa a 130 °C, y brevemente se calcinaban hasta adquirir la coloración deseada. Los crisoles con las muestras, se colocaban en un desecador a enfriar y entonces se pesaban. El porcentaje de cenizas se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de Cenizas} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso final de la muestra}}{\text{Peso de muestra inicial}}$$

### 3.3.2. Proceso de composteo utilizado.

Los tres lotes de estiércol (A, B y C), se compostearon siguiendo con ciertas variaciones, el método de composteo corto desarrollado por Beeh (1928). En los cuadros 11, 12 y 13 (Cap IV) se indica el esquema de composteo utilizado.

#### 3.3.2.1. Fase I

Esta fase se realizó en un patio de concreto al aire libre.

Enfriamiento. Se aplicó el suplemento nitrogenado distribuyéndolo sobre el estiércol, e inmediatamente después se adicionó agua, mezclando homogéneamente el material de manera manual con bieldos, formando montones amortos de baja altura.



El riego se llevó a cabo durante varios días hasta que el material adquiriera aproximadamente 70 % de humedad. Lo anterior se estimó prácticamente si al tomar el estiércol con las manos se presionaba y apenas se presentaban unas ligeras gotas de líquido entre los dedos.

Durante esta etapa se midió la temperatura presente en los montones mediante un termómetro bimetálico con una varilla de 60 cm.

Apilado (ola seco). El material fue mezclado lo más homogeneamente posible, y en caso de ser necesario se aplicó un riego ligero en las zonas que se mostraban secas. Se formaron pilas con sección cuadrangular, registrándose las temperaturas presentes en las pilas con termómetros bimetálicos.

Volteos. Esta operación se realizó también manualmente con bieldos, tratando de mezclar perfectamente los materiales. Para ello, las zonas exteriores de la pila se regaron ligeramente y fueron trasladadas al centro de la nueva pila, mientras que el material del centro de la pila se colocó en la parte exterior.

Una vez que el material composteado durante la fase I presentó un color café oscuro, con manchones blanquicos, un olor fuerte a amoníaco y la paja se desmenuzaba con poca resistencia, se procedió a someterlo a la fase II de composteo.

### 3.3.2.2. Fase II.

Esta fase se efectuó en un cuarto especial, conocido como túnel, aislado y desinfectado, donde se controló la temperatura de la composta por medio de inyecciones de vapor y ventilación de aire fresco.

El llenado del túnel se realizó por medio de carretillas para transportar el material del patio de composteo al túnel y en las zonas secas se dio un riego ligero.

Los tres lotes de composta fueron procesados a granel (bulk pasteurization) manejándose simultáneamente bajo las mismas condiciones en el mismo túnel de pasteurización. Se colocaron sensores de temperaturas (termopares) en diferentes puntos de la composta, así como en la parte superior e inferior del túnel. Los termopares estaban conectados a un pirómetro en el cual se registraron las temperaturas presentes en la composta durante la fase II. Después del llenado del túnel, se arranco el ventilador para nivelar las temperaturas en la composta, con reciclaje de aire y un ligero suministro de aire fresco. La inyección de vapor y apertura de aire fresco durante toda la fase II se determinó en función de las temperaturas registradas en la composta.

### 3.3.3. Cultivo.

Inóculo. El inóculo de las diferentes cebas utilizadas en éste trabajo fue propagado en grano de trigo libre de contaminantes, preparado en laboratorios con la infraestructura adecuada.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Inoculación. Se realizó manualmente mezclando perfectamente el inóculo con la composta y se llenaron bolsas de plástico con 30 kg. de composta ya inoculada.

Incubación. Se llevo a cabo en un cuarto especial (nave de cultivo) bajo condiciones ambientales controladas. Las bolsas de plástico con la composta inoculada se colocaron en estanterías de la nave de cultivo.

La temperatura del sustrato se controló mediante el manejo de la temperatura del aire circundante, cuando fue necesario se inyectó vapor en la nave. El nivel de humedad ambiental se controló humedeciendo el suelo, y la composta fue cubierta perfectamente con la bolsa de plástico para evitar el secado de la superficie del sustrato.

Cobertura. El material utilizado como cobertura fue una mezcla de tierra negra, tierra de bosque (hojarasca) y carbonato de calcio. Esta mezcla fue desinfectada con formalina concentrada (48 %) en una proporción de 1 litro/m<sup>3</sup> de tierra de cobertura. Después de tres días de haber aplicado la formalina, la mezcla fue ventilada, mezclada y humedecida para facilitar la formación de granulos.

Antes de colocar la tierra de cobertura sobre el sustrato preparado, este fue mezclado y compactado para lograr una superficie nivelada en cada una de las bolsas.

La tierra de cobertura se colocó a un espesor de aproximadamente 4 cm. Con ayuda de un cepillo de dientes metálicos se emparejó la cobertura, evitando que quedaran desniveles. Se dieron riegos ligeros

y finos para mantener en la tierra de cobertura el grado apropiado de humedad.

Inducción. Esta etapa se inicio cuando el micelio del champiñón alcanzo la superficie de la cobertura. Se disminuyó la temperatura de la composta y del aire mediante ventilación de aire fresco, manteniendo la humedad ambiental a un nivel de 90 % mediante riegos en el suelo y paredes de la nave de cultivo.

Tambien durante esta etapa se aplicaron los fungicidas Benlate y Zineb para evitar proliferación de mohos.

Cosecha. Se realizo manualmente cuando los esporoforos alcanzaron su máximo crecimiento, permaneciendo aun cerrados.

#### 3.3.4. Diseño experimental.

Durante el presente trabajo no fue posible manejar un diseño experimental. Las condiciones experimentales para el desarrollo del mismo, debieron ajustarse a las facilidades y recursos que nos proporcionó la empresa champiñonera en donde se realizo.

INIECALI S.A. de C.V. es una empresa comercial de reciente apertura, con el presente trabajo se inicio propiamente la producción en la misma. Las instalaciones de esta planta champiñonera esta adecuada para manejar fines comerciales, esto dificulto el trabajar bajo un diseño experimental, sin llevar a cabo repeticiones para cada uno de los tratamientos por la dificultad de manejar grandes

cantidades de estiércol. Adicional a ello, es necesario remarcar que en México, la tecnología e investigación en esta área es escasa y no difundida, debido principalmente al hermetismo presentado por los escasos productores.

Para poder realizar repeticiones para cada uno de los tratamientos planteados, es necesario manejar pequeñas cantidades de composta, y contar con 3 tuneles de pasteurización a nivel experimental.

#### IV. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.

##### 4.1. Utilización de estiércol fresco y almacenado en la preparación de sustratos.

En experimentos realizados por Bech & Rasmussen (1968), se evaluó la combinación de sulfato de amonio y carbonato de calcio como suplemento de un estiércol fresco (recolectado diariamente) y de un estiércol viejo o almacenado (recolectado cada 2 meses), en la preparación de sustratos para el cultivo del champiñón. Estos investigadores encontraron que la suplementación necesaria dependió del contenido de materia seca y del tiempo de almacenamiento del estiércol. Así, para obtener máximos rendimientos, el estiércol almacenado requirió de menores niveles de suplementación, en comparación al estiércol fresco.

De acuerdo con los resultados de estas investigaciones, fue posible utilizar estiércol almacenado para producir composta con rendimientos aceptables. Dada la importancia práctica que revisten estos resultados, se consideró adecuado evaluar su validez en las condiciones locales en donde se desarrolló el presente trabajo. Con este fin, se utilizaron 3 lotes de estiércol con diferentes tiempos de almacenamiento, para preparar 3 lotes de composta, definidos como lotes A, B y C. De esta manera, se pretendía evaluar si la productividad de la composta se veía afectada por el tiempo de almacenamiento del estiércol.

#### 4.1.1. Composición y formulación de los estiércoles utilizados.

Las características de los estiércoles empleados están indicadas en el Cuadro 10. El peso húmedo de los lotes A, B y C señalados en este Cuadro, corresponde al de una tonelada Normal. Considerando que esta equivale a 450 Kg. de materia seca (Bech, 1978). De ahí que el peso húmedo de una tonelada normal no sea constante para cada uno de los lotes, ya que éstos presentaron un contenido de humedad diferente. De esta manera una tonelada normal de estiércol de los lotes A y B, con un contenido de humedad de 55.50 % y 55.90 % equivale a 1011 y 1020 Kg. respectivamente. Para el caso del lote C, con un contenido de humedad de 40%, una tonelada normal equivale a 755 Kg.

El contenido de cenizas para los lotes A y B fue respectivamente de 14.76 y 15.42 %, mientras que para el lote C, este fue de 29.80 %. El contenido de nitrógeno en los lotes A y B fue de 1.19 y 1.10 %, mientras que para el lote C fue de 1.56 %.

Se observó que tanto el porcentaje de cenizas como el del nitrógeno fue mayor en el lote C, en comparación con los lotes A y B.

En el Cuadro 10, también se indica el balance de nitrógeno de las mezcias que se suplementaron con sulfato de amonio y carbonato de calcio, de acuerdo a las proporciones recomendadas para cada tonelada normal. El contenido de nitrógeno final de la mezcla del lote C (1.67 %) resultó mayor, en comparación al de los lotes A (1.50 %) y B (1.42 %).

CUADRO 10. COMPOSICION DE LOS LOTES DE ESTIERCOL A, B Y C,  
Y FORMULACION DE LAS MEZCLAS DE ESTIERCOL DE CABALLO  
PARA LA PREPARACION DE COMPOSTAS.

MATERIALES						CONTENIDO DE NITROGENO				
L O T E	ESTIERCOL DE CABALLO			SUPLEMENTOS**		ESTIERCOL DE CABALLO		SULF. AMON.	MEZCLA	
	PESO HUMEDO (Eq)	HUMEDAD (%)	CENIZAS (%)	SULF. DE AMON.	CaCO <sub>3</sub>	(%)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(%)
A	1011	55.50	14.76	11	33	1.19	5.35	2.25	7.60	1.50
B	1020	55.90	15.42	11	33	1.10	4.95	2.25	7.20	1.42
C	755	40.40	29.81	11	33	1.56	7.02	2.25	9.27	1.87

• Peso fresco de una tonelada normal, la cual equivale a 450 kg. de materia seca.

\*\* eq./ tonelada normal.



#### 4.1.2. Proceso de composteo.

##### 4.1.2.1. Fase I.

En el Cuadro 11 se indica el esquema de composteo utilizado para el lote A. La etapa de pretratamiento se inició en el día considerado como -4; el estiércol fue suplementado con aproximadamente 25 % del sulfato de amonio total (2.9 kg/ton. normal de estiércol). Se adicionó agua con el fin de activar a los microorganismos presentes en el estiércol e iniciar el proceso de fermentación, amontonando el material y formando un banco semielíptico. En el día -3 se aplicó el sulfato de amonio restante y agua para llevar el material hasta aproximadamente 70 % de humedad; mezclando perfectamente los materiales y formando montones con una sección aproximada de 1.50 de ancho por 1.00 m. de altura. En el día -2 se observaron escurrimientos de agua, lo cual indicaba exceso de humedad. Las temperaturas registradas dentro de la composta se encontraban en un rango de 30 a 35 °C. En el día -1 el material fue mezclado y amontonado nuevamente con el fin de eliminar agua, incrementando las dimensiones de los montones a 2.0 x 1.50 m. para fomentar mayores temperaturas dentro de la composta. Durante la tarde se registró un rango de temperatura de 40 a 50 °C en la composta.

En el día cero se formó una pila con una sección de 1.70 x 1.50 m. No fue necesario adicionar agua, y se registraron temperaturas promedio dentro de la pila de composta de 51.5 °C en la mañana y 57 °C a las 5 durante la tarde.

CUADRO 11. PROCEDIMIENTO DE COMPOSTEO (FASE I) PARA LA PREPARACION DEL LOTE A.

DIA	ETAPA	OPERACIONES	DIMENSIONES	SUPLEMENTOS <sup>1</sup>
-4	Pretratamiento	Mezclado y amontonado con riego.	amorro	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 2.9 \text{ kg}$
-3		Amontonado con riego.	1.5 x 1.0	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 8.1 \text{ kg}$
-2				
-1		Mezclado y amontonado.	2.0 x 1.5	
0	Apilado	Mezclado y apilado	1.7 x 1.6	
1				
2	1 <sup>er</sup> Volteo	Mezclado con riego y apilado.	1.8 x 1.7	$\text{CaCO}_3 = 33 \text{ kg}$
3	2 <sup>do</sup> Volteo vllonado.	Mezclado con riego		

<sup>1</sup> Base de calculo = 450 kg. de materia seca del estiércol de caballo.

En el día 1 no se realizó ninguna operación, registrándose temperaturas entre 57 °C y 60 °C. En el día 2 se realizó un primer volteo, agregándose 33 kg. de carbonato de calcio/ ton. normal de estiércol; se mezcló y se dio un riego muy ligero, formando una pila de aproximadamente 1.80 x 1.70 m..

Previo al llenado, en el día 3 se realizó un segundo volteo, en donde también se aplicó un riego ligero. La pila antes del llenado presentaba una temperatura de 45 °C ± 7.

En el Cuadro 12 está indicado el procedimiento de composteo empleado en el lote B. El pretratamiento al igual que en el lote A, se inició en el día -4. De manera similar, el estiércol fue suplementado con parte de la fuente nitrógenada y se adicionó agua, para iniciar el proceso de fermentación. En el día -3 se agregó el sulfato de amonio restante, mezclándolo y añadiendo nuevamente agua para llevar la mezcla a aproximadamente 70 % de humedad. Se formaron montones amorfos con una sección de 1.20 x 1.00 m.. Durante la tarde se registraron temperaturas en un rango de 38 a 40 °C en el montón formado. En el día -1 (en la tarde) el rango de temperaturas presentes en el montón fue de 38 a 45 °C.

