

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO**

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Bioquímica

**Evaluación Técnico Económica para la Reconversión  
de Minas en Etapa de Abandono en la Provincia de  
Petorca en Centros Productores de Hongos  
Comestibles**

Tesis Para Optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y al  
Título de Ingeniero Civil Bioquímico

Por:

Ginna Zenteno Cesario

Profesores Guías: Rolando Chamy M. - M<sup>a</sup> Eugenia Jasme M.

**2000**

**Dedicatoria**

*Este trabajo se lo dedico con todo mi amor, a mis padres y hermano,  
que siempre han estado a mi lado y me han brindado todo su cariño,  
apoyo y comprensión en esta ardua tarea.*

**RESUMEN**

En el presente informe se realiza una evaluación técnico-económica para la reconversión de minas abandonadas ubicadas en la Provincia de Petorca en centros productores de hongos comestibles.

El proyecto es gestado con el fin de poder generar nuevas fuentes de empleo, en una zona en que se presenta uno de los niveles de cesantía más elevados de la región. Por lo que además, de tener en consideración las características económicas que este presenta, el aspecto social es un factor de gran importancia en la evaluación del proyecto.

Para identificar las ventajas y desventajas de la reconversión de minas en centros para el cultivo de champiñones se realizó un análisis F.O.D.A., que además, junto con el estudio de mercado permitió determinar las especies de hongos comestibles a cultivar y la demanda que éstas tendrían en el mercado nacional e internacional.

Las especies seleccionadas fueron el Shiitake (*Lentinula edodes*) y el Champiñón Ostra (*Pleurotus ostreatus*). La capacidad de producción en una primera etapa se estima en 144 ton/año de producto fresco, donde 89 ton/año corresponden a la de Champiñón Ostra y 55 ton/año a la de Shiitake.

El cultivo de ambas especies es realizado en bolsas de polipropileno, cuyas dimensiones son de 1 m de largo y 0.3 m de diámetro, las que son distribuidas a lo largo de la mina.

En cuanto a la materia prima requerida para la producción de Shiitake, esta se basa fundamentalmente en aserrín de madera, requiriéndose 600 toneladas anuales para producir 55 ton/año de producto fresco.

Para el Champiñón Ostra, la materia prima a utilizar es compost, el cual está compuesto principalmente por paja y estiércol de ave, requiriéndose en este caso 300 toneladas anuales para producir 89 ton/año de producto fresco.

Finalmente se realizó la evaluación económica, donde se establecieron los costos de inversión, puesta en marcha y operación del proyecto, así como los ingresos por concepto de venta del producto y su rentabilidad.

La rentabilidad del proyecto fue evaluada por medio de la tasa interna de retorno (TIR) y valor actual neto (VAN), siendo estos de un 32% y 15846 UF, respectivamente, lo que

indica que el proyecto tanto del punto de vista técnico como económico resulta atractivo de ser implementado.

## Agradecimientos

*Agradezco al Gobierno Regional por el financiamiento otorgado, para llevar a*

*cabo este proyecto y a mis profesores guías M<sup>a</sup> Eugenia Jasme y Rolando Chamy,*

*por su apoyo y comprensión durante todo este tiempo.*

*Un agradecimiento muy especial, para mi compañero de carrera y gran amigo*

*Sergio, que hizo posible el que llevara a cabo con éxito este trabajo.*

*Y no puedo dejar de agradecer, a quienes son las mejores secretarias de la "U",*

*Claudia y Estrella, muchas gracias por TODO.*

# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1 INTRODUCCIÓN.

En la Provincia de Petorca, ubicada en la quinta región de nuestro país, existe en la actualidad un número cercano a 50 minas abandonadas o no susceptibles de explotación minera. La no susceptibilidad de explotación de los yacimientos considerados se refiere al hecho de que no son económicamente factibles de ser explotados por las técnicas actuales de extracción mineral disponibles en dicho campo, ya sea, por agotamiento o por la situación de precio de los metales<sup>a</sup>.

Figura 1.1. Mapa y región de Chile.



---

<sup>a</sup> [www.sernatur.cl](http://www.sernatur.cl).

Debido al especial interés por parte del gobierno en implementar proyectos a corto o mediano plazo que permitan absorción de mano de obra en sectores que presentan elevados índices de cesantía, como el caso de la Provincia de Petorca, es que se ha gestado, a través, del SEREMI de Minería, la realización de un estudio de factibilidad técnica económica, para evaluar la posibilidad de reconvertir minas en etapa de abandono en centros productores de hongos comestibles.

El hecho de poder implementar minas que se encuentran abandonadas, en centros para el cultivo de hongos comestibles, se basa fundamentalmente en las condiciones de humedad relativa y temperatura que estos lugares presentan y que favorecen el desarrollo de este tipo de especies.

El objetivo general de este proyecto es: Estudiar la factibilidad técnico económica para la reconversión de las minas no susceptibles para la explotación minera en la provincia de Petorca en plantas productoras de hongos comestibles.”

Para ello se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un catastro de las minas disponibles, seleccionando aquellas con mayores posibilidades de implementar como centros productores de hongos comestibles.
- Realizar estudio de mercado.
- Selección de especies de hongos comestibles susceptibles de ser procesados.
- Establecer métodos de cultivo para los hongos comestibles seleccionados.
- Evaluación económica del proyecto mediante parámetros, tales como: TIR, VAN y análisis de sensibilidad.

## **1.2 CATASTRO DE MINAS EN LA PROVINCIA DE PETORCA.**

La provincia de Petorca, cuya capital provincial es La Ligua, se encuentra ubicada en la zona Norte de la V Región de Chile (Valparaíso). La superficie de la provincia de

Petorca es de unos 4.589 km<sup>2</sup> con una población aproximada de 62.565 habitantes (densidad de 13,6 hab/km<sup>2</sup>).

Tradicionalmente, una de las principales actividades económicas de la zona es la minería (pequeña y mediana). En este contexto la provincia cuenta con alrededor de 72 minas. De este total cerca del 27,8% (20 minas) se encuentra actualmente en explotación, 2,8% (2 minas) aterradas (término utilizado en la minería chilena para describir aquellos yacimientos agrietados o derrumbados interiormente), y finalmente 69,4% (50 minas) no explotadas o en etapa de abandono. De estas últimas un 59,7% (43 minas) poseen acceso disponible aceptable (en vehículo) y en un 9,7% (7 minas) el camino se encuentra cortado.

Para la extracción del mineral correspondiente (cobre, plata y oro principalmente), existen en la zona algunas plantas mineras para iniciar el proceso de extracción del mineral (chancado y/o aumento de ley) el cual es finalizado en la planta de ENAMI ubicada en el sector de Ventanas, Algunas de estas plantas mineras se encuentran cerradas básicamente debido a factores económicos y operacionales.

En la Tabla 1.1 se muestra en detalle los enclaves mineros existentes en la provincia de Petorca y su situación actual.

Tabla 1.1 Listado de las minas existentes en la Provincia de Petorca.

Explotadas	Atierradas	Camino cortado	Abandonadas
Transito	La Morocha	Vizcachas	Huaquen
El Bronce	Río Tinto	Brilladora	Huaquen (de las Lajas)
Los Hoyos		Esmeralda	Los Tigres
El Pedernal		Congollo	María Luisa
Resguardo		Arbolito	Graciela
Dulcinea		Lucrecia	Chile-España
Bolas de Oro		Llahuin	Ciclón
Sopromin			San Pedro
Los Latones			Los Carditos
La Canela			Alcaparrita
Río Grande			Frutillar
Esconial			Lucinda
Las Cenizas			La Conga
Peumo			Margarita
San Luis			Santa Filomena
San Juan			Delirio
Palqui			El Sobrante
La Patagua			Los Quillos
Cerro Negro			Santa Margarita
Lilen-Portales			Rosa Grande
			Elsa Montoya
			Quisco
			Coligue
			Pajaritos
			La Canela
			La Escapada
			Emisoi
			Torre
			Rafaela
			Rusa (Rosillo)
			Bototo
			María-José y Olga
			Rosario de Andacollo
			Johane
			Las Mostazas
			La Cobriza
			Guernica
			Santa Teresita
			El Cerrado
			San Antonio
			Las Cuevas

Una de las primeras etapas del proyecto es la evaluación de las minas que se encuentran en etapa de abandono en la Provincia de Petorca, debido a que sus yacimientos mineros están agotados, o bien, a que estos no son susceptibles de ser explotados por presentar una baja ley, lo que económicamente no hace posible su explotación.

Con el fin de establecer el potencial de utilizar las minas abandonadas como centros productores de hongos comestibles, se procedió a la visita en terreno de algunas de ellas, monitoreando algunos parámetros básicos, tales como, temperatura interna y externa de la mina (u obras en algunos casos), humedad relativa interna y externa, y carga microbiológica interna. Se procedió de igual forma a determinar la disponibilidad de agua y energía eléctrica en cada una de ellas.

En el evento que la mina no disponga de agua, se estudia la posibilidad de instalar un estanque para la acumulación de la misma, en una cota superior y llenado mediante el uso de un camión cisterna.

En el caso de no contar con energía eléctrica cercana (bifásica o trifásica), esta puede ser suministrada por un generador sobre la base de petróleo o bencina. En el Apéndice 1, se detallan las características de cada una de las minas que fueron visitadas.

### **1.3 EVALUACIÓN DE LAS MINAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN CENTROS PRODUCTORES DE HONGOS COMESTIBLES.**

A partir de la visita a las minas visitadas, se pudo desarrollar una pauta para evaluar que minas era posible de implementar para el cultivo de hongos comestibles. Para este propósito se procedió a establecer cuales eran las principales características que debían cumplir las minas para su reconversión<sup>16</sup>, estas fueron numeradas del 1 al 7, donde:

1. La Escapada
2. Rafaela
3. Delirio
4. Río Tinto
5. La Canela
6. Elsa Montoya
7. Dulcinea.

Se analizarán 8 factores, los que se indican en la Tabla 1.2, con su correspondiente ponderación y puntuación para cada mina visitada. La ponderación para cada factor es de 1 a 5, donde 1 es poco importante y 5 es muy importante. Luego cada mina es evaluada con +1 si ese factor es positivo (relevante) en la mina, o si es neutro (poco relevante) y -1 si es negativo (perjudicial).



Tabla 1.2 Factores de selección.

Factor	Pond	1	2	3	4	5	6	7
Ubicación de las minas	5	+1	-1	+1	0	+1	-1	-1
Área disponible	4	0	0	+1	0	+1	+1	+1
Acceso a las minas	5	1	-1	+1	-1	+1	0	-1
Disp. de servicios energéticos	3	0	-1	+1	-1	+1	0	-1
Disponibilidad y calidad de agua	4	0	0	0	-1	+1	0	-1
Temperatura	3	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1
Humedad Relativa	3	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1
Ventilación	1	0	+1	0	0	+1	+1	0

Para discriminar entre las diferentes minas abandonadas que son susceptibles implementar, se debe obtener un puntaje total, el que se calcula de la siguiente manera:

$$P_{Tj} = P_j * C \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:  $P_{Tj}$  : representa el puntaje total para el factor j de la mina correspondiente.  
 $P_j$ : ponderación  
 $C$ : puntuación

Luego,

$$P_T = \sum P_{Tj} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde :  $P_T$  : es el puntaje total para cada mina.

Aplicando las ecuaciones a los datos de la Tabla 1.2, se obtienen los puntajes totales presentados en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Puntuación y suma de los factores de selección.

<b>Factor</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Ubicación de las minas	5	-5	5	0	5	-5	-5
Área disponible	0	0	4	0	4	4	4
Acceso a las minas	5	-5	5	-5	5	0	-5
Disp. de servicios energéticos	0	-5	3	-3	3	0	-3
Disponibilidad y calidad de agua	0	0	0	-4	4	0	-4
Temperatura	3	3	3	0	3	3	3
Humedad Relativa	3	3	3	0	3	3	3
Ventilación	0	1	0	0	1	1	0
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>-8</b>	<b>23</b>	<b>-12</b>	<b>28</b>	<b>6</b>	<b>-7</b>

Como se desprende de la Tabla 1.3. las minas, LA ESCAPADA, DELIRIO, LA CANELA Y ELSA MONTOYA, son las que presentan las mejores características para ser reconvertidas en centros productores de champiñones. En las tres primeras minas que se mencionan, si bien, no disponen de un área muy extensa para el cultivo, tienen la gran ventaja de ser lugares de fácil acceso y que disponen de servicios básicos a corta distancia. En cambio para el caso de Elsa Montoya, esta presenta el inconveniente de encontrarse bastante más alejada que las anteriores, aunque el camino para llegar a ella se encuentra en buenas condiciones y la ventaja es que dispone de un área mucho más amplia para desarrollar el cultivo de hongos comestibles.

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación de las minas que fueron visitadas, se pueden extrapolar estos a las demás minas abandonadas, que presenten condiciones y características semejantes a las ya seleccionadas.

Finalmente, se puede establecer que el total de minas a implementar en una primera etapa asciende a 18, considerando que las ubicadas en el sector los Molinos, donde se localiza la mina La Canela, es de aproximadamente 10. Otras minas que son susceptibles a implementar son las ubicadas en la Planta minera El Cerrado.

## 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HONGOS COMESTIBLES.

### 1.4.1 GENERALIDADES.

Los hongos superiores han sido utilizados como alimento humano por siglos. De las más de 45.000 especies de hongos técnicamente descritas, cerca de 2.000 especies conocidas son consideradas como comestibles. De estas, poco más de 25 especies son ampliamente aceptadas como alimento humano, y sólo 10 son explotadas comercialmente<sup>1</sup>.

El consumo de estos hongos comestibles a través de los años ha ido en un notorio aumento, debido principalmente a los avances tecnológicos obtenidos para su cultivo y debido a la masificación del producto con fines gastronómicos, ya sea fresco o preservado (enlatado, en aceite, etc.).

Además de su potencial contribución como alimento animal y humano, los hongos en general tienen la ventaja de transformar una amplia gama de residuos; más aún tienen la capacidad de transformar residuos de bajo valor nutricional y de bajo valor agregado, en un alimento nutricional ampliamente aceptado y económicamente atractivo<sup>3</sup>.

A continuación se presentan las principales especies de hongos comestibles que se comercializan en el mundo<sup>6</sup>.

- *Agaricus bisporus*.

**Familia:** Agaricaceae.

**Nombre común:** Champiñón blanco.

En la actualidad el cultivo de esta especie representa cerca del 40% de la producción a nivel mundial, equivalente a 1900000 toneladas anuales.<sup>2</sup>



- *Auricularia spp.*

**Familia:** Auriculariaceae

**Nombre común:** Hongo oreja.

La producción a nivel mundial de esta especie alcanza el 8,5%.<sup>2</sup>

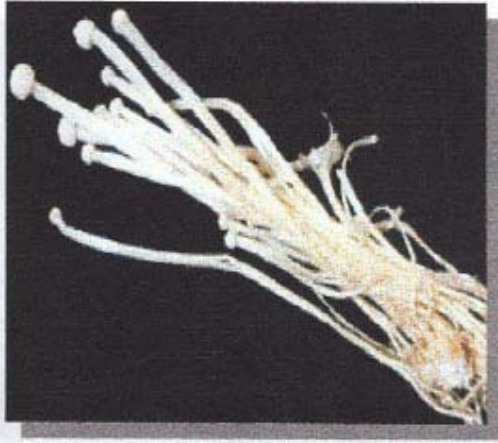


- *Flammulina velutipes.*

**Familia:** Poliporaceae

**Nombre común:** Champiñón de invierno.

La producción a nivel mundial de esta especie alcanza el 47%.<sup>2</sup>



- *Lentinula edodes.*

**Familia:** Poliporaceae

**Nombre común:** Shiitake.

Ocupa el segundo lugar en producción a nivel mundial con un 17%, equivalentes a 830000 toneladas/año.<sup>2</sup>

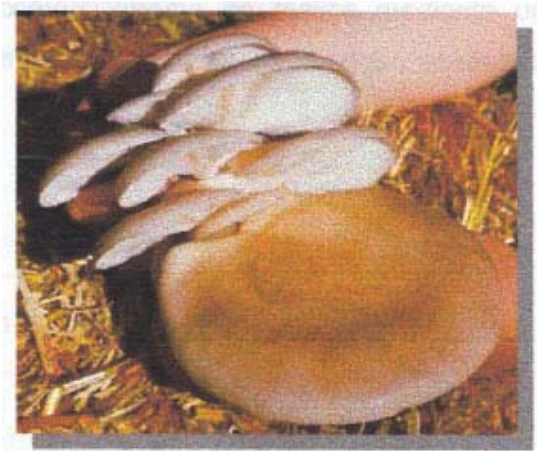


- *Pleurotus ostreatus*.