En el día 0 el material fue mezclado aplicándole un riego ligero pues se presentaban algunas zonas secas. Se formó una pila aproximadamente de 1.70 x 1.60 m.. Durante la tarde se registró una temperatura promedio de 51 °C ± 11 en la pila.

Durante el primer volteo en el día 2, se agregaron 11 kg. de CaCO<sub>3</sub> por ton. normal de estiércol; se mezcló con riego ligero y se formó

CUADRO 12. PROCEDIMIENTO DE COMPOSTEO (FASE 1) PARA LA PREPARACION DEL LOTE B.

DIA	ETAPA	OPERACIONES	DIMENSIONES	SUPLEMENTOS
-4	Pretratamiento	Amontonado con riego.	amorfo	$(NH_4)_2SO_4 = 2.1 \text{ kg}$
-3		Mezclado con riego y amontonado.	1.2 x 1.0	$(NH_4)_2SO_4 = 8.9 \text{ kg}$
-2				
-1				
0	Apilado	Mezclado con riego y apilado.	1.7 x 1.6	
1				
2	1 <sup>er</sup> Volteo	Mezclado con riego y apilado.	1.8 x 1.7	$CaCO_3 = 33 \text{ kg}$
3	2 <sup>do</sup> Volteo y llenado.	Mezclado con riego		

\* Base de cálculo = 450 kg. de materia seca del estiércol de caballo.

una pila de 1.60 x 1.70 m.. En la tarde se registró un rango de temperatura entre 38 y 62 °C, con un promedio de 52 °C ± 10.

En el día 3 se realizó un segundo volteo con riego ligero; antes del llenado se registró un promedio de temperaturas de 46 °C ± 11 en la pila.

El procedimiento de composteo (Fase I) empleado en el lote C, está indicado en el Cuadro 13. La etapa de biotratamiento se inició en el día -5. En este día, la totalidad del sulfato de amonio fue adicionado en una sola dosis (11 Eq./ ton. normal de estiércol). Los materiales fueron mezclados, añadiéndoles agua para elevar el contenido de humedad de la mezcla hasta 70 %, amontonándoseles en un banco de 1.60 x 1.80 m.. En el día -4, el montón presentaba exceso de humedad (con escurrimientos de agua) y bajas temperaturas (20 - 25 °C). Se decidió entonces repartir el material en varios montones de aproximadamente 1.50 x 0.4 m., con el objetivo de eliminar el exceso de humedad y facilitar la aireación. En el día -2 se mezcló el material, formándose un solo montón de aproximadamente 2.0 x 1.50 m. En el día -1 se registraron temperaturas en la pila en un rango de 40 a 48 °C.

En el día 0, el material fue mezclado y apilado a 1.0 x 1.80 m., y en el día 1, durante el primer volteo se apiló a 1.90 x 1.60 m.. Es importante mencionar que se presentaron dificultades para formar la pila, debido a la falta de estructura del material, pues la pila se encontraba algo destruida.

CUADRO 13. PROCEDIMIENTO DE COMPOSTEO (FASE 1) PARA LA PREPARACION DEL LOTE C.

DÍA	CLASE	OPERACIONES	DIMENSIONES	SUPLEMENTOS <sup>*</sup>
-5	Pretratamiento	Mezclado y amontonado con riego.	1.8 x 1.8	$(NH_4)_2SO_4 = 11 \text{ kg.}$
-4		mezclado y amontonado.	1.8 x 1.4	
-3				
-2		mezclado y amontonado.	2.0 x 1.5	
-1				
0		mezclado y apilado.	2.0 x 1.8	
1	1 <sup>er</sup> volteo	mezclado y apilado.	1.8 x 1.8	
2	2 <sup>do</sup> volteo y llenado	mezclado con riego.		CaCO = 33 kg

\* Base de cálculo = 450 kg. de materia seca del estiércol de caballo.

En el día 2 se agregaron 33 kg. de carbonato de calcio / ton. normal de estiércol. Al mezclar los materiales se aplicó un riego ligero. Antes del llenado, en la pila, la composta presentaba un rango de temperaturas de 33 a 50 °C con un promedio de 43 °C ± 6.

En general, el esquema de composteo utilizado para los tres lotes presentó una duración de 8 días durante la fase I. La etapa de pretratamiento se realizó durante 4 días en el caso de los lotes A y B, en tanto que en el lote C, esta se efectuó en 5 días. Esto sucedió en realidad, porque de acuerdo a la disponibilidad del personal, en el día considerado como -5, únicamente fue posible manejar el lote C; el composteo para los lotes A y B se inició un día después.

En el Cuadro 14 están indicados algunos cambios en la composición de los lotes de estiércol procesados durante la Fase I a cielo abierto.

#### 4.1.2.2. Fase II.

En el Cuadro 15 se indican las condiciones que se siguieron durante las etapas de pasteurización y acondicionamiento en la Fase II del composteo. La composta en las pilas de fermentación al aire libre, se encontraba bastante activa, con una temperatura promedio de 47 °C, la cual, después de haber llenado el túnel, se encontraba entre 43 a 59 °C. Por ello, antes de iniciar la pasteurización, la temperatura de la composta fue homogenizada con la ayuda del sistema de ventilación. Con tal objetivo se arrancó el ventilador con un suministro mínimo de aire fresco y una alta recirculación.

CUADRO 14. CAMBIOS DE COMPOSICION EN LOS LOTES DE COMPOSTA  
A, B Y C DURANTE LA FASE I DE COMPOSTEO.

COMPOSTA		COMPOSICION ( % )		
LOTE	ETAPA	HUMEDAD	NITROGENO	CENIZAS <sup>*</sup>
A	Apilado	68.91	1.47	21.58
	Llenado	70.20	1.34	20.39
B	Apilado	70.68	1.39	16.59
	Llenado	69.15	1.29	20.36
C	Apilado	72.18	1.89	27.37
	Llenado	70.10	1.60	30.16

\* Determinacion en base seca.



CUADRO 15. CONDICIONES DE PASTEURIZACIÓN Y RECONDICIONAMIENTO PARA LOS LOTES A, B Y C.

TIEMPO DIA HORA	VENTILACION <sup>*</sup>		TEMPERATURA DE COMPOSTA ( °C )		ETAPA	PH DEL AIRE
	AIRE FRESCO (%) (OPERADOR) (hrs)		RANGO	PRUEBIO		
1	9-12	26 (3)	43-59	47 ± 3	NIVELACION	
	12-18	26 (3), 22 (3)	44-53	50 ± 3	NIVELACION	
	18-22	10 (1), 22 (1)	55-60	58 ± 1	PASTEURIZA CION.	
	22-24	10 (2)	51-56	53 ± 1	NIVELACION	
2	10-12	10 (12)	52-54	53 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	8.5
	12-24	10 (11), 22 (1)	51-57	53 ± 1		
3	0-12	10 (11), 22 (1)	51-55	54 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	
	12-24	22 (3), 10 (9)	51-54	53 ± 1		
4	0-12	10 (12)	52-54	53 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	
	12-24	22 (9), 10 (3)	51-54	52 ± 1		
5	0-12	10 (9), 26 (3)	52-54	54 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	
	12-24	26 (6), 10 (5) **	52-55	53 ± 1		
6	0-12	10 (10), 22 (2)	52-57	54 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	
	12-24	26 (5), 22 (1)	50-57	54 ± 1		
7	0-12	10 (11), 22 (1)	51-55	53 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	
	12-24	22 (7), 10 (5)	52-54	53 ± 1		
8	0-12	10 (11), 26 (1)	52-54	53 ± 1	ACONDICIONA MIENTO.	
	12-24	26 (7) ** 10 (4)	49-54	51 ± 1		
9	0-6	10 (6)	51-54	53 ± 1		
	6-18	26 (12)	37-44	42 ± 4	ENFRIAMIENTO	7.2
	18-24	NR	NR	NR		
10	0-6	22 (6)	27-29	28 ± 1	INOCULACION	7.2

\* Se indica el lapso (horas) en que el ventilador estuvo trabajando a la apertura (porcentaje) de aire fresco indicado.

\*\* Interrupción en la operación por falta de energía eléctrica.

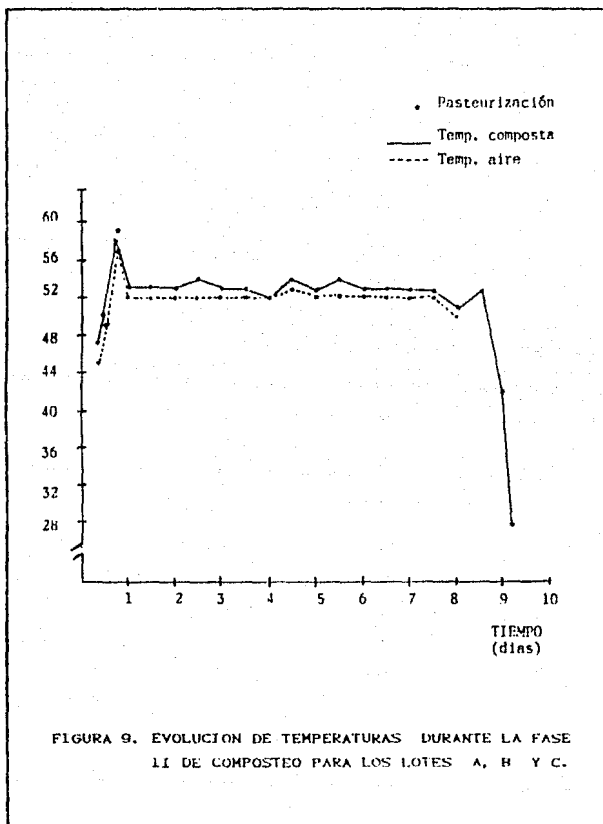
NR = Datos no registrados.

Una vez nivelada la temperatura en la composta, la pasteurización se llevo a cabo por un periodo de 4 horas (de las 16 a las 20 horas) a una temperatura promedio de 58 °C. Para incrementar la temperatura de la composta en el tunel, al nivel de pasteurización, se le inyectó vapor y la entrada de aire fresco se disminuyó a un nivel de 10 %. En ciertos momentos, en algunas zonas de la composta, la temperatura se incrementó hasta 60 °C, por lo que fue necesario incrementar la apertura del ventilador de aire a 20 % durante una hora para evitar que la temperatura ascendiera por arriba de este nivel.

Al terminar la fase de pasteurización, se suspendió la inyección de vapor, manteniendo un ligero suministro de aire fresco (apertura 10 %) para disminuir gradualmente la temperatura de 58 a 53 °C, y entonces iniciar el acondicionamiento de la composta.

Del segundo al noveno día, la temperatura de acondicionamiento se controló en el rango de 52 a 54 °C, ajustando los suministros de vapor y de aire fresco, de acuerdo con el descenso o incremento de la misma. En la Figura 9 se indica la evolución de temperaturas durante la fase II, es posible observar que no se presentó una gran diferencia entre las temperaturas presentes en la composta y la temperatura del aire dentro del tunel de pasteurización; permaneciendo esta, típicamente unos grados más abajo.

La ventilación fue interrumpida durante algunas horas por falta de energía eléctrica durante el quinto y octavo día de pasteurización, ocasionando con ello que la temperatura en la composta se incrementara ligeramente (ver rango de temperatura Cuadro 15). En el noveno día la



composta se encontraba libre de amoníaco de acuerdo al papel indicador de pH y a la percepción olfativa. A las 6 horas de ese mismo día, se inició el enfriamiento de la composta, aumentando para ello, el suministro de aire fresco y suspendiendo totalmente las inyecciones de vapor. Después de 24 horas, a las 6 horas del décimo día, la temperatura de la composta se encontraba a 28 °C. va en condiciones de ser inoculada.

#### 4.1.3. Rendimiento de estiércol a sustrato pasteurizado.

Un criterio importante para comparar la efectividad de diferentes procedimientos de preparación de sustratos, consiste en la medición de la eficiencia en la conversión del material básico, estiércol en este caso, a sustrato pasteurizado.

Para tal efecto, en el Cuadro 16 se indican las cantidades de materiales procesados inicialmente para cada lote de composta, así como la producción de sustrato pasteurizado (sustrato II) correspondiente.

La cantidad de material básico inicial, utilizado para los lotes A, B y C, fue de 6 298, 5 902 y 5 700 kg. de estiércol fresco (peso húmedo), lo cual corresponde a 2 798, 2 602 y 3 341 kg. de materia seca respectivamente. De acuerdo con el parámetro "tonelada normal" propuesto por Bech (1978), la cantidad de estiércol procesado para los tres lotes resultó ser de 6.22, 5.76 y 7.54 toneladas normales de estiércol.

CUADRO 16. DATOS DE CONVERSION DE ESTIERCOL A SUSTRATO PASTEURIZADO.

		LOTES DE COMPOSTA		
UNIDADES		A	B	C
<b>I. CANTIDADES DE ESTIERCOL PROCESADO.</b>				
1.- Estiercol fresco	( kg )	6 289	5 902	5 700
1.1. Densidad	( kg/m <sup>3</sup> )	331	342	300
1.2. Volumen	( m <sup>3</sup> )	19.0	17.26	19.0
1.3. Humedad	( % )	55.5	55.90	41.4
2.- Materia seca	( kg )	2 798	2 602	3 397
3.- Toneladas normales				
3.1. Equivalencia	$\frac{\text{kg estiercol}}{\text{ton normal}}$	1 011	1 020	755
3.2. Totales	(ton normales)	6.22	5.78	7.54
<b>II. PRODUCCION DE SUSTRATO PASTEURIZADO.</b>				
1.- No. de bolsas	( No )	225	187	268
2.- Peso total del sustrato	( kg )	6 750	5 610	6 298
2.1. Humedad	( % )	67	66	67
3.- Materia seca	( kg )	2 227	1 907	2 078
4.- Rendimientos Unitarios				
4.1. Por tonelada de estiercol fresco (peso humedo)	( kg )	1 073	951	1 105
4.2. Por tonelada normal.	( kg )	1 085	970	834

La producción de sustrato pasteurizado a partir del estiércol fresco para los lotes H y B resultó de 225 y 187 bolsas con 30 kg. de sustrato II; para el lote C de 268 bolsas con 23.5 kg. de sustrato II. Este número de bolsas corresponde a 6 750, 5 610 y 6 298 kg. de sustrato pasteurizado (peso húmedo), o bien a 2 127, 1 907 y 2 087 kg. de materia seca para cada uno de los lotes respectivos.

Con el objetivo de comparar la eficiencia en la conversión de estiércol a sustrato pasteurizado, se determinó la producción de sustrato pasteurizado tanto por tonelada de estiércol fresco, como por tonelada normal de estiércol (ver Cuadro 16). Para el lote A, la producción de sustrato pasteurizado fue de 1 073 kg. por tonelada de estiércol fresco y 1 005 kg. por tonelada normal. Para el lote B el rendimiento fue de 951 kg. por tonelada de estiércol fresco y de 970 kg. por tonelada normal. Finalmente, para el lote C el rendimiento resultó de 1 105 kg. por tonelada de estiércol fresco y 843 kg. por tonelada normal.

#### 4.1.4. Condiciones de cultivo.

Las condiciones de cultivo para los lotes A, B y C fueron esencialmente semejantes. Se inocularon con la cepa L con una tasa de inoculación de 0.4 %.

La propagación vegetativa, así como las siguientes etapas de cultivo se llevaron a cabo en la misma nave de cultivo, bajo las

mismas condiciones ambientales. La incubación del micelio sobre la composta presentó una duración de 35 días, posterior a la inoculación. En este lapso, durante varios días, la temperatura de la composta descendió hasta 10 °C, y fue necesario inyectar vapor para elevarla al valor recomendado de 25 °C.

Una vez que el micelio del hongo colonizó la composta, las bolsas fueron cubiertas con la tierra de cobertura; al realizar esta operación, la temperatura de la composta se encontraba a 28 °C, habiendo descendido a 25 °C al terminar esta operación. Después de 10 días, el micelio del champiñón se encontraba a varios milímetros de la superficie. Al alcanzarse esta situación, se procedió a inducir el cultivo a fructificar. Para ello, se inyectó aire fresco hasta bajar la temperatura de la composta a 18 °C. Se regó regularmente con pequeñas cantidades de agua, para mantener una humedad adecuada en la cobertura. Aproximadamente después de 8 días, se formaron los esporoforos del primer brote. A partir de ese momento, la temperatura de la composta se mantuvo a 18 °C. Se aplicaron riegos ligeros 2 veces por día, y cuando los botones de los champiñones alcanzaron un tamaño medio, se regaron con mayor abundancia. La ventilación con aire fresco dependió de la cantidad de esporoforos en el sustrato, y de la temperatura ambiental. En el Cuadro 17 se indican las temperaturas registradas en cada una de las etapas mencionadas.

CUADRO 17. TEMPERATURAS REGISTRADAS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL CULTIVO DEL CHAMPIRON EN LOS LOTES DE COMPOSTA A , B Y C.

ETAPA	TEMPERATURAS ( C° )	DURACION (DIAS)
INOCULACION	20 - 28	3
PROPAGACION VEGETATIVA.	10 - 25	35
COBERTURA	28	2
PROPAGACION EN LA COBERTURA.	25	10
INDUCCION	18 - 20	8
FASE PRODUCTIVA	15 - 18	60



#### 4.1.5. Productividad de los sustratos.

Los rendimientos producidos por los lotes A, B y C de composta inocuada con la cepa L, se determinaron registrandose las producciones diarias de hongos frescos sobre 225, 92 y 268 bolsas respectivamente. En el caso de los lotes A y B, estas contenían 30 kg de sustrato inoculado, mientras que con el lote C contenían 23.5 kg. El rendimiento diario por bolsa para cada lote, se estimó dividiendo la producción total obtenida diariamente de cada uno de ellos, entre el número de bolsas del mismo. Esto se realizó con el objeto de tener un parámetro de comparación común para los tres lotes de composta.

En los Cuadros A-7, A-8 y A-9 (Ver Cap. VIII) están registradas las producciones diarias obtenidas para los 3 lotes de composta durante 60 días de corte (gramos de hongo fresco por bolsa de 30 kg. de sustrato inoculado, y kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado (sust. II) ).

Vedder, (1979) señala que la producción del champiñón se presenta en ciclos conocidos como flujos o brotes. En cada ciclo o brote se alcanza gradualmente un máximo de producción, disminuyendo a continuación en forma progresiva hasta que se inicia el siguiente brote de producción. De acuerdo con ello, y en función de las variaciones de la producción, se definieron 7 brotes para los lotes A, B y C (ver Cuadros A-7, A-8 y A-9).

En el Cuadro 18 se indica la producción por brote (kg. hongo fresco/ ton. sust. II) y su duración (días) para cada lote. Asimismo,

en el Cuadro 19 está indicada la producción acumulada por brote, y el porcentaje que representa sobre la producción total en 60 días de corte (séptimo brote).

Fue posible observar que la duración de los brotes para los 3 lotes en producción fue variable, presentándose un rango entre 7 y 12 días. Asimismo, el rendimiento por brote no fue semejante. Se observó en el lote A, que el segundo brote fue en donde se presentó la mayor producción, siguiéndole el cuarto, quinto, sexto, primer y séptimo brote. Para el lote B, se observó que el segundo brote fue el más productivo, continuándole el cuarto, quinto, tercer, sexto y séptimo brote. Para el lote C, también en el segundo brote se alcanzó la mayor producción, continuándole el cuarto, primero, quinto, tercero, sexto y séptimo brote (Cuadro 18).

La producción hasta el séptimo brote para los lotes A, B y C fue de 185.9, 182.8 y 177.6 kg./Ton. sust. el respectivamente (Cuadro 19). Comparando los rendimientos obtenidos en los tres lotes es posible observar que el lote A presentó un mayor rendimiento en comparación al de los lotes B y C. No obstante estas diferencias son mínimas, ya que el rendimiento del lote A sólo supera en 3.1 kg. al lote B, y en 8.3 kg. al del lote C.

CUADRO 18. PRODUCCION Y DURACION POR BROTE PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado con la cepa L).

BROTES	LOTES DE COMPOSTA					
	PRODUCCION (kg.) - Duracion (dias)					
	A		B		C	
(kg.)	(dias)	(kg.)	(dias)	(kg.)	(dias)	
1	6.0	6	36.0	6	22.8	6
2	121.7	11	73.2	8	75.6	8
3	2.4	5	14.5	6	7.7	6
4	29.0	10	33.2	7	55.8	8
5	11.9	7	15.8	10	19.6	11
6	11.2	12	9.0	11	10.7	9
7	3.3	9	6.8	10	5.0	12

CUADRO 19. PRODUCCION ACUMULADA POR BROTE PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (Kq. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado con la cepa L ).

BROTOS	LOTES DE COMPOSTA					
	PRODUCCION (Kq.) - PORCENTAJE (%)					
	A		B		C	
(Kq.)	(%)	(Kq.)	(%)	(Kq.)	(%)	
1	6.0	3.3	30.0	16.4	22.8	12.8
2	127.7	68.6	103.2	56.4	98.5	55.4
3	130.2	70.0	117.7	64.3	106.2	59.7
4	159.3	85.6	151.0	82.6	142.1	80.0
5	171.2	92.0	166.8	91.2	161.7	91.0
6	182.5	98.1	175.9	96.5	172.5	97.1
7	185.9	100.0	182.8	100.0	177.6	100.0

#### 4.2. Productividad de diferentes cepas de *Agaricus bisporus*.

En términos generales, se puede aseverar que la producción del champiñón sobre un sustrato determinado, estará en función del tipo y calidad del mismo, así como de las características de la cepa utilizada. Los resultados experimentales dependerán también de un manejo adecuado del cultivo en sus diferentes etapas.

En el experimento anterior se buscaba preparar sustratos cuyo tipo y calidad permitieran un alto rendimiento, como punto siguiente, se consideró necesario tratar de optimizar la productividad, empleando cepas de diferente origen.

Para el cultivo comercial de *A. bisporus* se utilizan cepas de 3 diferentes tipos o razas: café, blanca e híbrida. No existen investigaciones que indiquen diferencias fisiológicas o genéticas específicas entre estas razas. A pesar de lo cual, se pueden presentar variaciones entre cepas de estas razas que resulten en distintas productividades sobre un sustrato muy particular, como es en este caso el preparado por composteo corto a partir de estiércol de caballo.

##### 4.2.1. Características de las cepas empleadas.

Considerando los argumentos anteriores, para esta evaluación se utilizó una cepa de raza blanca, una de raza café y 3 cepas híbridas. En el Cuadro 29 se indican las cepas utilizadas y las características de sus esporocios, las cuales fueron observadas durante el desarrollo de estos experimentos.

CUADRO 20. CARACTERISTICAS DE CEPAS DE *A. bisporus* EMPLEADAS PARA EVALUAR SU PRODUCTIVIDAD.

CEPA	PROCEDENCIA	CARACTERISTICAS			
		RAZA	ESPOROFORO		
			ESCAMAS	FORMA	ESTIPITE
P-3	Alemania	Bianca	Husentes	Elíptica	Largo
B-4	Alemania	Café	Escasas	Redonda	Corto
H-1	Alemania	Híbrida	Escasas	Elíptica	Mediano
H-2	Alemania	Híbrida	Abundante	Elíptica	Mediano
L	México	Híbrida	Abundante	Elíptica	Mediano

La cepa P-3 de raza blanca pura, presentó un cuerpo fructífero de forma elíptica, sin presencia de escamas. El estipite (trono o pata) de los esporoforos tiende a ser largo.

La cepa B-4 de raza café, se caracteriza por un esporoforo redondo con escasas escamas y con un tamaño de estipite mediano.

Las cepas H-1 y H-2 de raza híbrida producen esporoforos elípticos, con escasas escamas en el caso de la cepa H-1, y abundantes en la cepa H-2. El tamaño del estipite es mediano en ambas cepas.

La cepa L de raza híbrida, presenta un esporoforo elíptico, con abundantes escamas y con un tamaño de estipite mediano.

#### 4.2.2. Procedimiento de composteo y cultivo.

Debido a limitaciones en la disponibilidad de los materiales y espacio, este experimento se realizó conjuntamente con el anteriormente descrito. Se prefirió usar sustrato preparado con estiércol fresco, ya que en la literatura se le considera como el material más productivo y el que menos problemas presenta durante el composteo. Dado que los lotes de estiércol A y B, presentaban características similares, y fueron procesados mediante un procedimiento semejante de composteo, se esperaba que no habría mucha diferencia entre ellos; por lo que se eligió al azar el lote B, para evaluar el rendimiento de las diferentes cepas de *H. bisporus*. En el experimento anterior se describió el procedimiento de composteo utilizado (ver secciones 4.1.1. a 4.1.3.).

El sustrato pasteurizado fue inoculado mezclando perfectamente la semilla de cada cepa con la composta y colocando 30 Kg. de sustrato inoculado en bolsas de plástico. Se utilizó una taza de inoculación similar al del experimento anterior (0,4%).

Se empleó el mismo procedimiento de cultivo indicado anteriormente con los lotes A, B y C, inoculados con la cepa L. Asimismo, las condiciones de cultivo fueron esencialmente las mismas, tan sólo variando en la duración de la etapa productiva para cada una de las cepas empleadas (ver Cuadros A-10, A-11, A-12 y A-13).

#### 4.2.3. Productividad de cepas.

Los rendimientos producidos por las cepas P-3, B-4, H-1, H-2 y L fueron estimados utilizando respectivamente 24, 32, 21, 18 y 92 bolsas con 30 kg. de sustrato inoculado. También en este caso se registraron las producciones totales, kg. de hongo fresco, cosechadas diariamente de todas las bolsas para cada cepa. Con estos datos se calculó el rendimiento diario por bolsa, dividiendo la producción diaria total de cada cepa entre el número de bolsas en producción de las mismas.

En los Cuadros A-10, A-11, A-12 y A-13 se indica la producción diaria, en gramos de hongo fresco por bolsa de 30 Kg. de sustrato inoculado, para cada una de las cepas utilizadas. Así como la producción en kg de hongo fresco por tonelada de sustrato pasteurizado, también se indican los brotes de producción definidos para cada una de las cepas de *A. bisporus*.