**Familia:** Poliporaceae

**Nombre común:** Champiñón ostra.

La producción a nivel mundial de esta especie alcanza el 9%.<sup>2</sup>

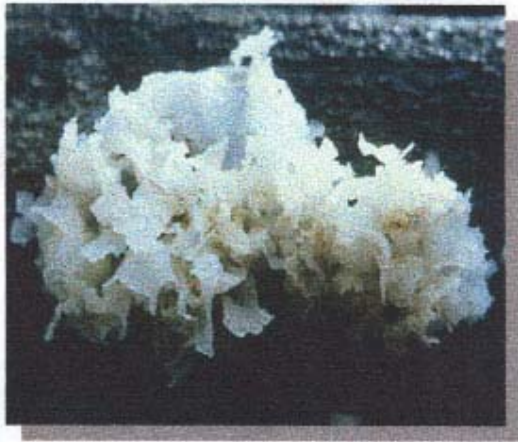


- *Tremella fuciformis*.

**Familia:** Tremellaceae.

**Nombre común:** Champiñón Jelly.

La producción a nivel mundial de esta especie alcanza el 3.2%.<sup>2</sup>



- *Volvariella volvacea.*

**Familia:** Poliporaceae.

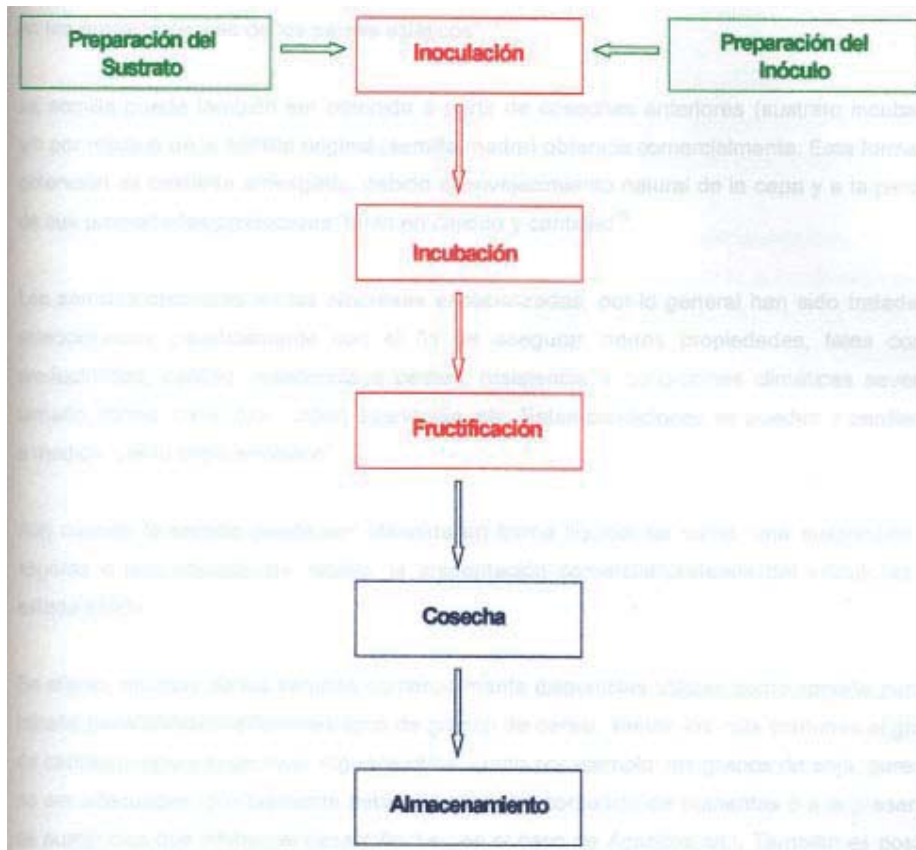
**Nombre común:** Champiñón paja.

La producción a nivel mundial de esta especie alcanza el 6%.<sup>2</sup>



La producción de los hongos explotados comercialmente se realiza mediante una fermentación aeróbica en estado sólido, y en general puede ser resumida según se muestra en la Figura 1.2<sup>3</sup>

Figura 1.2. Esquema de las etapas del proceso de producción de hongos comestibles.



#### 1.4.2 PREPARACIÓN DEL INÓCULO.

La obtención del inóculo, denominado “semilla” en términos de la industria de los hongos comestibles, es obtenida preferentemente de empresas especializadas en su producción. Más aún, en algunos casos, este es el único camino confiable para obtener una cepa de calidad; por ejemplo, en el caso del hongo Shiitake, la cepa salvaje sólo puede ser obtenida en las áreas tropicales de los países asiáticos<sup>6,11</sup>.

La semilla puede también ser obtenida a partir de cosechas anteriores (sustrato incubado) y/o por repique de la semilla original (semilla madre) obtenida comercialmente. Esta forma de obtención es bastante arriesgada, debido al envejecimiento natural de la cepa y a la pérdida de sus propiedades productivas, tanto en calidad y cantidad<sup>10</sup>.



Las semillas obtenidas en las empresas especializadas, por lo general han sido tratadas y seleccionadas genéticamente con el fin de asegurar ciertas propiedades, tales como: productividad, calidad, resistencia a plagas, resistencia a condiciones climáticas severas, tamaño, forma, color, olor, sabor, apariencia, etc. Estas condiciones se pueden ir perdiendo a medida que la cepa envejece<sup>9</sup>.

Aún cuando la semilla puede ser obtenida en forma líquida, tal como, una suspensión de esporas o una solución de micelio, la presentación comercial preferida del inóculo es en estado sólido.

En efecto, muchas de las semillas comercialmente disponibles utilizan como soporte para el micelio base (inóculo) diferentes tipos de granos de cereal, siendo los más comunes el grano de centeno, trigo y el de mijo. Algunos otros, como por ejemplo: los granos de soja, parecen no ser adecuados (posiblemente debido al excesivo contenido de nutrientes o a la presencia de sustancias que inhiben el desarrollo, i.e., en el caso de *Agaricus sp.*). También es posible utilizar, para aquellas cepas degradadoras de madera, otros soportes del inóculo, como por ejemplo, chips o pedazos de madera dura, aserrín de la misma o una mezcla de estos últimos<sup>1,8</sup>.

En algunas plantas dedicadas al cultivo intensivo del champiñón (*Agaricus bisporus*) con fines comerciales, se prefiere la semilla sobre la base del grano de mijo debido básicamente a su menor tamaño de grano lo cual contribuye a obtener más puntos de inoculación. En algunas condiciones esto es deseable, ya que la mayor velocidad de colonización del compost por el micelio previene el desarrollo de algunas enfermedades y plagas. No existen diferencias en el nivel de colonización del micelio durante la cobertura y tampoco diferencias en el rendimiento cuando es usado indistintamente centeno o mijo.<sup>3</sup>

Por otra parte, la cantidad de semilla a ser utilizada tiene un efecto importante sobre el rendimiento final obtenido (por lo menos dentro de ciertos márgenes). Esto se debe fundamentalmente a que el grano de cereal, la solución o suspensión actuará como un suplemento y/o activador adicional dada la reserva propia en nutrientes que posee el mismo.

Se debe tener presente, además que a mayor cantidad de semilla adicionada menor será el tiempo requerido para la incubación. Asimismo es probable que durante la incubación

exista un alza en las temperaturas (debido a la mayor actividad del micelio), la cual debe ser convenientemente manipulada para evitar el daño o destrucción del micelio, y consecuentemente evitar pérdidas en la productividad.