En el Cuadro 21 se presenta la producción y duración por brote para cada una de las cepas utilizadas. Se observó que la duración de los brotes para la cepa P-3 fue bastante uniforme, siendo el tercer brote en donde se alcanzó la mayor producción, siguiéndole el cuarto, segundo, quinto y por último, el primer brote. Con la cepa B-4 el segundo brote fue el más productivo continuando el tercero, cuarto, quinto, primero y sexto brote. Para la cepa H-1 se observó que en el segundo brote se presentó la mayor producción, continuando el tercero, cuarto y quinto brote. También para la cepa H-2 el segundo brote fue el más productivo, siguiéndole el tercero, primero, cuarto y quinto brote.

La producción final obtenida con las diferentes cepas fue de 182.6 Kg. hongo fresco/ Ton. sust. H para la cepa P-3 (hasta el quinto brote); para la cepa B-4 de 202.5 kg (hasta el sexto brote); con la cepa H-1 y H-2 fue de 206.5 y 203.7 kg, respectivamente (hasta el quinto brote); y de 182.8 kg. para la cepa L (al sexto brote) (ver Cuadro 22). No existió uniformidad en el número de brotes debido a que se presentaron contaminaciones con algunas cepas. Comparando los rendimientos obtenidos con las diferentes cepas utilizadas fue posible observar que las cepas H-1, H-2 y B-4 presentaron rendimientos numéricamente semejantes; con las cepas P-3 y L, los rendimientos estuvieron por abajo entre 20 y 23 kg.

CUADRO 21. PRODUCCION Y DURACION POR BROTE PARA DIFERENTES CEPAS DE *Agaricus bisporus* (Kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado).

BROTOS	LOTES DE COMPOSTA									
	PRODUCCION (kg.) - DURACION (dias)									
	P-3		B-4		H-1		H-2		L	
	(kg)	(dias)	(kg)	(dias)	(kg)	(dias)	(kg)	(dias)	(kg)	(dias)
1	8.1	7	13.1	6	43.0	9	46.8	8	30.0	6
2	40.5	6	61.4	6	79.3	9	69.6	9	73.2	8
3	63.5	7	49.2	7	56.8	7	53.7	8	14.5	6
4	54.8	7	45.3	9	15.8	8	18.5	8	33.2	9
5	15.5	8	21.3	7	11.5	11	14.8	12	15.8	10
6	N.D.		11.9	12	N.D.		N.D.		9.0	11
7	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.		6.8	10

N.D. = Datos no determinados.

CUADRO 22. PRODUCCION ACUMULADA POR BROTE PARA DIFERENTES CEPAS DE *Agaricus bisporus* Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (Kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado).

B R O T E S	LOTES DE COMPOSTA									
	PRODUCCION (KG.) - PORCENTAJE (%)									
	P-3		B-4		H-1		H-2		L	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
1	8.1	4.4	13.1	6.4	43.0	20.8	46.8	22.9	50.0	16.4
2	48.6	26.6	74.5	36.7	122.3	59.2	116.4	57.1	103.2	56.4
3	112.1	61.3	123.8	61.1	179.2	86.7	170.1	83.5	117.7	64.3
4	167.0	91.4	169.1	83.5	195.0	94.4	188.7	92.7	151.0	82.6
5	182.6	100	190.5	94.0	206.5	100	203.5	100	166.8	91.2
6	N.D.		202.5	100	N.D.		N.D.		175.9	96.2
7	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.		182.8	100

N.D. = Datos no determinados.

## V. DISCUSION.

5.1. Comparación de las productividades de sustratos preparados a partir de estiércol fresco y almacenado.

5.1.1. Composición de los estiércoles utilizados.

Comparando la composición de los estiércoles empleados ( ver Cuadro 10 ), contenido de humedad, nitrógeno y cenizas, fue posible observar que el estiércol del lote C presentó diferencias en su composición respecto a los estiércoles de los lotes A y B. A diferencia de estos últimos, el lote C permaneció en las caballerizas durante aproximadamente un mes. Por ello, la paja que sirvió de cama a los caballos, estuvo expuesta por un periodo más prolongado a la acción de las pisadas de los mismos, sufriendo una mayor destrucción que la de los estiércoles A y B. Aunado a lo anterior el estiércol que permanece un prolongado tiempo en las caballerizas está sujeto a una mayor degradación microbiológica, con la consecuente pérdida de materia orgánica y agua.

La descomposición microbiana que sufrió el estiércol del lote C durante su almacenamiento, ocasionó muy probablemente que éste presentara un contenido de humedad menor (40.4 %) en comparación con los lotes A y B (con 50.5 y 55.9 % respectivamente). Asimismo la mayor pérdida de materia orgánica en este lote, ocasiona que su nivel de cenizas se incremente. Esto explica por qué el porcentaje de

cenizas para el lote C (29.81 %) fue mayor que en el caso de los lotes A (14.76 %) y B (15.42 %).

El lote de estiércol C presentó también un mayor contenido de nitrógeno (1.56 %) en comparación de los lotes A (1.19 %) y B (1.10%). Una probable explicación para esta diferencia, es que la actividad microbiana en el estiércol ocasionó una asimilación parcial del amoníaco generado por la fermentación, o adicionalmente, el estiércol con mayor tiempo de almacenamiento contiene una más alta cantidad de excretas (heces y orina), las que se acumulan en las caballerizas durante el periodo de almacenamiento, por lo que el porcentaje de nitrógeno en el "estiércol viejo" es mayor en comparación al del "estiércol fresco". Otra probable explicación es que la actividad microbiana durante el almacenamiento ocasiona una degradación selectiva de los carbohidratos, con una pérdida por volatilización del carbono; y ya que el nitrógeno se pierde en menor proporción, su porcentaje se ve incrementado.

Fue posible entonces observar que los estiércoles de los lotes A y B presentaron características muy semejantes, las cuales son diferentes al lote de estiércol con un mes de almacenamiento.

#### 5.1.2. Suplementación.

La recomendación de Bech & Rasmussen (1968) de suplementar con menores niveles de nitrógeno al estiércol viejo (almacenado) en comparación al estiércol fresco, esta probablemente asociada al mayor contenido de nitrógeno presente en un estiércol viejo. Estos

investigadores subrayan también la importancia de tomar muestras homogéneas del material y determinar su contenido de materia seca y nitrógeno para definir el nivel del suplemento nitrogenado a aplicar. Asimismo recomendaron que el estiércol al llegar al patio de composteo, debe ser procesado lo más pronto posible, esto probablemente para evitar cambios en la composición de los materiales.

Debido a la carencia de recursos en el laboratorio, no fue factible determinar inmediatamente los contenidos de nitrógeno de los estiércoles utilizados, por lo que se decidió suplementarlos con cantidades idénticas de sulfato de amonio (11 Eq. por tonelada normal de estiércol). Posteriormente al obtener los resultados de la composición del estiércol, se observaron las diferencias en contenido de nitrógeno ya indicadas en el Cuadro 10. De ahí que el porcentaje de nitrógeno final de la mezcla del lote C (1.87 %) resultó mayor que el contenido de nitrógeno de las mezclas de los lotes A (1.50 %) y B (1.47%).

### 5.1.3. Composteo.

El proceso de composteo empleado para la preparación de los 3 lotes de composta, fase I, presentó algunas variaciones, aunque fundamentalmente el esquema de composteo fue semejante. Se utilizó un método de composteo corto cuya duración total de pretratamiento y fase I, fue de 8 días para cada uno de los lotes.

Durante el pretratamiento los 3 lotes de estiércol fueron mezclados y humedecidos a fin de alcanzar la humedad óptima, en el

caso de los lotes A y C, al día siguiente de que se inició el pretratamiento se observaron escurrimientos de agua por exceso de humedad. Para contrarrestar esta situación, los materiales fueron mezclados nuevamente y se variaron las dimensiones de los montones, ya durante la etapa del apilado y llenado, los tres lotes se encontraban entre 69 y 71 % de humedad, dentro del nivel óptimo requerido durante la fermentación a cielo abierto (Cuadro 14). En observación directa al tomar el material entre las manos, y apretarlo firmemente aparecían algunas gotas entre los dedos, sin que se presentaran escurrimientos.

En el Cuadro 14 es posible observar también, que el contenido de nitrógeno en la composta disminuyó del apilado al llenado en los 3 lotes. Durante el proceso de fermentación los microorganismos liberan amoníaco de los compuestos nitrogenados orgánicos. El nitrógeno en esta forma es utilizado por otros microorganismos como una fuente de nitrógeno para formar sus tejidos o proteínas, siempre y cuando exista una fuente de energía (carbohidratos) este presente; durante este proceso cierta cantidad de amoníaco se pierde en condiciones alcalinas. En pocos días, esa masa de microorganismos muere y son descompuestos por otros microbios, nuevamente con liberación de amoníaco (Stanton & Conlton, 1983). La composta al llenado, fin de la fase I, presentaba un pH alcalino en los 3 lotes, y un fuerte olor a amoníaco, lo cual resulta de la pérdida parcial del amoníaco generado durante el composteo. Estas condiciones explican el menor contenido de nitrógeno al llenado, que al apilado.

En relación al contenido de cenizas, éste se incrementó del apilado al llenado en los lotes B y C, disminuyendo en el lote A. El aumento en el contenido de ceniza, es un resultado de la pérdida de materia orgánica, al ser transformada en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  durante el composteo. El incremento observado con los lotes B y C es congruente con tal fenómeno. La disminución observada con el lote A, se debe probablemente a un error experimental, tal vez por una contaminación de la muestra tomada al apilado, con algún material inerte.

El final del composteo a cielo abierto, el nivel de nitrógeno para los lotes A, B y C fue de 1.34 %, 1.29 % y 1.60 % respectivamente. La diferencia en el nivel de nitrógeno en los tres lotes se deriva del diferente contenido de nitrógeno presente en los materiales iniciales y de haber utilizado el mismo nivel de suplementación nitrogenada.

Stamets & Chilton (1983) indican que el nivel de nitrógeno óptimo al llenado debe ser de 1.5 %. El nivel de nitrógeno observado en los lotes A y B se encontró un poco por abajo del recomendado en la literatura; en el caso del lote C, el nivel fue ligeramente superior. Probablemente si los 3 lotes de composta hubiesen sido procesados separadamente durante la fase II, el tiempo en completarse la misma sería menor para los lotes A y B en comparación al lote C.

Gerrits (1977) encontró que al partir de un contenido de nitrógeno mayor de 1.5 % en composta de estiércol de caballo, la duración de la fase II se prolonga, pues el contenido de  $\text{NH}_4$  en la misma será más alto, y el tiempo en eliminar este amoníaco será mayor.



Practicamente no fue posible observar estas diferencias, ya que los tres lotes de composta debieron de ser procesados simultaneamente en el mismo tunel de pasteurización, debido a que este es de una capacidad aproximada de 60 toneladas de composta, y economicamente no era posible procesar a cada lote por separado. Para poder llevar a cabo tal experimento era necesario disponer de 3 tuneles de pasteurización de menor tamaño.

En la figura 8 fue posible observar la evolución de temperaturas durante la etapa de pasteurización y acondicionamiento (fase II) para los 3 lotes de composta. La pasteurización se realizo 8 horas después del llenado, a una temperatura promedio de 58 °C durante 4 horas, prefiriendose realizar esta operación al inicio del proceso, después de nivelar las temperaturas en la composta, para evitar que posteriormente la temperatura en la misma se elevara por arriba de 62 °C. A temperaturas más altas se desprenden grandes cantidades de amoniaco (el cual es más difícil de eliminar), y se puede causar una alta pérdida de humedad en la composta. Además durante un prolongado tiempo a temperaturas por arriba de 63 °C, la microflora deseada es inactivada e incluso muere.

Es posible también realizar la pasteurización hasta el final de la fase II, pero en este caso se tiene el inconveniente de que si durante la pasteurización se desprende amoniaco, no es factible eliminarlo ya de la composta, con el consecuente riesgo de muerte del micelio de *Agaricus* (Veeder, 1978).

durante la etapa de acondicionamiento la temperatura de la composta se mantuvo en promedio entre 53 y 54 °C por 8 días, hasta la eliminación del amoníaco. La fase II de composteo para los 3 lotes procesados se realizó en 7 días, lo cual se encuentra dentro del intervalo óptimo indicado por Vedder (1978) de 7 a 10 días.

#### 5.1.4. Rendimiento de estiércol a sustrato pasteurizado.

Al considerar las cantidades totales de estiércol procesadas, peso húmedo (ver Cuadro 16), se observó que no obstante que para el lote C fue utilizada una cantidad menor de estiércol, se obtuvo una mayor producción de sustrato pasteurizado ( Kg. sut. II/ ton. de estiércol). Esto está relacionado con el contenido de humedad que presentaron los estiércoles; ya que no obstante que para los lotes A y B se utilizó una mayor cantidad de estiércol (6,289 y 5,902 Kg.) en comparación al lote C (5,700 Kg.), se observa que en el lote C la cantidad de materia seca total fue mayor (3,397 Kg.) que para los lotes A (2,798 kg.) y B (2,602 Kg.), debido a que el lote C presentó un contenido de humedad menor.

Al inicio del proceso de composteo se debe adicionar al estiércol el agua necesaria para llevarlo al nivel óptimo de humedad, tomando en cuenta el porcentaje de humedad inicial con el que llegaron los 3 lotes de estiércol. El del lote C necesitó de una mayor cantidad de agua por tonelada de estiércol, para alcanzar el mismo porcentaje de humedad que el de los lotes A y B. Por ello, el lote C rindió

aparentemente, una mayor cantidad de sustrato pasteurizado en comparación a los lotes A y B. Sin embargo, si consideramos la cantidad de materia seca inicialmente procesada, podemos observar que se presentó una mayor pérdida de materia seca en el lote C, en comparación con los lotes A y B.

En el Cuadro 23 se puede observar que los lotes de estiércol frescos, presentaron una menor pérdida de materia seca (lote A, 20.4 % y el lote B, 26.7 %) en comparación al del estiércol viejo (lote C, 38.6 %). Las pérdidas de materia seca obtenidas en los lotes A y B coinciden con los experimentos realizados por Bech (1978), donde al procesar estiércol fresco por medio de un composteo corto, obtuvo tan sólo pérdidas del 20 % en comparación a las pérdidas entre 30 y 40 % que normalmente se obtienen con métodos de composteo más largos. Mientras que en el estiércol almacenado, lote C, las pérdidas de materia seca fueron mayores, cerca del 40 % a pesar de que éste también fue procesado por composteo corto, bajo condiciones semejantes a las de los lotes A y B.

La mayor pérdida de materia orgánica presentada por el lote C en comparación a los otros lotes, podría hacer suponer que afectaría su productividad. Sin embargo al observar los rendimientos de hongos obtenidos en los 3 lotes (durante 60 días de corte) no se encontraron diferencias importantes entre ellos (ver Cuadro 19).

CUADRO 23. CONVERSION DE ESTIERCUL A SUSTRATO PASTEURIZADO  
(SUSTRATO II).

LOTE DE COMPOSTA	ESTIERCUL			SUSTRATO II			PERDIDAS DE MATERIA SECA (%)
	PESO HUMEDO †	MATERIA SECA		PESO HUMEDO	MATERIA SECA		
	(Kg)	(%)	(kg)	(kg)	(%)	(kg)	
A	1011	44.5	450	1085	33	358	20.4
B	1020	44.1	450	970	34	329	26.7
C	755	58.6	450	834	33	275	38.6

1 tonelada normal = 450 kg. de materia seca.

### 5.1.5. Productividad de compostas.

Al analizar la producción obtenida por brote, para los tres lotes de composta, se observó en general, que el segundo brote fue el más productivo, siguiéndole en importancia, el cuarto, primer y quinto brotes, en el caso de los lotes B y C; y el cuarto, quinto y sexto brote para el lote A. La producción del segundo brote en el lote A (121.7 Kg.) representó el 65 % de la producción total durante 60 días de corte, mientras que para los lotes B (73.1 Kg.) y C (75.6 Kg.) representaba el 40 y 42 % respectivamente (ver Cuadro 19).

En el lote A se presentaron un primer y tercer brotes muy pobres, no obstante, en el Cuadro 19 se puede observar que al tercer brote ya se había cosechado el 70 % de la producción final, y que su rendimiento acumulado era ligeramente mayor que el de los lotes B y C, en los cuales se había cosechado el 64.3 y 59.7 % de su producción total. Este comportamiento se asemeja a los resultados de la práctica comercial, donde se observa que los primeros brotes son los de mayor producción, rindiendo aproximadamente el 70 % de la producción total (Vedder, 1979). Al quinto brote, la producción de los lotes A, B y C, ya había sobrepasado el 90 % de la producción total. Posteriormente, con el sexto y séptimo brote, la producción sólo se incrementa aproximadamente un 8 %. Este rendimiento es muy bajo, sobre todo si consideramos que estos 2 últimos brotes, se completaron en 21 días. En base a estas observaciones, no es conveniente prolongar la cosecha después del quinto brote.

El tiempo en completarse cada uno de los brotes no fue

uniforme, presentándose confusiones para determinar los mismos, debido a que la definición de brotes puede variar en función de la apreciación personal. Sin embargo la duración promedio de los brotes fue de 8 días, por ello se consideró adecuado analizar las producciones obtenidas semanalmente. En los Cuadros 24 y 25 se indican las producciones semanal y acumulada semanal (Kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado) y sus porcentajes sobre la respectiva producción final.

Se observa en el Cuadro 24, que la segunda semana fue la más productiva para los 3 lotes. En el lote A, se presentó una primera semana con un rendimiento pobre (6.6 %), pero en la segunda semana se obtuvo el 42.9 %. Para los lotes B y C, en la segunda semana el rendimiento fue del 38 y 39 % de la producción total. También se puede observar que después de la quinta semana la producción disminuye gradualmente, obteniéndose en la sexta, séptima y octava semana menos del 5 % de la producción final para los 3 casos.

Considerando la producción acumulada semanal (Cuadro 25), fue posible observar que en los lotes A y B la producción a la tercera semana fue aproximadamente el 70 % de la producción total, y en el caso del lote C, el 63.4 %. Para la quinta semana de cosecha, la producción representaba el 90 % del rendimiento total, incrementándose tan sólo en 10 % durante las 3 semanas siguientes, para los tres casos.

De acuerdo con lo anterior, sería conveniente cosechar champiñones hasta la quinta semana, máximo a las primeras 6 semanas.

CUADRO 24. PRODUCCION SEMANAL PARA LOS LOTES DE COMPOSTA A, B Y C, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado con la cepa L).

SEMANAS DE CORTE	LOTES DE COMPOSTA					
	PRODUCCION (kg) - PORCENTAJE (%)					
	A		B		C	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
1	12.3	6.6	33.1	18.1	28.3	15.7
2	79.7	42.9	70.1	38.0	70.1	39.5
3	37.7	20.6	25.5	13.9	14.2	7.9
4	27.2	14.9	21.8	11.9	29.4	16.5
5	10.8	5.9	13.5	7.4	16.7	9.5
6	4.6	2.5	4.8	2.6	5.7	3.2
7	9.3	5.0	6.9	3.7	8.8	5.0
8	2.0	1.1	5.3	2.9	2.8	1.6
*	185.9	100	182.8	100	177.6	100

\* Produccion total en 60 dias de corte.

CUADRO 25. PRODUCCION ACUMULADA SEMANAL PARA LOS LOTES DE COMPUESTA A, B Y C, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado la cepa L).

SEMANAS DE CORTE	LOTES DE COMPUESTA					
	PRODUCCION (kg) - PORCENTAJE (%)					
	A		B		C	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
1	12.3	6.6	33.1	18.1	28.3	15.9
2	92.0	49.5	103.2	56.5	98.5	55.5
3	129.8	69.8	128.8	70.4	112.7	63.4
4	157.1	84.5	150.6	82.4	142.1	80.0
5	168.0	90.3	164.1	89.8	159.0	89.5
6	172.7	92.9	169.0	92.4	164.7	92.7
7	182.0	97.9	175.9	96.2	173.6	97.7
8	184.1	99.0	181.3	99.2	176.5	99.3
4	185.9	100	182.8	100	177.6	100

\* Producción total en 60 días de corte.



pues posteriormente el incremento en el rendimiento es muy bajo.

Comparando las producciones obtenidas en los 3 lotes de composta, a la sexta semana (42 días) de cosecha, se observa que el lote A fue más productivo, sin embargo su rendimiento únicamente es superior al del lote B en 2.6 %, y con respecto al del lote C en 4.8 %. Por lo tanto los lotes A y B presentaron rendimientos similares, y aunque el el lote C difiere un poco, esta diferencia es mínima.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible usar estiércol con un mes de almacenamiento, sin que se vea afectado el rendimiento final de hongos sobre el sustrato. Sin embargo hay que considerar que el estiércol fresco tiene ventajas sobre el estiércol viejo. Durante el composteo el estiércol almacenado (lote C) presentó problemas de manejo en el patio de composteo; debido a que la paja de este estiércol se encontraba más destruida que la paja del estiércol fresco, haciéndose blanda y pegajosa, lo cual dificultó la formación de la pila.

Examinando los rendimientos obtenidos por algunos investigadores al utilizar métodos de composteo corto para la preparación de sustratos, se observa que los rendimientos alcanzados con los tres lotes de composta preparados durante este trabajo, son equiparables a los reportados en la literatura.

Till (1968), preparó un sustrato altamente productivo, utilizando como material básico la paja de trigo; el rendimiento obtenido fue de

300 kg. de hongo por tonelada de composta inoculada. Sin embargo este método resulta antieconómico comercialmente, debido a que el costo de preparación del sustrato por esterilización es demasiado costoso. Huhnke y Senobusch (1968) modificaron el procedimiento de Till, obteniendo rendimientos de 250 kg. de hongos por tonelada de sustrato inoculado. A pesar de la simplificación del proceso de composteo, este resultado todavía antieconómico.

Más recientemente Lamberto & Delmas (1969), desarrollaron un método denominado P.E.S., el cual no requiere de un gran desembolso de capital en equipo, habiéndose reportado rendimientos de aproximadamente 200 kg. de hongo por tonelada de composta inoculada.

En investigaciones todavía más recientes sobre composteo corto, Smith & Spencer (1977) y Smith & Fernor (1977) prepararon composta con paja de trigo como material básico, adicionando carbohidratos solubles, obteniendo rendimientos de 130 a 150 kg. de hongos por tonelada de composta inoculada, en 2 semanas de corte.

Bech (1978) utilizó estiércol de caballo como material básico en su proceso de composteo corto, obteniendo 342 kg. de hongo, con estipite, por tonelada de composta inoculada, durante 4 semanas de corte. Considerando que el peso del estipite corresponde al 30 %, el rendimiento de hongos por tonelada de composta inoculada fue de 239.4 kg. Comparando este rendimiento con el obtenido en los tres lotes de composta, inoculados con la cepa L, se observa que los rendimientos de los lotes A, B y C fueron considerablemente inferiores (en 34.3, 37.0 y 40.6 %) que los de Bech, durante 4 semanas de corte.

Estas diferencias son significativamente importantes; sin embargo hay que considerar que preparar una composta altamente productiva, especialmente a escala comercial presenta un mayor número de dificultades que a nivel experimental.

### 5.2. Productividad de diferentes cepas de *Agaricus bisporus*.

En el Cuadro 21 se indicó el número de brotes obtenidos con las diferentes cepas de *A. bisporus* evaluadas, así como el rendimiento y la duración de cada uno de ellos. Se observó que con las cepas P-3, H-1 y H-2 se cortaron 5 brotes de producción, mientras que con las cepas B-4 y L se obtienen 6 y 7 brotes. Esta diferencia se produjo porque las bolsas de los sustratos inoculados con las cepas P-3, H-1 y H-2 debieron de ser eliminadas a causa del desarrollo de contaminaciones. La duración de los brotes para cada una de las cepas utilizadas no fue la misma, sin embargo fue posible apreciar que no existió una gran variación en el tiempo requerido para completarse cada uno de ellos. Con las cepas P-3 y B-4 los brotes se completaron en promedio en 7 días. Para las cepas H-1, H-2 y L, la duración promedio fue de 8 a 9 días. En general el tiempo promedio de duración por brote fue de 8 días, lo cual se encuentra dentro del rango indicado por Vedder (1979).

Fue posible observar también que la duración de los primeros brotes (1, 2 y 3) en todas las cepas, fue en promedio de 7 días, mientras que en los últimos brotes se alarga la duración de los

algunos, al comparar el rendimiento obtenido para las diferentes cepas, en cada uno de los brotes, se observa que la mayor producción se presenta durante el segundo y tercer brote, de manera similar a como sucedió con la cepa L en los tres lotes de composta (ver Cuadro 18). En las cepas P-3 y B-4 se presentó un primer brote pobre, el cual fue contrarrestado por un aumento en los rendimientos del cuarto y quinto brotes. Por otro lado con las cepas H-1 y H-2 el primer brote fue abundante, percibiéndose un descenso en la producción para los últimos brotes.

La producción acumulada hasta el tercer brote, en las cepas B-4, P-3 y L, fue de 60 a 64 % de la producción total. En comparación las cepas H-1 y H-2 produjeron al tercer brote arriba del 80 % (ver Cuadro 22). Al cuarto brote, las cepas H-1, H-2 y P-3 presentaron el 94.4, 92.7 y 91.4 % de la producción total, posteriormente al sexto brote, el rendimiento únicamente se incrementó en 6, 8 y 9 %, respectivamente. La cepa L, al cuarto brote presentó el 82.6 % de la producción total, incrementándose después en un 18 % durante los últimos 3 brotes.

Al comparar las producciones obtenidas hasta el quinto brote, con las diferentes cepas utilizadas (Cuadro 22) se observó que la cepa H-1 presentó un mayor rendimiento; sin embargo éste únicamente es superior en 1.4 y 7.7 % en comparación con las cepas H-2 y B-4. Con respecto a las cepas P-3 y L, el rendimiento de la cepa H-1 fue considerablemente superior (11.5 y 19.2 %). La cepa H-2 presentó un rendimiento mayor en 6.3 % en comparación con la cepa B-4, y en 10.2 y

18 % con respecto a las cepas P-3 y L. Las cepas H-2 y B-4 presentaron rendimientos similares y mayores que los de la cepa P-3, aunque esta diferencia fue tan solo de 4.1 % entre las cepas B-4 y P-3. En conclusión, las cepas H-1, H-2 y B-4 presentaron más altos rendimientos, siguiéndoles las cepas P-3 y L en un segundo puesto.

De manera semejante a como se presentaron los resultados obtenidos con los diferentes lotes de composta (A, B y C), en los Cuadros 26 y 27 se indica la producción semanal y acumulada semanal para las diferentes cepas empleadas, así como su respectivo porcentaje en relación a la producción final.