La selección de la cepa (dentro de una misma especie) es realizada según factores de disponibilidad y principalmente económicos. La utilización de uno u otro grano, solución u otro soporte se selecciona de acuerdo a consideraciones y preferencias personales más que operativas. También esta selección se realiza respecto al destino del champiñón fresco obtenido.

En definitiva, la preparación de la semilla, aún cuando puede ser preparada en planta, no es adecuado hacerlo; siendo más conveniente su adquisición en laboratorios especializados sobretodo durante los ensayos preliminares, planta piloto, puesta en marcha y primeros años de funcionamiento de la planta champiñonera. Esto tendrá la ventaja además de permitir el ajuste de otras variables de proceso involucradas en la producción del hongo comestible en cuestión, manteniendo constante el efecto causado por la semilla<sup>12</sup>.

### **1.4.3 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO.**

Tal como otros procesos de fermentación, el cultivo de los hongos comestibles requiere nutrientes básicos similares, tales como: fuente de carbono, fuente de nitrógeno, oxígeno, minerales, elementos traza, vitaminas, etc. y las condiciones físico químicas deben ser óptimamente controladas.

La preparación del sustrato depende del tipo de cultivo comercial que se desee implementar, el cual puede ser extensivo (acelerando las condiciones naturales de producción de los hongos) o intensiva (aplicando tecnología asociada y generalmente dentro de salas o cámaras especialmente diseñadas para tal fin, en donde las condiciones ambientales son estrictamente controladas)<sup>6,9</sup>.

En el cultivo extensivo se utilizan materiales orgánicos en descomposición en forma natural, tales como bosques, y en donde se acelera la producción inoculando la especie

deseada artificialmente. Este tipo de cultivo depende exclusivamente de las condiciones ambientales y climáticas predominantes en la región donde sea realizado el cultivo<sup>18</sup>.

Por otro lado, la preparación del sustrato en el cultivo intensivo de los hongos, se realiza a partir de la recepción de las materias orgánicas obtenidas, las cuales pueden ser de diverso origen, pero preferentemente residuos industriales de alguna otra actividad industrial o agrícola.<sup>9</sup>

Dentro de las materias primas factibles de ser utilizadas para la preparación del sustrato en el cultivo intensivo de los hongos comestibles, se pueden citar: paja de trigo, paja de cebada, paja de arroz, caña de azúcar, guano de caballo, guano de pollo, guano de gallina, afrecho y semilla de algodón, afrecho y semilla de soja, afrecho y semilla de raps, afrecho y semilla de maravilla, coronta de choclo, brote de malta, etc. También suelen ser utilizados otros materiales de origen orgánico y/o inorgánico, tales como, urea, sulfato de amonio, sulfato de calcio, carbonato de calcio, etc. Estos últimos principalmente aparte de ser utilizados como nutrientes para el hongo, son adicionados con el fin de regular el pH, aumentar la capacidad de retención de agua, mejorar la textura del sustrato obtenido, etc.<sup>4</sup>

La elección de una u otra materia prima es realizada principalmente basándose en la disponibilidad, costo, preferencia personal y especie de hongo a ser cultivada. La mezcla de los componentes se realiza sobre la base del balance nutricional requerido por el hongo seleccionado<sup>19</sup>.

La preparación del sustrato considera la pasteurización o la esterilización durante alguna etapa del mismo y antes de la aplicación del inóculo. La finalidad de cualquiera de los dos tratamientos señalados persigue obtener un sustrato libre de pestes fúngicas, bacteriológicas y víricas, nematodos, insectos y ácaros.

Al término de la etapa de preparación del sustrato se obtiene un medio selectivo y nutritivo para la especie de hongo a ser cultivada

Durante y terminado el proceso de preparación del sustrato debe ser monitoreadas ciertas variables, tales como: Temperatura, pH, Porosidad y textura del sustrato, Carbono, Nitrógeno, Humedad, Cenizas, Duración del proceso, Otros (amoníaco).<sup>13</sup>

#### **1.4.4 INOCULACIÓN.**

El método de inoculación difiere de aquel realizado en la fermentación tradicional en cultivo sumergido.

En el caso del sustrato preparado artificialmente (paja, compost, etc.) la semilla - generalmente con grano de cereal como soporte - es agregada manual o mecánicamente sobre la superficie del sustrato o mediante capas. Un mejor método consiste en lograr una íntima relación entre el sustrato y la semilla, es decir, lograr un mezclamiento global (manual o mecánicamente) de tal forma que exista una buena homogeneización entre los mismos. De ser necesario se debe proceder al prensado de la mezcla para en las etapas posteriores del cultivo evitar un secado excesivo, escape del dióxido de carbono y posibles contaminaciones.

Por otro lado, en sustratos sólidos y rígidos (troncos), la inoculación se puede realizar mediante la infección con una emulsión de esporas (superficial) o por inyección directa con semilla líquida (lo cual disminuye el tiempo de incubación). Asimismo, en este tipo de sustrato para lograr la inoculación, también es posible hacer pequeños agujeros en donde es colocada la semilla a modo de tarugos y sellada con un material adecuado.<sup>17</sup>

La temperatura óptima de inoculación depende de la especie cultivada, sin embargo esta no es tan determinante si es más baja que la temperatura de incubación óptima, por el contrario si es demasiado alta puede producir un efecto negativo en la productividad final obtenida.

Una vez inoculado el sustrato por cualquiera de las formas ya señaladas (siembra en términos de la industria champiñonera), se procede a la incubación.

#### **1.4.5 INCUBACIÓN.**

El crecimiento y desarrollo del micelio (etapa vegetativa) del hongo cultivado debe ser más fuerte y vigoroso que el crecimiento y desarrollo de otros hongos y bacterias competitivos, para que el sustrato pueda ser rápidamente colonizado por el hongo cultivado y el antagonismo evite o dificulte el crecimiento de otros microorganismos. Con el fin de lograr este objetivo (aparte de lo selectivo y nutritivo del sustrato) se

deben crear y mantener las mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo del micelio.

Las condiciones que deben ser monitoreadas e idealmente controladas son: Temperatura óptima de crecimiento, pH, Porosidad y textura del sustrato. Circulación (Flujo volumétrico) y velocidad de aire, humedad (absoluta y relativa), Concentración de dióxido de carbono, Duración de la incubación. Los valores óptimos de todos estos factores dependen de la especie y cepa utilizada.

#### **1.4.6 FRUCTIFICACIÓN.**

Una vez finalizada la etapa de incubación se procede a estimular el cambio de desarrollo del micelio de la etapa vegetativa a la etapa reproductiva (fructificación).

La fructificación se logra cambiando drásticamente las condiciones ambientales mantenidas hasta el momento. Este cambio de condiciones considera principalmente factores, tales como, temperatura de aire y sustrato, concentración de dióxido de carbono, ventilación, humedad relativa y luz (en algunos tipos de hongos). Parte de estas condiciones deben ser mantenidas durante el resto del proceso productivo, es decir, hasta la eliminación del sustrato agotado (residuo sólido final obtenido). El cambio de las condiciones señaladas aparte del grado de colonización del micelio logrado, al igual que en la incubación, depende del tipo, tamaño y especie de tronco utilizado, semilla y cepa utilizada (factor más importante en esta etapa), de las condiciones ambientales predominantes, y drásticamente de las condiciones climáticas en el caso del cultivo extensivo.<sup>11</sup>

A continuación en la Tabla 1.4<sup>7</sup> se presentan las condiciones de cultivo para las principales especies de hongos comestibles que se comercializan en el mercado internacional.

Tabla 1.4 Condiciones de cultivo para especies de hongos comestibles.

Especies	Temperatura, °C		Nivel de control de condiciones requeridas. <sup>a</sup>
	Incubación	Fructificación	
<i>Agaricus bisporus</i>	20-27	10-20	++++
<i>Agaricus bitorquis</i>	25-30	20-25	++++
<i>Auricularia spp.</i>	20-35	20-30	+++
<i>Coprinus fimetarius</i>	20-40	20-40	+
<i>Flammulina velutipes</i>	18-25	3-8	+++
<i>Lentinula edodes</i>	20-30	12-20	++
<i>Pholiota nameko</i>	24-26	5-15	+++
<i>Pleurotus ostreatus</i>	20-27	10-20	+
<i>Stropharia rugoso-annulata</i>	25-28	10-20	++
<i>Tremella fuciformis</i>	20-25	20-27	+++
<i>Volvariella volvacea</i>	35-40	30-35	+

<sup>a</sup> Alto nivel de control : ++++      Bajo nivel de control: +

Es importante destacar que el desarrollo de los cuerpos fructíferos no es continuo, una vez iniciada la cosecha podrán recogerse muchos champiñones durante 3 a 4 días; pasados los cuales la producción disminuye con rapidez y prácticamente se detiene por varios días<sup>9</sup>.