Al comparar la producción semanal para las diferentes cepas (Cuadro 26) se encontró que en la segunda semana se presentaron los mayores rendimientos. Resumiendo las primeras 4 semanas de corte fueron las más productivas, excepto en el caso de la cepa P-3 (de raza blanca), la cual presentó una primera semana con un rendimiento pobre (sólo 4.4 % de la producción total). Con las cepas B-4, H-1, H-2 y L se observó que después de la quinta semana la producción fue muy baja.

En el Cuadro 27 se puede apreciar que la producción acumulada a la segunda semana de corte para las cepas H-1, H-2 y L correspondía a más del 50 % de la producción final, mientras que en las cepas P-3 y B-4 esta fue del 40 %. A la cuarta semana, la producción acumulada para las cepas P-3, H-1 y H-2 representaba el 91.8, 89.0 y 87.2 % de la producción total, mientras que para las cepas B-4 y L fue de 83.5 y 82.4 %. Para la cepa P-3 la producción se registró únicamente hasta la quinta semana, encontrándose en las demás cepas (excepto en la L)

CUADRO 26. PRODUCCION SEMANAL PARA DIFERENTES CEPAS DE *A. bisporus*, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inoculado).

S E M A N A S	CEPAS DE <i>Agaricus bisporus</i>									
	PRODUCCION (kg.) - PORCENTAJE (%)									
	P-3		B-4		H-1		H-2		L	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
1	8.1	4.4	21.4	10.6	36.6	18.0	41.1	21.0	33.1	18.1
2	66.2	36.2	59.3	29.2	77.7	38.2	72.5	37.1	70.1	38.6
3	38.5	21.0	57.0	28.1	30.6	15.0	28.7	14.7	25.5	13.9
4	54.8	30.0	31.2	15.4	38.8	19.1	35.1	18.0	21.8	12.0
5	14.8	8.1	20.3	10.0	12.3	6.0	12.5	6.4	13.5	7.4
6	N.D.		6.7	3.3	7.1	3.5	5.0	2.6	4.6	2.6
7	N.D.		6.2	3.0	N.D.		N.D.		6.9	3.7
8	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.		5.5	2.9
*	182.6	100	202.5	100	206.5	100	203.5	100	182.8	100

N.D. = Datos no determinados

\* Producción final en 60 días de corte.

CUADRO 27. PRODUCCION ACUMALADA SEMANAL PARA DIFERENTES CEPAS DE *A. bisporus*, Y SU RESPECTIVO PORCENTAJE SOBRE LA PRODUCCION FINAL (kg. de hongo fresco por tonelada de sustrato inocuado).

SEMANAS	CEPAS DE <i>Agaricus bisporus</i>									
	PRODUCCION (kg.) - PORCENTAJE (%)									
	P-3		B-4		H-1		B-2		L	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
1	8.1	4.4	21.4	10.6	36.6	18.0	41.1	21.0	53.1	26.1
2	74.3	40.7	80.8	39.9	114.4	55.4	113.7	55.8	163.2	76.5
3	112.6	61.8	157.9	68.1	145.0	70.2	142.4	69.5	129.8	60.9
4	167.7	91.0	169.1	83.5	183.9	89.0	177.5	87.2	199.6	82.4
5	182.6	100	189.4	93.5	196.2	95.0	190.0	95.4	184.1	69.0
6	N.D.		196.2	96.9	203.4	98.4	195.1	95.9	185.0	92.4
7	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.		175.9	96.2
8	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.		187.5	99.2
8*	182.6	100	202.5	100	206.5	100	202.5	100	182.6	100

N.D. = Datos no determinados

\* Producción final en 60 días de corte.

que la producción a la quinta semana fue arriba de 90 %, incrementándose a la sexta semana en sólo un 2 % con respecto a la quinta semana. Nuevamente se observa que después de la quinta semana la producción de champiñones es muy baja, siendo conveniente realizar la cosecha hasta la sexta semana como máximo.

Al comparar las producciones acumuladas (Cuadro 27) para las 5 cepas, hasta la tercera semana de corte, se observa que las cepas H-1, H-2 y B-4 fueron las que presentaron la mayor producción. Las diferencias de producción entre estas cepas fueron mínimas, menores del 5 %. Con respecto a la L, las cepas H-1, H-2 y B-4 presentaron rendimientos mayores en 11.1, 9.5 y 6.5 % respectivamente. La cepa P-3 presentó el rendimiento más bajo, siendo su producción respecto las cepas H-1, H-2, B-4 y L menor en un 22.2, 20.7, 18.2 y 12.4 %.

Ahora bien, si se comparan las producciones obtenidas a la quinta semana, las cepas H-1, H-2, B-4 y P-3 presentaron rendimientos semejantes, con diferencias entre sí del 7 %. La cepa L resultó ser la menos productiva con respecto a las demás, con un rendimiento menor en 16.3, 13.6, 13.3 y 10.1 % respectivamente.

Nuevamente a la sexta semana de corte, las cepas H-1, H-2 y B-4 presentaron rendimientos similares, existiendo tan solo diferencias entre sí menores del 4 %. En comparación a estas cepas, la L presentó un rendimiento menor en 19.3, 13.3 y 13.8 % respectivamente.

Al considerar los rendimientos obtenidos hasta el quinto brote, con las 5 cepas de *A. bisporus*, se encontró que las cepas L y P-3 presentaron rendimientos semejantes, los cuales difieren de los



obtenidos con las cepas H-1, H-2, y B-4. Sin embargo, al comparar las producciones semanalmente, hasta la quinta semana, fue posible observar que las cepas H-1, H-2, B-4 y también la cepa P-3, presentaron rendimientos semejantes, los cuales difieren considerablemente del obtenido con la cepa L. Esta diferencia se presenta debido a que el número de días transcurridos hasta el quinto brote no fue igual para las 5 cepas evaluadas, mientras que al comparar la producción obtenida semanalmente se comparan periodos iguales de producción.

De acuerdo con lo anterior, resulta más práctico utilizar como criterio de selección la producción semanal, ya que siempre se estará comparando rendimientos en periodos iguales de tiempo, en tanto que al utilizar el criterio de brotes o ciclos de producción se presta a posibles confusiones, debido a que los brotes no siempre resultan uniformes.

Considerando el rendimiento obtenido con las 5 cepas evaluadas, desde el punto de vista práctico, sería preferible utilizar a las cepas H-1, H-2, B-4 y P-3 en comparación con la cepa L por presentar un rendimiento mayor. Sin embargo, tomando en cuenta la precocidad en la producción, las cepas H-1 y H-2 resultarían más recomendables, debido a que ya en las 3 primeras semanas se obtuvo arriba del 80 % de su producción final, en comparación las cepas B-4 y P-3 en ese lapso rindióron el 61 % de su producción final. Este es un factor de consideración, ya que se ha señalado la importancia de maximizar el rendimiento durante los primeros flujos de producción, pues un primer

Flujo pobre baja el rendimiento total y alarga el período de cosecha (Stamets & Chilton, 1983). Por otro lado, si se consideran algunas características físicas observadas en sus esporoforos, las cepas H-1, H-2, H-3, P-3 y 4 serían preferidas en el mercado por el color blanco de sus esporoforos. Otra característica importante es la no presencia de escamas y el tamaño de sus estípites. De acuerdo con estas características y su productividad, la cepa H-1 sería preferible sobre las cepas H-2 y P-3, debido a que presenta escasa tendencia a la formación de escamas, y el estípites de sus esporoforos son de tamaño mediano, mientras que en la cepa H-2 existe una abundante formación de escamas, y en la cepa P-3 los estípites de sus esporoforos son largos.

Fue posible observar que las 5 cepas de *A. bisporus* evaluadas bajo las condiciones del presente trabajo, presentaron rendimientos comercialmente buenos. Sin embargo es necesario llevar a cabo experimentos adicionales para evaluar estadísticamente las diferencias entre estas cepas. Adicionalmente a los rendimientos, sería conveniente considerar otras características como: su precocidad sobre la producción, el tamaño de sus esporoforos, tamaño de sus patas, presencia o ausencia de escamas; necesidades de cultivo, sensibilidad al hongo, resistencia a plagas y enfermedades, y capacidad de formación de primordios. Esta última es importante ya que una excesiva producción de primordios incrementa la necesidad de limpieza de la capa de cobertura, debido a que será necesario eliminar algunos primordios, para evitar una reducción en el tamaño de los esporoforos y en su formación.

## VI. CONCLUSIONES.

Considerando las condiciones experimentales en que se desarrollo el presente trabajo, no es acertado formular conclusiones definitivas, debido principalmente a la imposibilidad de realizar un analisis estadistico que sustente los resultados encontrados. No obstante, de acuerdo con los objetivos planteados para la realizaci3n de este trabajo y en base a los resultados obtenidos fue posible inferir lo siguiente:

El rendimiento de champiñones no se vi3 afectado por el uso de esti3rcol con un mes de almacenamiento (Lote C); no obstante, que este present3 caracteristicas diferentes a los esti3rcoles frescos (Lotes A y B). Sin embargo es importante considerar que durante el proceso de composteo el esti3rcol almacenado presenta problemas de manejo durante la formaci3n de las pilas, debido a que la paja del esti3rcol pierde estructura, haciendose blanda y pegajosa.

Bajo condiciones de escasez de esti3rcol fresco es posible utilizar esti3rcol viejo (de un mes de almacenamiento) para obtener una comesta productiva, siempre y cuando se consideren los inconvenientes de manejo que conllevan el uso de este tipo de esti3rcol, y que durante el proceso de composteo y cultivo se vigilen los factores m3s importantes para obtener un sustrato altamente productivo.

Se observó que los rendimientos obtenidos con las 5 cepas de *Agaricus bisporus* evaluadas, son bastante aceptables, considerando los rendimientos reportados por algunos investigadores con métodos de composteo económicamente comerciales.

La cepa L fue la menos productiva en comparación con las cepas H-1, H-2, P-3 y B-4, presentando un rendimiento menor que las mismas en 16.3, 13.6, 13.3 y 10.1 % respectivamente, a la quinta semana de cosecha.

Considerando el rendimiento presentado con las cepas, y algunas características morfológicas adicionales, la cepa H-1 presentó los mejores atributos, bajo las condiciones del presente trabajo.

La duración para los diferentes brotes presentados por las 5 cepas de *A. bisporus* fue en promedio de 8 días. Por ello es muy conveniente registrar la producción semanal, a fin de utilizarla como criterio de comparación, ya que de esta manera siempre se estará comparando rendimientos en periodos de tiempos iguales. Por otro lado es considerar la producción por brotes, da lugar a posibles confuciones, debido a que los brotes no siempre resultan uniformes.

Es necesario maximizar la producción de champiñones dentro de las primeras semanas de cosecha, para acortar el periodo de cultivo de *A. bisporus*; ya que se observó que después de la quinta semana, el

rendimiento resulta muy bajo. Por ello, el periodo de cosecha debe adelantarse las primeras 5 semanas, máximo la sexta semana de corte.

Fue posible observar que el método de composteo utilizado permitió obtener sustratos con rendimientos aceptables. Para lograr adaptar la tecnología de preparación de sustratos es necesario llevar a cabo más experimentos.

## VII. BIBLIOGRAFIA.

- Atkins Fred C. 1961. Mushroom growing to-day. Faber and Faber Limited. London 1961.
- Bech K. 1976. Preparing a productive commercial compost as a selective growing medium for *Agaricus bisporus* (Lange) Sing. Mush. Sci. X (part II). France p. 77-83.
- \_\_\_\_\_. L. E. Rasmussen. 1968. Further investigation on organic and inorganic supplementation of mushroom compost. Mush. Sci. XII. p. 329 - 342.
- Carapinet George. 1985. Composting in the U.S.A. Conference Inc. San Jose. California, U.S.A.
- Chano S. J. and W. A. Hayes. 1978. The biology and cultivation of edible mushrooms. Academic Press. New York - San Francisco - London, 1978.
- \_\_\_\_\_. 1980. Mushrooms as human food. Bioscience; Vol 30. Num 6, 1980. p. 241 - 299.
- Dawson W. M. 1976. The use of cattle slurry as a mushroom compost material. Mush. Sci. X (part II). France 1978. p. 105 - 113.
- Gerzog, H. 1983. Biotechnologie, Vol 3. Weinheim, R.F.G.; Verlag Chemie, 1983.

- Demeion A.; B. Burgevin & M. Marcel. 1973. Culture du Champignon de couche sur fumier artificiel. Annis. Sci. nat (bpt). 19. p. 141 - 153.
- Der Champignon. Zeitschrift für Pilzanbau. Asociacion Alemana de Productores.
- Edwards F. L. 1949. M.R.A. Report on synthetic compost. Mush. Grow. Ass. Bul. 15. p. 84 - 88.
- Flegg P. B.; D.M. Soencer and D.A. Wood. 1985. The biology and technology of the cultivated mushroom. ed. John Wiley & Sons Ltd.
- Gerrits J. P. 1974. Development of synthetic compost for mushroom growing based on wheat straw and chicken manure. Neth. Agric. Sci. 22 p. 175 - 193.
- \_\_\_\_\_. 1977. The significance of gypsum applied to mushroom compost in particular in relation to the ammonia content. Neth. J. Agric. Sci. 22 p. 175 - 193.
- \_\_\_\_\_. 1981. Factors in bulk pasteurization and spawn running. Mush. Sci. XI. Australia 1981. p. 351 - 365.
- \_\_\_\_\_. 1984. Developments in composting in Netherlands. Conference Mushroom Experimental Station Horst.

Suzana S. 1977. Identificación de los hongos comestibles venenosos, alucinantes y destructores de la madera, ed. Limusa, México D.F. 1977.

\_\_\_\_\_. 1984. El uso de los hongos en Mesoamérica. Ciencia y Desarrollo N.º. 59. p. 19 - 27.

Haves W. R. and F. E. Randle. 1968. Use of molasses as an ingredient of wheat straw mixture used in the preparation of mushroom compost. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst. p. 142 - 147.

Kneebone L. R. & E. C. Mason. 1972. Sugar cane bagasse as a bulk ingredient in mushroom compost. Mush. Sci. 8. p. 321 - 330.

Laborde J. and J. Delmas. 1969. Preparation express des substrats. Bull ENSACC. October, 1969. p. 2093 - 2109.

Lambert E. B. 1929. normal mushrooms from artificial manure. Science 70. p. 126 - 128.

Leal G. G. 1981. Producción de hongos comestibles. En. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánico. G. Morrey, H. G. Viniegra, ed. A.G.T. p. 95 - 111.

\_\_\_\_\_. 1985. El cultivo del champiñón y otros macromicetos comestibles. En. El desarrollo de la biotecnología en México. A. Quintero, ed. CONACYT. 1985. p. 235 - 257.

Lopez R. A. 1986. hongos comestibles y medicinales de México. Biblioteca Natura. ed. Posada. México, 1986.



- Heng Shieh. 1981. A compost fermentation method by means of forced air circulation. Mush. Sci. XI. Australia 1981. p. 279 - 292.
- Overstijne A. & L. Hockstaele. 1978. Influence of chicken manure in classical compost based on horse manure and synthetic compost based on wheat straw. Mush. Sci. X (part II). France, 1978. p. 115 - 126.
- Peerialy A. 1981. Sugar cane by-products as bulk ingredients in mushroom compost. Mush. Sci. XI. Australia. 1981. p. 293 - 301.
- Reedle P. & W. A. Hayes. 1972. Progress in experimentation on the efficiency of composting and compost. Mush. Sci. p. 789 - 795
- S.A.R.H. DIF. 6882. Servicio Meteorológico Nacional.  
Meteorológico Tres Cumbres, Huixtla, Morelos. Clave 17-022.
- Schieler L. C. & P. West. 1973. A few practical tips on compost and the composting process. Mush. News.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. I.N.E.G.I. Mex. 1981.  
Síntesis Geográfica de Morelos.
- Sinden J. W. 1946. Synthetic compost for mushroom growing. Bull. Pa. Agric. Exp. Snt. 482. p. 1 - 26.
- \_\_\_\_\_ and E. Hauser. 1959. The short method of composting. Mush. Sci. p. 52 - 59.

- Smith J. F. 1974. "Selective" substrates and rapid methods of preparation. *Mush. J.* 23. p. 423 - 426.
- \_\_\_\_\_. 1976. Conservation of material during composting. *Mush. Sci.* 4 (part 11). France 1976. p. 55 - 67.
- \_\_\_\_\_. and D. M. Spencer. 1976. Rapid preparation of composts suitable for the production of the cultivated mushroom. *Sci. Hort.* 5. p. 23 - 31.
- \_\_\_\_\_. 1977. The use of high energy carbon sources in rapidly prepared mushroom compost. *Sci. Hort.* 7. p.197 - 205.
- Steede F. & J. S. Dutton. 1983. *The mushroom cultivator, a practical guide to growing mushroom at home.* Agarikon press. Olympia Washington, 1983.
- Steiner B. E. 1943. Preparation of synthetic compost for mushroom culture. *Plant. Physiol.* 10. p. 397 - 414.
- Yakubashi T. 1979 Rice-straw compost: a new formula. *Mush. J.* p. 348 - 351.
- Till. O. 1962. Champignonkultur auf sterilisiertem Nährsubstrat und die Wiederverwendung von abgetragenen Kompost. *Mush. Sci.* 5 p. 127 - 133.
- The Mushroom Journal. Asociacion de Productores de champiñones de la Gran Bretaña. Londres, G. B.

- Toovey F.W. 1976. Cultivo del champiñón. Manuales de técnicas agropecuarias (trad. José Sandoval J.) ed. Acribia, España.
- Tschierpe H. J. 1983. Environmental factors and mushroom strains. Mush. J. 132. p 417 - 429.
- Vedder P.J.C. 1976. Modern Mushroom growing. Educabock B. V. Industrieweg Coimborg The Netherlands.
- ..... 1979. Cultivo Moderno del champiñón. (trad. Ino. Galindo Martínez) ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Waksman S. A. & C. A. Reneger. 1934. Artificial manure for mushroom production. Mycologia 26. p. 38-45.
- Wuest P. J. 1972. The biology of making mushroom compost. Mush. News, Pennsylvania State University.
- Wuest P. J.; L. P. Kneebone; W. A. Robbins. 1978. Decisive factors in mushrooms growing. Mush. News.

## VIII. APENDICE.

CUADRO A-1. TEMPERATURAS PROMEDIOS MENSUALES (°C). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUITZILAC, MORELOS. (REGISTRO DE 10 AÑOS).

DEG. CLAVE 17-022. COOR. LAT: 19° 04' LONG. 99° 15'

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	- ANU- AL
1976	6.7	7.6	10.0	10.2	10.6	7.4	10.3	9.0	9.3	9.0	7.6	7.3	9.1
1977	6.9	6.9	7.8	7.1	9.0	10.1	8.0	8.9	9.0	8.1	8.1	7.8	8.3
1978	6.7	7.5	7.6	10.7	17.3	12.9	12.2	14.4	12.5	13.1	13.8	12.7	11.7
1979	10.7	13.6	16.3	13.7	13.6	11.1	10.1	10.5	11.2	9.7	9.3	6.6	11.0
1980	5.5	9.2	14.8	12.7	14.3	12.8	11.1	9.4	10.1	10.2	7.4	7.3	10.4
1981	7.1	10.5	14.2	14.3	17.3	12.8	11.7	11.3	11.4	11.3	6.8	7.5	11.3
1982	8.4	10.3	12.7	13.6	13.5	12.9	11.3	11.4	12.3	11.3	8.7	7.0	11.1
1983	7.1	8.1	8.9	12.3	13.8	13.0	11.8	11.9	12.3	11.4	11.0	8.9	10.8
1984	8.0	8.8	10.5	12.7	12.1	12.3	12.2	12.0	11.2	11.1	8.6	7.8	10.6
1985	8.3	8.7	9.9	12.4	13.6	12.0	12.4	12.8	12.6	11.2	8.8	8.7	10.9
PROM	7.4	9.3	11.4	12.2	13.5	11.9	11.1	11.1	11.2	10.6	9.0	8.1	10.5

Fuente: S.A.R.H. DIR. GRAL. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

CUADRO A-2. PRECIPITACION MENSUAL (mm.). ESTACION METEOROLOGICA TRES  
CUMBRES, HUITZILAC, MORELOS. (REGISTRO DE 10 AÑOS).

ARO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.
1976	0.0	5.0	0.0	74.5	100.5	217.0	343.5
1977	1.5	1.0	0.0	9.0	110.0	267.5	246.0
1978	6.0	10.5	55.0	6.0	52.0	275.5	233.5
1979	3.5	18.5	5.0	36.0	52.0	180.0	315.5
1980	164.5	0.0	0.0	46.0	88.5	248.5	153.5
1981	70.0	37.0	13.0	69.5	105.5	378.0	483.5
1982	0.0	7.5	22.0	14.0	137.9	207.5	383.0
1983	49.0	35.5	10.0	0.0	35.0	65.5	513.5
1984	9.5	41.5	4.5	0.0	112.7	331.5	386.0
1985	1.0	4.0	16.0	41.0	52.0	396.5	314.0
PRDME- DIO.	30.5	16.0	12.3	29.8	84.6	258.9	338.0

CUADRO A-2. CONTINUACION.

ARO	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROMEDIO ANUAL
1976	425.0	301.0	404.0	46.0	27.0	1 944.5
1977	285.5	225.0	40.0	15.0	16.5	1 217.0
1978	391.0	214.0	118.0	21.0	26.0	1 426.5
1979	309.5	166.5	6.5	1.0	32.5	1 128.5
1980	515.5	282.5	80.5	20.5	0.0	1 600.0
1981	357.5	193.5	110.5	4.0	12.5	1 834.5
1982	294.0	77.0	127.1	2.0	2.5	1 276.5
1983	273.0	300.0	65.5	40.0	0.0	1 393.0
1984	275.5	226.5	59.6	2.5	0.0	1 456.8
1985	241.0	144.5	33.5	7.0	0.0	1 250.5
PROMEDIO.	337.1	213.0	104.5	15.9	11.7	1 452.58

Fuente: S. S. F. H. DIF. GRAL. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

CUADRO A-5. TEMPERATURAS MINIMAS EXTREMAS (°C). ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUITZILAC, MORELOS. (REGISTRO DE 10 AÑOS).

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1975	-4.0	-4.0	2.0	3.0	4.0	4.0	0.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.0
1977	-3.0	-4.0	0.0	2.0	3.0	4.0	2.0	4.0	4.0	3.0	2.0	0.5
1978	0.0	0.0	0.5	3.0	4.0	2.0	4.0	2.0	3.0	-2.0	1.0	-2.0
1979	-5.0	0.0	-0.5	5.0	1.0	3.0	6.0	6.0	2.0	1.0	-3.0	-3.0
1980	-5.0	-2.0	1.0	3.0	3.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	-1.0	-2.0
1981	-6.0	2.0	2.0	4.0	5.0	3.0	5.0	5.0	5.0	4.0	-2.0	-2.0
1982	-2.0	1.0	0.0	3.0	3.0	2.0	3.0	2.0	6.0	1.0	-3.0	-4.0
1983	-4.0	-3.0	-2.0	1.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	3.0	2.0	1.0
1984	-2.0	-2.0	0.0	0.0	4.0	5.0	5.0	4.0	3.0	3.0	-4.0	-3.0
1985	-4.0	-2.0	0.0	2.0	4.0	3.0	5.0	5.0	4.0	—	-2.0	-2.0
PRÓME- DIO.	-3.6	-1.4	0.5	3.5	3.5	3.2	3.7	3.9	3.8	2.1	-0.6	1.7

Fuente: S.A.R.H. DIR. GRAL. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

CUADRO A-4 TEMPERATURAS MAXIMAS EXTREMAS (°C), ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUITZILAC, MORELOS. (REGISTRO DE 10 AÑOS).

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1976	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	20.0	18.0	20.0	16.0	14.0	12.0
1977	14.0	18.0	20.0	24.0	18.0	20.0	18.0	18.5	18.0	16.0	18.0	18.0
1978	14.0	16.0	24.0	24.0	22.0	26.0	29.0	30.0	25.0	26.0	28.0	26.0
1979	26.0	27.0	30.0	28.0	30.0	25.0	18.0	18.0	20.0	22.0	20.0	20.0
1980	20.0	22.0	27.0	24.0	26.0	26.0	23.0	19.0	21.0	20.0	17.0	17.0
1981	20.0	21.0	23.0	27.0	29.0	25.0	18.0	18.0	19.0	19.0	17.0	17.0
1982	19.0	21.0	24.0	24.0	28.5	24.0	22.0	19.0	20.0	19.0	20.0	17.0
1983	19.0	19.0	22.0	25.0	26.0	25.0	22.0	20.0	20.0	20.0	18.0	18.0
1984	18.0	20.0	22.0	24.0	23.0	20.0	19.0	19.0	20.0	20.0	20.0	19.0
1985	18.0	17.0	21.0	23.0	24.0	22.0	18.0	22.0	24.0	19.0	19.0	18.0
PROMEDIO.	19.6	20.1	23.5	24.3	25.6	23.1	20.7	20.4	20.7	19.7	19.1	18.2

Fuente: S.A.R.H. DIR. GRAL. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.



CUADRO A-5. OSCILACION DE TEMPERATURAS (°C). ESTACION METEOROLOGICA  
TRES CUMBRES, HUIZILAC, MORELOS. (REGISTRO DE 10 AÑOS).

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1976	12.8	13.3	14.6	12.2	12.5	10.0	11.2	9.1	9.7	4.0	6.7	6.4
1977	11.7	—	11.3	10.1	9.8	11.4	8.0	8.4	8.8	7.3	7.6	8.9
1978	8.0	8.1	8.0	13.5	17.3	17.5	13.6	16.2	16.9	18.9	18.7	19.7
1979	20.7	18.0	17.3	13.0	12.4	8.9	—	7.0	9.5	15.9	17.1	15.0
1980	13.6	18.4	17.8	16.3	16.6	15.2	11.2	10.1	11.1	12.3	12.8	14.4
1981	14.2	12.7	12.7	14.5	17.1	8.9	8.3	9.3	9.5	10.4	10.8	14.5
1982	14.3	15.1	15.7	15.6	12.0	14.7	12.5	11.9	10.4	12.5	16.8	12.8
1983	13.3	16.7	17.4	15.0	15.0	14.0	10.5	11.2	10.5	12.4	10.8	15.6
1984	14.5	14.8	17.8	20.5	13.0	9.0	8.2	9.6	11.6	12.8	16.1	17.5
1985	15.5	15.3	16.7	15.9	15.5	9.7	9.5	11.5	12.1	12.0	14.7	16.5
PROME- DIO.	14.3	14.7	15.3	14.6	14.6	11.9	10.4	10.2	11.0	11.8	13.2	13.7

Fuente: S.A.R.H. DIR. GRAL. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

CUADRO A-8. NUMERO DE HELADAS REGISTRADAS EN UN PERIODO DE 5 AÑOS.  
 ESTACION METEOROLOGICA TRES CUMBRES, HUITZILAC, MORELOS.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	28	5	1	0	0	0	0	0	0	0	21	26
1982	25	3	0	0	0	1	0	0	0	3	29	21
1983	31	27	31	4	0	1	0	0	0	0	7	15
1984	30	23	28	16	0	0	0	0	0	0	22	30
1985	31	28	31	1	0	0	0	0	0	2	21	24

Fuente: S.A.R.H. DIR. GRAL. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

CUADRO A-7. PRODUCTIVIDAD DE LA COMPOSTA DEL COTE A, POR BOLSA DE 50 Kg. Y POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO CON LA CEPA L.