Mientras tanto se desarrollan nuevos primordios y al cabo de unos días, la producción alcanza un nuevo máximo. Esta producción cíclica se conoce como fenómeno de oleadas.

Generalmente las tres primeras oleadas son las más importantes, durante las cuales se cosecha aproximadamente el 70% de la producción total. El número de días que separan dos oleadas depende de la temperatura de las cámaras<sup>9</sup>.

El fenómeno de las oleadas se explica por el hecho que los primordios no se desarrollan mientras exista cierto número de champiñones sobre el cultivo.

### **1.4.7 RECOLECCIÓN.**

En general la recolección se realiza en forma manual aunque en el caso de *Agaricus bisporus* esta puede ser realizada en forma mecánica mediante maquinas especialmente diseñadas para tal fin.

La recolección o cosecha se presentará en oleadas o flujos y en algunos periodos la producción será nula. La cantidad, tipo y duración de la oleada dependerá del tipo de hongo cultivado, las condiciones operacionales mantenidas, del tipo de sustrato utilizado y de la cepa cultivada.

El rendimiento final obtenido, aparte de los factores mencionados en el párrafo precedente, dependerá de la técnica de recolección y de la duración del periodo de cosecha planificada.

### **1.4.8 PRODUCTO FRESCO.**

El producto fresco obtenido será un champiñón cuyas cualidades organolépticas y cuantitativas dependerán de todos los puntos anteriores y la manera en que ellos fueron realizados.

El champiñón obtenido puede ser comercializado como producto fresco en bolsas de papel, caja de cartón o en bandejas cubiertas con microfilm. También es posible realizar un tratamiento post — cosecha con el fin de lograr la preservación de los champiñones, tales como, enlatado, conservados en aceite, seco o preservas. Estos últimos procesos persiguen mantener el producto en óptimas condiciones para ser distribuidos a centros de consumo distantes del centro productivo<sup>6</sup>. Por otra parte, se obtendrá un subproducto consistente en el sustrato agotado. Este subproducto dependiendo del tipo de sustrato utilizado (según la especie y método de cultivo implementado) tendrá distintos destinos, como por ejemplo, mejorador de suelos, alimento animal o como sustrato para otro tipo de hongo.

## 1.5 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 1.

1. Royse, D.J.1997. **Cultivation of Shiitake Qn Natural and Synthetic Logs.** 10 pp. College of Sciences Cooperative Extension The Pennsylvania State University.
2. Ibid, p.4.
3. Tautorus, 1 1985. Mushrooms Fermentation. In: a R. Liss, Inc. **Advances in Biotechnolgical Processes**, Vol. 5 pp. 227-273. New York.
4. Ibid<sub>1</sub> p. 229.
5. Ibid, p. 253.
6. Zadrazil, F. and K. Grabbe. 1983. Edible Mushrooms. In: H. Dellweg. **Biotechnology**, Vol. 3. pp. 146-1 87. Florida.
7. Ibid, p. 157.
8. Ibid, p. 174.
9. Vedder, F. 1982. **Cultivo Moderno del Champiñón.** Ed. Mundi Prensa, España. pp. 289 -343.
10. Ibid, p. 245.
11. Ibid, p. 301.
12. Tseng, M. 1984. **Annual Reports on Femientation Processes.** Vol. 3. 51 pp.
13. Gray, W. 1970. **The use Fungi as Food and in Food Processing.** pp. 225-327. Illinois.
14. Ibid, p. 245.
15. Tautorus T, op. cit. p. 228.
16. Schaffeld,G. 1986. **Taller de Evaluación de Proyectos**, en Actas V Curso Latinoamericano de Biotecnología. Valparaíso; Ediciones Universitarias de Valparaíso. pp.18-22.



17. Tseng, M. op cit. pp 57-58
18. Royse, D. op.cit. p 5.
19. Tseng M. op. cit. pp 63-66.
20. Lonsane 6. 1985. **Engineering Aspects of Solid State Fermentation.** Enzyme Microb. Technol Vol. 7.
- 21 Ibid, p. 236.

# CAPÍTULO 2 ESTUDIO DE MERCADO

## 2.1 INTRODUCCIÓN.

Al iniciar un negocio basado en el cultivo de hongos comestibles una de las decisiones a tomar es: ¿qué especies deben ser cultivadas?. Esto dependerá principalmente del mercado, condiciones del lugar y sustratos.

Por tal motivo, el estudio de mercado constituye un punto de vital importancia, que permitirá obtener los antecedentes necesarios para seleccionar en forma correcta la(s) especie(s) a cultivar en el interior de las minas y además probar que existe un número suficiente de personas, empresas u otras entidades económicas, que dadas ciertas condiciones, presentan una demanda que justifica la puesta en marcha del proyecto.

## 2.2 EVOLUCIÓN DEL MERCADO MUNDIAL DE HONGOS COMESTIBLES.

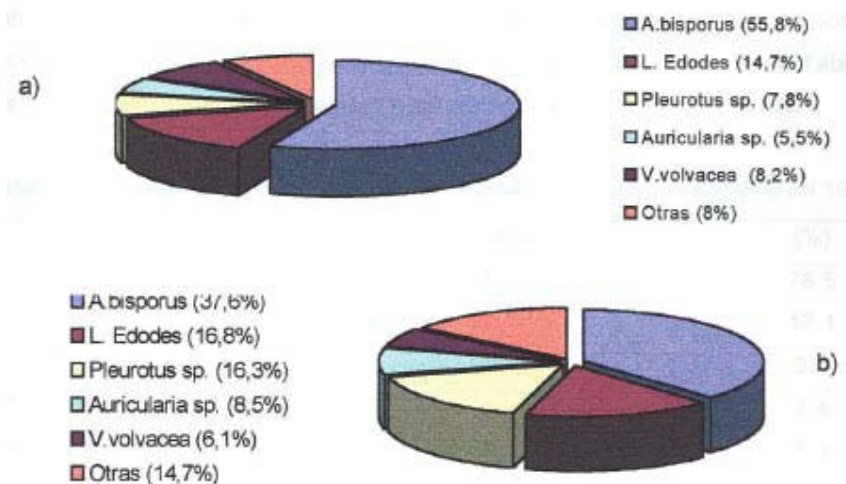
La producción de hongos comestibles ha experimentado un notorio incremento en los últimos 10 años, principalmente por la incorporación de nuevas técnicas de cultivo que han permitido optimizar y hacer más rentable la actividad. Es así como, en 1996 más de 120 países produjeron 4.9 millones de toneladas, siendo el *Agaricus bisporus* o champiñón blanco, el que ocupa el primer lugar en la producción mundial con un 38%, seguido por *Lentinula edodes* (Shiitake) con el 17%.<sup>1</sup>

En la Tabla 2.1<sup>2</sup> se puede apreciar el incremento que se ha producido entre 1986 y 1996 en la producción a nivel mundial de hongos comestibles y la Figura 2,1(a) y 2.1(b) se observa en forma gráfica como el cultivo de especies consideradas no tradicionales han aumentado su presencia en el mercado mundial.

Tabla 2.1 Producción mundial de hongos comestibles en 1986 y 1996.