DIAS DE CORTE	P R O D U C C I O N		
	g hongo fresco/50 Kg. sust. L	Kg hongo fresco/ton sust. L	
	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
1	4	4	0.147
2	11	15	0.517
3	47	62	2.073
4	14	76	2.625
5	62	138	4.606
6	44	182	6.086
7	107	369	12.369
8	964	1333	44.455
9	267	1600	52.345
10	201	1801	60.042
11	87	1888	62.932
12	186	2074	69.139
13	291	2365	76.842
14	398	2763	92.099
15	358	3121	110.689
16	500	3621	127.356
17	13	3634	127.799
18	18	3852	128.592
19	13	3865	128.635
20	31	3896	129.672
21	0	3896	129.672
22	11	3907	130.242
23	80	3987	132.909
24	80	4067	135.576
25	302	4369	145.649
26	236	4605	153.502
27	87	4692	156.392
28	23	4715	157.162
29	27	4742	158.052
30	27	4769	158.942
31	9	4778	159.239
32	2	4780	159.312
33	69	4849	161.609
34	55	4904	163.459
35	138	5042	168.051
36	47	5089	169.609
37	27	5116	170.496
38	22	5138	171.236

GRABIO 477. CONTINUACION.

DIAS		PRODUCCION	
De	al	kg Hongos fresco/ton sust II	kg Hongos fresco/ton sust II
CURTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
39	0	5138	B-5 171.256
41	0	5147	171.533
42	06	5183	172.716
43	53	5236	174.493
44	89	5225	177.456
45	9	5334	177.749
46	44	5378	179.229
47	33	5411	180.339
48	22	5433	181.079
49	29	5462	182.039
50	14	5476	182.512
51	0	5476	B-6 182.512
52	18	5494	183.102
53	13	5507	183.545
54	18	5525	184.135
55	0	5525	184.135
56	0	5525	184.135
57	27	5552	185.021
58	7	5561	185.314
59	0	5561	185.314
60	18	5579	B-7 185.907

CUADRO A-B. PRODUCTIVIDAD DE LA COMPOSTA DEL LOTE B. POR BOLSA DE 30 Kg. Y POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO CON LA C.E.F.A. L.

DÍAS	P R O D U C C I O N		
	Kg hongo fresco/30 kg. sust. II	Kg hongo fresco/ton sust. II	
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
1	114	114	3.803
2	181	305	10.106
3	344	647	21.556
4	87	734	24.456
5	120	854	28.443
6	49	903	30.073
7	92	995	33.153
8	207	1202	40.040
9	196	1398	46.563
10	442	1840	61.309
11	696	2536	84.499
12	355	2931	97.652
13	169	3100	103.269
14	0	3100	103.269
15	220	3320	110.699
16	103	3426	114.142
17	0	3426	114.142
18	65	3491	116.315
19	44	3535	117.765
20	0	3535	117.765
21	352	3867	128.015
22	98	3965	130.078
23	261	4226	140.775
24	136	4362	145.305
25	54	4416	147.115
26	22	4438	147.838
27	60	4498	149.831
28	25	4523	150.664
29	11	4534	151.027
30	44	4578	152.477
31	44	4622	153.927
32	20	4642	154.580
33	136	4778	159.110
34	98	4876	162.370
35	14	4890	164.180
36	22	4952	164.903
37	17	4979	165.810
38	33	5012	166.897

CUADRO A-8 CONTINUACION.

DIAS		P R O D U C C I O N		
DE	a honoo fresco/30 kg. sust 11		Kg honoo fresco/ton sust 11	
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA		DIARIA ACUMULADA
	0	5012	B-5	169,857
40	33	5045		167,984
41	0	5045		177,984
42	33	5078		169,971
43	33	5111		170,158
44	54	5165		171,968
45	11	5176		172,328
46	44	5220		173,776
47	22	5242		174,501
48	11	5253		174,861
49	33	5286		175,947
50	0	5286	B-6	175,947
51	76	5362		178,484
52	22	5384		179,207
53	0	5384		179,207
54	0	5384		179,207
55	65	5449		181,308
56	0	5449		181,308
57	11	5460		181,740
58	0	5460		181,740
59	22	5482		182,463
60	11	5493	B-7	182,623

CUADRO A-9. PRODUCTIVIDAD DE LA COMPOSTA DEL LOTE C, POR BOLSA DE 30 Kg. Y POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO CON LA CEPA L.

DIAS DE CORTE	P R O D U C C I O N		
	a mano fresco/30 kg. sust II		Kg mano fresco/ton sust II
	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
1	43	43	1.430
2	86	129	4.302
3	196	325	10.830
4	153	458	15.277
5	162	620	20.677
6	64	684	22.822
7	165	849	28.333
8	184	1033	34.478
9	66	1099	36.699
10	264	1363	45.512
11	482	1844	61.550
12	197	2041	68.107
13	848	2889	96.371
14	64	2953	98.516
15	71	3024	100.899
16	50	3074	102.567
17	0	3074	102.567
18	47	3121	104.154
19	17	3138	104.711
20	47	3185	106.298
21	192	3377	112.728
22	95	3472	115.902
23	205	3677	122.727
24	319	3996	133.365
25	176	4174	139.318
26	35	4209	140.505
27	26	4235	141.377
28	22	4257	142.139
29	45	4302	143.645
30	74	4376	146.104
31	55	4431	147.929
32	19	4449	148.533
33	121	4570	152.579
34	156	4706	157.102
35	59	4765	159.085
36	28	4803	160.353
37	19	4822	160.987
38	24	4846	161.778

CUADRO A-9 CONTINUACION.

DIAS		P R O D U C C I O N	
DE	a hongo fresco/30 kg. sust II	kg hongo fresco/ton sust II	
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
39	0	4746	B-5 161.776
40	31	4877	162.812
41	0	4877	162.812
42	59	4936	164.795
43	59	4995	166.778
44	69	5064	169.080
45	33	5097	170.170
46	43	5140	171.620
47	19	5159	172.254
48	9	5168	B-6 172.573
49	33	5201	173.685
50	10	5211	174.002
51	0	5211	174.002
52	43	5254	175.452
53	10	5264	175.751
54	5	5269	175.908
55	0	5269	175.908
56	19	5288	176.542
57	5	5293	176.677
58	10	5303	177.018
59	0	5303	177.018
60	19	5322	B-7 177.652



CUADRO N-10. PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA P-3 POR BOLSA DE 30 Kg. Y  
POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO.

DIAS		P R O D U C C I O N	
DE	g hongo fresco/30 Kg. sust II	Kg hongo fresco/ton sust II	
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
1	29	29	0.967
2	21	50	1.667
3	63	113	3.767
4	42	155	5.167
5	17	172	5.734
6	21	193	6.434
7	50	243	8.101
8	229	472	15.734
9	313	785	26.167
10	463	1268	42.267
11	80	1356	45.200
12	194	1466	48.667
13	0	1466	48.667
14	771	2231	74.367
15	363	2594	86.467
16	333	2927	97.576
17	292	3219	107.300
18	146	3365	112.167
19	0	3365	112.167
20	0	3365	112.167
21	21	3386	112.867
22	0	3386	112.867
23	83	3469	115.634
24	417	3886	129.534
25	1042	4928	164.267
26	63	5011	167.034
27	0	5011	167.034
28	21	5032	167.734
29	0	5032	167.734
30	42	5074	169.134
31	6	5082	169.401
32	146	5228	174.268
33	167	5395	179.835
34	63	5478	182.602
35	0	5478	182.602

CUADRO A-11. PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA B-4 POR BOLSA DE 30 Kg. Y  
 POR TÓNELADA DE SUSTRATO INOCULADO.

DIAS DE CORTE	P R O D U C C I O N			
	a hongo fresco/30 Kg. sust II		Kg hongo fresco/ton sust II	
	DIARIA	DIARIA ACUMULADA		DIARIA ACUMULADA
1	19	19		0.626
2	0	19		0.626
3	213	232		7.709
4	47	279		9.272
5	53	332		11.042
6	63	395	B-1	13.125
7	250	645		21.458
8	250	895		29.791
9	484	1379		45.938
10	172	1551		51.568
11	656	2207		73.545
12	31	2238	B-2	74.588
13	188	2426		80.838
14	0	2426		80.838
15	391	2817		93.858
16	688	3505		116.775
17	150	3655		121.775
18	63	3718		123.858
19	0	3718	B-3	123.858
20	156	3874		129.068
21	266	4140		137.921
22	16	4156		138.441
23	188	4344		144.691
24	78	4422		147.294
25	156	4578		152.504
26	219	4797		159.797
27	188	4985		166.047
28	94	5079	B-4	169.174
29	156	5235		174.294
30	94	5329		177.511
31	78	5407		180.114
32	31	5438		181.154
33	125	5563		185.321
34	31	5594		186.361
35	94	5688		189.488

CUADRO A-11. CONTINUACION.

DIAS		P R O D U C C I O N			
DE	g hongos fresco/30 kg. sust II		Kg hongos fresco/ton sust II		
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA		DIARIA ACUMULADA	
36	31	5719	B-5	190.528	
37	47	5766		192.091	
38	47	5813		193.654	
39	0	5813		193.654	
40	47	5860		195.217	
41	0	5860		195.217	
42	31	5891		196.257	
43	0	5891		196.257	
44	63	5954		198.340	
45	63	6017		200.424	
46	0	6017		200.424	
47	0	6017		200.424	
48	63	6080	B-6	202.507	

CUADRO A-12. PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA H-1 POR BOLSA DE 30 Kg. Y  
 POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO.

DIAS	P R O D U C C I O N		
	DE	q hongo fresco/30 kg. sust II	Kg hongo fresco/ton sust II
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
1	14	14	0.476
2	29	43	1.430
3	19	62	2.063
4	24	86	2.856
5	95	181	6.029
6	548	729	24.282
7	371	1100	36.662
8	191	1291	43.012
9	0	1291	43.012
10	71	1362	45.392
11	0	1362	45.392
12	1167	2529	84.282
13	905	3434	114.442
14	0	3434	114.442
15	95	3529	117.615
16	0	3529	117.615
17	143	3672	122.378
18	0	3672	122.378
19	14	3686	122.855
20	143	3829	127.618
21	524	4353	145.078
22	619	4972	165.711
23	405	5377	179.204
24	0	5377	179.204
25	0	5377	179.204
26	48	5425	180.791
27	48	5473	182.378
28	48	5521	183.965
29	0	5521	183.965
30	191	5712	190.315
31	95	5807	193.488
32	48	5855	195.075
33	0	5855	195.075
34	24	5879	195.868
35	12	5891	196.265

CUADRO A-12. CONTINUACION.

DIAS		P R O D U C C I O N	
DE	g hongo fresco/30 kg. sust II	Kg hongo fresco/ton sust II	
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
36	0	5891	196.265
37	24	5915	197.058
38	0	5915	197.058
39	119	6034	201.025
40	48	6082	202.612
41	24	6106	203.405
42	0	6106	203.405
43	48	6154	204.992
44	48	6202	206.579
45	0	6202	206.579

CUADRO A-13. PRODUCTIVIDAD DE LA CEPA H-2 POR BOLSA DE 30 Kg. Y  
POR TONELADA DE SUSTRATO INOCULADO.

DIAS	P R O D U C C I O N			
	g hongo fresco/30 kg. sust II		Kg hongo fresco/ton sust II	
	CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
1	28		28	0.927
2	50		78	2.594
3	44		122	4.074
4	111		233	7.777
5	167		400	13.334
6	500		900	30.001
7	333		1233	41.111
8	172		1405	46.851
9	217		1622	54.074
10	306		1928	64.261
11	0		1928	64.261
12	889		2817	93.891
13	333		3150	105.001
14	261		3411	113.704
15	85		3494	116.481
16	0		3494	116.481
17	0		3494	116.481
18	0		3494	116.481
19	111		3605	120.184
20	278		3883	129.444
21	389		4272	142.407
22	500		4772	159.074
23	222		4994	166.481
24	111		5105	170.184
25	0		5105	170.184
26	56		5161	172.037
27	111		5272	175.740
28	56		5328	177.593
29	0		5328	177.593
30	194		5522	184.073
31	56		5578	185.926
32	83		5661	188.703
33	0		5661	188.703
34	28		5689	189.630
35	14		5703	190.093

CUADRO A-13. CONTINUACION.

DIAS		P R O D U C C I O N	
DE	a hongo fresco/30 kg. sust II	kg hongo fresco/ton sust II	
CORTE	DIARIA	DIARIA ACUMULADA	DIARIA ACUMULADA
36	0	5703	190.093
37	28	5731	191.020
38	0	5731	191.020
39	83	5814	193.797
40	28	5842	194.724
41	14	5856	195.187
42	0	5856	195.187
43	56	5912	197.040
44	0	5912	197.040
45	194	6106	203.520