Especies	Miles de toneladas		Miles de toneladas		Incremento.(%)
	1986.		1994.		
<i>Agaricus bisporus</i>	1215	(55.8%)	1846	(37.6%)	51.9
<i>Lentinula edodes</i>	320	(14.7%)	826	(16.8%)	158.1
<i>Pleurotus spp.</i>	169	(7.8%)	797	(16.3%)	371.6
<i>Auricularia spp.</i>	119	(5.5%)	420	(8.5%)	301.0
<i>Volvariella volvacea</i>	178	(8.2%)	299	(6.1%)	68
<i>Flammulina velutipes</i>	100	(4.6%)	230	(4.7%)	130
<i>Tremella fuciformis</i>	40	(1.8%)	156	(3.2%)	290
<i>Hypsizygus marmoreus</i>	-		55	(1.1%)	-
<i>Pholiota namenko</i>	25	(1.1%)	27	(0.6%)	8.0
<i>Grifola frondosa</i>	-		14	(0.4%)	-
Otras	10	(0.5%)	239	(4.8%)	2290.0
<b>Total</b>	<b>2176</b>	<b>(100%)</b>	<b>4909</b>	<b>(100%)</b>	<b>125.6</b>

Figura 2.1 a) Distribución porcentual de las principales especies de hongos comestibles que se comercializan en el mercado internacional en 1986. b) Distribución porcentual de las principales especies comercializadas en 1996.



## 2.2.1 OFERTA INTERNACIONAL.

Como es sabido de las más de 2000 especies de hongos clasificados como comestibles, sólo 10 de ellas son efectivamente explotadas comercialmente. Los principales

productores son países del Asia como China, Japón, Taiwán, Corea, entre otros; también se destacan Estados Unidos, Canadá, Australia, Holanda y Francia.<sup>13</sup>

La mayor parte del volumen total de producción de hongos comestibles en el mundo, se concentra en el cultivo del *Agaricus bisporus*, el cual es comercializado fresco, en conserva y conserva, no obstante, en estos últimos años, el porcentaje de éste con respecto a otras especies comerciales ha ido disminuyendo.<sup>6</sup>

Debido a la evolución que ha tenido en el transcurso de los años el mercado de hongos comestibles, resulta interesante conocer la oferta de otras especies, que debido a la incorporación de modernas técnicas de cultivo han hecho económicamente atractiva su producción, entre éstas destacan principalmente el Shiitake (*Lentinula edodes*) y el Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*)<sup>17</sup>.

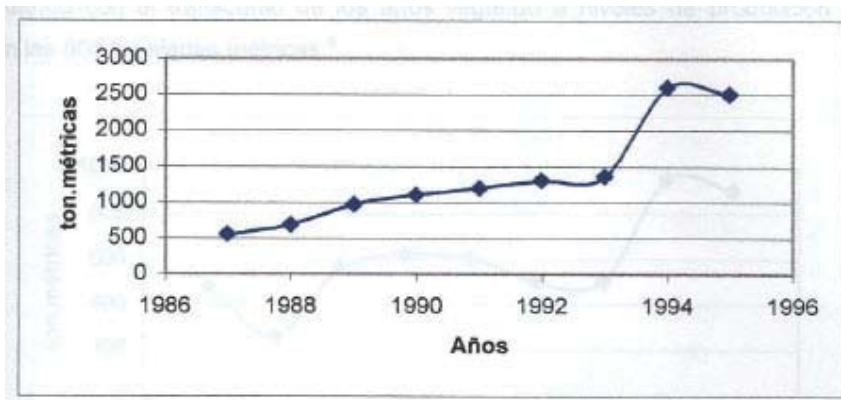
En cuanto al Shiitake este es un tipo de hongo comestible muy apreciado tanto por su sabor como por sus beneficios sobre la salud, en China, Japón y Corea. En la Tabla 2.2 se presenta cuales son los principales países productores de Shiitake en el mundo.<sup>4</sup>

Tabla 2.2 Principales países productores de Shiitake (*Lentinula edodes*) en 1995.

<b>País</b>	<b>Producción en miles de toneladas.</b>	<b>(%)</b>
China	632.0	76.5
Japón	141.3	17.1
Taiwan	28.1	3.4
Corea del Sur	20.1	2.4
Estados Unidos	2.5	0.3
Tailandia	0.3	-
Otros	1.9	0.3
<b>Total</b>	<b>826.2</b>	<b>100</b>

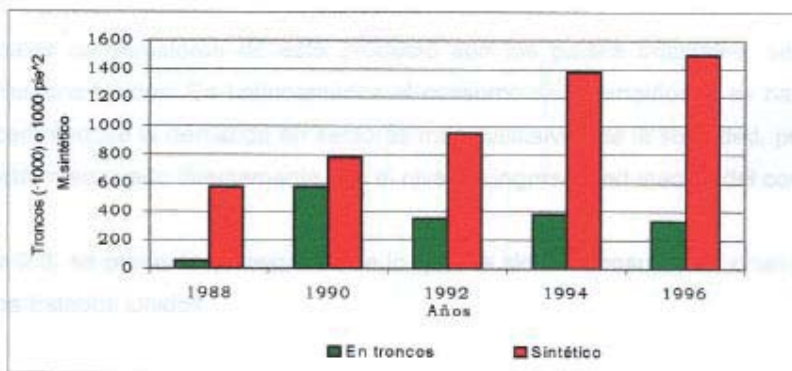
El principal productor de Shiitake es China con casi un 80% de la producción mundial. Actualmente, Estados Unidos, ha ido aumentando en forma notoria la producción de esta especie, como se puede observar en la Figura 2.2.<sup>5</sup>

Figura 2.2 Evolución de la producción anual de Shiitake en Estados Unidos.



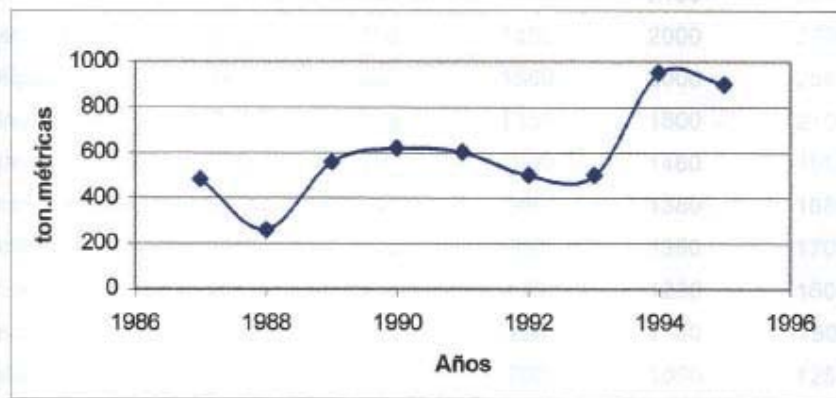
En un lapso de menos de 10 años, el incremento de esta especie alcanzó en este país un 450%, por lo que resulta bastante interesante la evolución que esta especie ha tenido y mantiene en el mercado internacional. Una de las principales causas, que ha provocado un aumento tan explosivo en la producción de Shiitake, es la implementación de una nueva estrategia de cultivo que ha incrementado de manera ostensible los rendimientos y productividad del proceso. En la Figura 2.3 se aprecia como el cultivo avanzado, en el cual se utiliza aserrín o chips de madera para formular una especie de tronco sintético, ha ido desplazando en forma drástica al cultivo tradicional el cual se desarrolla en troncos de árboles.<sup>19</sup>

Figura 2.3 Producción en de Shiitake con diferentes técnicas de cultivo.<sup>6</sup>



Una evolución parecida ha sufrido la producción del Champiñón Ostra en los EE.UU. como se puede apreciar en la Figura 2.4. Aunque, el incremento en la producción de Champiñón Ostra, no es tan significativo ni constante, como el de Shiitake en los EE.UU., este se ha ido consolidando con el transcurso de los años llegando a niveles de producción anual que bordean las 900 toneladas métricas.<sup>6</sup>

Figura 2.4 Producción anual de Pleurotus sp. en Estados Unidos.



## 2.2.2 DEMANDA INTERNACIONAL.

El consumo mundial de champiñones, ha sufrido un notorio aumento, este se concentra en el mercado disponible para consumo directo y como insumo para hoteles y restaurantes de nivel internacional.

Los principales consumidores de este producto son los países orientales, seguidos por Europa y Estados Unidos. En Latinoamérica el consumo de champiñones es bastante más reducido, centrándose la demanda en sectores más exclusivos de la sociedad, por lo que el mercado está relacionado directamente con el nivel de ingreso y educación del consumidor.

En la Tabla 2.3, se presenta un resumen de lo que ha sido el consumo de champiñones en Europa y los Estados Unidos.

Tabla 2.3 Consumo de hongos comestibles por naciones a nivel mundial.

<b>País/año</b>	<b>1960</b>	<b>1970</b>	<b>1974</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>
Alemania	150	1130	2020	2450	2950
Suiza	330	960	1340	2250	2890
Francia	700	1020	1440	2100	2640
Canadá	250	750	1450	2000	2700
Bélgica	440	880	1560	2000	2550
Dinamarca	390	960	1350	1800	2100
Suecia	220	550	1000	1460	1950
Gran Bretaña	300	740	980	1380	1680
Holanda	11	560	950	1350	1700
USA	290	510	730	1200	1600
España	20	120	400	1180	1500
Italia	40	370	700	1050	1250
Australia	140	400	660	1000	1300

### 2.2.3 PRECIOS INTERNACIONALES.

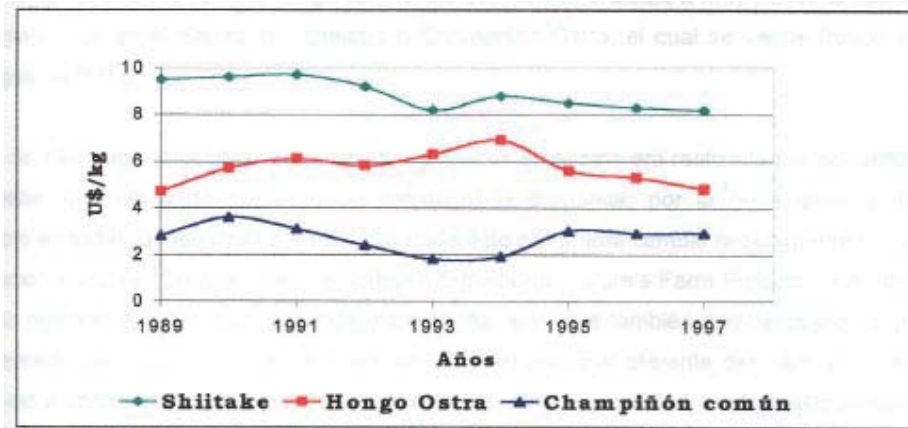
Los precios de los hongos comestibles varían según la especie. En la Tabla 2.4 se indican los precios a los cuales son comercializadas en el mercado internacional las principales especies como son el *Agaricus bisporus* (Champiñón común), *Lentinula edodes* (Shiitake) y *Pleurotus ostreatus* (Champiñón ostra).

Tabla 2.4 Precios internacionales de hongos comestibles.<sup>8</sup>

<b>Especie</b>	<b>U\$/kg fresco mayorista</b>	<b>U\$/kg fresco minorista</b>
<i>Agaricus bisporus</i>	0.7- 1.5	2.0 - 3.0
<i>Lentinula edodes</i>	6.0 - 7.0	8.0 - 9.0
<i>Pleurotus ostreatus</i>	2.0 - 3.0	4.0 - 5.0

En la Figura 2.5 se puede apreciar como han ido variando los precios de éstas tres especies entre los años 1989 y 1997.

Figura 2.5. Evolución de los precios de las principales especies de hongos comestibles que se comercializan en el mercado internacional entre 1989 y 1997.<sup>9</sup>



En cuanto a la evolución de los precios en el mercado internacional de las principales especies de hongos comestibles, estos presentan algunas fluctuaciones a través de los años, como se puede observar en la Figura 2.5, donde la especie que se comercializa a mayor precio es el Shiitake, seguido por el Champiñón Ostra y finalmente el Champiñón común (blanco), no presentando ninguna de éstas una variación demasiado drástica y apreciándose que en los últimos tres años el precio de cada una de ellas se ha estabilizado.

## 2.3 MERCADO NACIONAL DE HONGOS COMESTIBLES.

El mercado nacional de hongos comestibles se concentra básicamente en la producción de *Agaricus bisporus*, el cual es comercializado de distintas formas como las que se mencionan ha continuación:

- Frescos:
  - A granel
  - Bandejas de 200 g.



- Bandejas de 400 g.

- En conserva
- Preservados.

Existe también otra especie de hongo comestible que se comercializa a muy pequeña escala en el país, que es el *Pleurotus ostreatus* o Champiñón Ostra, el cual se vende fresco en bandejas de 200 g.

Antes de 1990, la producción de champiñones frescos en el país era realizada por pequeñas empresas, que sin duda no permitían satisfacer la demanda, por la no existencia del producto en todas las regiones del país. Sin duda este panorama cambió radicalmente con la instalación en Chile (ConCón) de la empresa internacional Nature's Farm Products S.A., que no sólo permitió abastecer la demanda insatisfecha, sino que también cambió la estructura del mercado del champiñón fresco, pasando a ser el principal oferente del país. Además, influyó a una expansión del mercado, producto de una mejor calidad, buen abastecimiento y comercialización.

La aparición de esta planta industrial de gran tamaño y de alta tecnología ha desplazado a gran parte de la competencia y además ha colaborado a que las empresas de este sector que quieran competir deban invertir en recursos tecnológicos y humanos para poder mejorar la calidad de sus productos.

En la actualidad esta empresa es capaz de producir 800 toneladas mensuales en promedio, equivalente a un 60% de la capacidad proyectada.

En cuanto a la demanda en el país de este tipo de producto, se puede identificar una clara segmentación del mercado, que está relacionada con algunas características propias del consumidor y factores de comportamiento en el mercado que pueden apreciarse en la Tabla 2.5 y 2.6, respectivamente.

Tabla 2.5 Características personales del consumidor.

Factores	VARIABLES	Intensidad
Demográfico	Renta doméstica/percápita	Media-Alto
	Nivel educacional	Media-Alto
	Clase social	Media-Alto
Psicográfico	Estilos de percepción	Alto

Tabla 2.6. Comportamiento del consumidor en el mercado.

Factores	VARIABLES	Intensidad
Uso del producto	Frecuencia de uso	Baja
	Lealtad a la marca	Baja
Beneficio del producto	Satisfacción	Media
Proceso de decisión	Hábitos de compra	Baja
	Sensibilidad al precio	Alta
	Sensibilidad a promociones	Alta

Entre las variables demográficas y psicográficas existe una correlación que puede definir mejor el comportamiento del consumidor. Como se puede observar el consumidor tiene un perfil marcado en cuanto a nivel de ingreso y educación. Además, no tiene un comportamiento marcado en relación a un uso frecuente del producto.

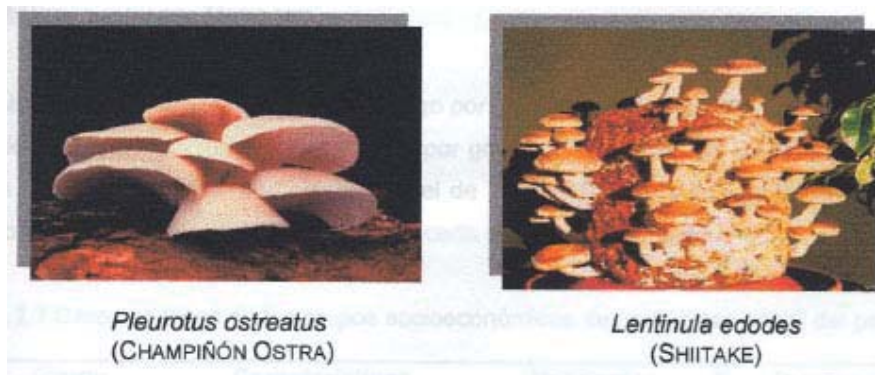
El consumidor adquiere el champiñón para complementar diferentes platos, en cantidades pequeñas o relativamente bajas. En general el consumidor desconoce las características alimenticias de los champiñones, por lo que la decisión de compra es más bien por aspectos subjetivos que tienen relación con el estilo de vida.

## 2.4 ELECCIÓN DE LAS ESPECIES A CULTIVAR.

La elección de la(s) especie(s) a ser cultivada(s) se ha llevado a cabo a través de la recopilación de antecedentes sobre las condiciones de cultivo de las diferentes especies de hongos comestibles que se comercializan en la actualidad, junto con un análisis de la evolución del mercado internacional y nacional en los últimos 10 años<sup>2</sup>.

Es así, que al revisar los antecedentes de lo que ha sido la evolución del mercado internacional, con respecto a la producción de hongos comestibles, como a la situación actual que se presenta en el país en relación con este mismo tema y considerando que el cultivo se desea realizar en minas abandonadas ubicadas en la provincia de Petorca, en donde se aprovecharán todas aquellas condiciones y características propias de las minas como temperatura y humedad relativa principalmente, para que la incubación y formación de cuerpos fructíferos puedan ser mantenidas sin costos excesivos de calentamiento o refrigeración, es que se enfocará nuestro interés en la producción de especies de hongos comestibles como *Lentinula edodes* y *Pleurotus ostreatus*, descartando la posibilidad de cultivar el *Agaricus bisporus*, ya que, no es recomendable tanto técnica como económicamente realizar el cultivo de esta especie, a pesar de ser la que tiene mayor impacto en el mercado, principalmente porque en el país se estableció Nature's Farm SA. empresa ya consolidada y que ha enfocado sus esfuerzos en eliminar del mercado a todo posible competidor, bajando sus precios de venta en forma considerable.

Figura 2.6 Especies seleccionadas.



## 2.5 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.

En Chile las especies de hongos comestibles como Shiitake (*Lentinula edodes*) y Champiñón Ostra (*Pleurotus ostreatus*), son prácticamente desconocidas. Por tal motivo, no se dispone a nivel nacional de información y antecedentes de oferta y

demanda de este tipo de especies. Sin embargo, estos hongos comestibles poseen una altísima cualidad nutritiva, con muy amplio mercado disponible para consumo directo y como insumo para hoteles y restaurantes de nivel internacional y oriental.

El análisis de la demanda abarca tres grandes temas:

- El volumen de la demanda prevista para el período de vida útil del proyecto.
- La parte de la demanda que se espera ser atendida por el proyecto.
- Los supuestos que se han utilizado para fundamentar las conclusiones del estudio.

Dada las características personales del consumidor y su comportamiento, se puede identificar la participación de cada grupo donde se encuentran concentradas mayormente las ventas. Para poder definir esta segmentación, se considerará como variable de análisis el nivel de ingreso promedio por hogar, el cual le permite acceder a la compra del producto. El nivel de ingreso se puede relacionar con personas que pertenecen a sectores en donde es más factible que el Champiñón Ostra y el Shiitake se incorporen dentro de los hábitos de consumo alimenticios.

### **2.5.1 SEGMENTACIÓN DEL MERCADO.**

El análisis se realizó para la ciudad de Santiago por ser el punto de mayor consumo del país. Se consideró la clasificación de la población por grupo socioeconómico. En la Tabla 2.7 se resumen las características, porcentaje y nivel de ingreso promedio mensual por hogar de los grupos socioeconómicos pertenecientes a cada clase social del país.

Tabla 2.7 Características de los grupos socioeconómicos de cada clase social del país.<sup>8</sup>

Clase	Grupo	Características	Habitantes	%	Ingreso (UF) <sup>a</sup>
Alta	AB	Es el estrato más alto de la sociedad chilena, representa alrededor del 2% de los hogares del área urbana, con costumbres de consumo internacionalmente orientadas.	74500	1.7	200 <sup>b</sup>
	C1	También forma parte del estrato alto de la sociedad con aproximadamente un 8% de los hogares del área urbana. En conjunto el grupo ABC1 aporta con un 37% del consumo del área urbana.	385200	9.0	65
Media	C2	Es la clase media alta y en conjunto con el grupo C3 representan el 45% de los hogares del área urbana.	608400	14.1	37.5
	C3	Es la clase media baja de la sociedad. El gasto en consumo del grupo C2-C3 representa aproximadamente el 52% del total del consumo de los hogares del área urbana.	807050	18.7	13.5
Baja	D	Es el estrato social bajo, compuesto por la clase trabajadora, representa un 37% de los hogares del área urbana.	1801200	41.8	5.6
	E	Este grupo es considerado marginal desde el punto de vista socioeconómico, representa un 8% de los hogares del área urbana.	635030	14.7	3.4

<sup>a</sup> Corresponde al valor de la UF al 30 de Julio de 1999.

<sup>b</sup> En este caso el ingreso corresponde al ingreso mínimo mensual del hogar.

En la Tabla 2.8 se muestra el número de habitantes y hogares promedio dependiendo de los grupos socioeconómicos. Como se puede apreciar en los grupos en donde existe mayor cantidad de hogares es la clase baja, los cuales por su ingreso no les permite acceder a la compra de este tipo de producto.

Tabla 2.8 Distribución de hogares y habitantes por clase social en el Área Metropolitana.

Clase	Grupo	Habitantes	Nº de Hogares	%
Clase Alta	AB	74500	24800	2.3
	C1	385200	98551	9.1
Clase Media	C2	608400	162491	15.1
	C3	807050	215540	20.1
Clase Baja	D	1801200	426444	39.4
	E	635030	150415	14

Para determinar la distribución del consumo de éstas dos especies en los diferentes grupos sociales, se estimó un cierto porcentaje de hogares que las consumirían si estuvieran presentes en el mercado, dependiendo del nivel de ingreso. Para este análisis se consideró la clase alta (ABC1) y media alta (C2).

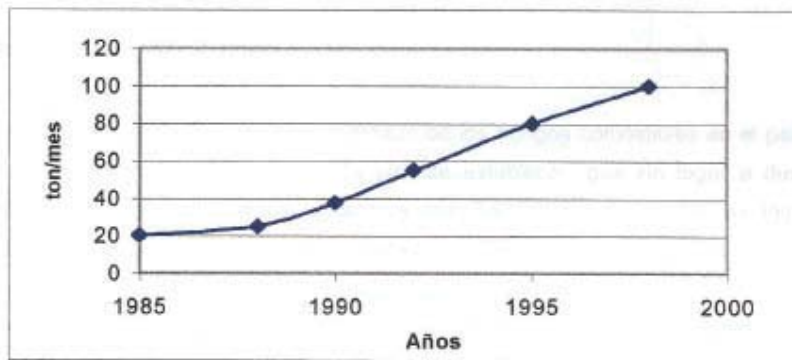
Una vez definido cual es el mercado que se desea abastecer, es necesario determinar cual será el volumen de consumo de dicho mercado.

Debido a que en Chile no se disponen de datos históricos de oferta y demanda de estas dos especies de hongos comestibles, se tomó como referencia el comportamiento de la demanda en los Estados Unidos, la que alcanza un consumo per cápita de 348 g/año para el caso de Champiñón Ostra y 239 g/año para el Shiitake.<sup>9</sup>

Junto con estos antecedentes, se analizó la penetración que ha tenido en los últimos años el consumo de *Agaricus bisporus* en el país, especie que sí se encuentra en el mercado nacional y de la cual se dispone de información respecto a la oferta y demanda.

En la Figura 2.7 se muestra cual ha sido la evolución de la demanda para el caso de *Agaricus bisporus* (Champiñón blanco) en Chile.

Figura 2.7 Evolución de la demanda de *Agaricus bisporus* en Chile.



Como se puede apreciar, en la actualidad el consumo nacional de ésta especie bordea las 100 ton/mensuales, experimentando un crecimiento anual del 15 %, lo que se debe principalmente a que el producto se ha dado a conocer a través de publicidad y promociones frecuentes, en puntos masivos de venta, como son las grandes cadenas de supermercados.

Para estimar la demanda tanto de Shiitake como de Champiñón Ostra, se consideró el consumo por hogar de los sectores previamente seleccionados (ABC1 y C2), estimándose el volumen de consumo equivalente a un 5% para el caso del Shiitake y un 8% para el caso del Champiñón Ostra, en relación a la demanda actual que tiene la especie *Agaricus bisporus* en el país. En la Tabla 2.9 se puede observar la distribución del consumo en kg. de champiñones de las especies seleccionadas, para la ciudad de Santiago, considerando un consumo anual por hogar de 300 g. para el caso del Champiñón Ostra y de 200 g para el Shiitake.

Tabla 2.9. Distribución del consumo por hogar para la ciudad de Santiago.

Grupo	N° de hogares	Consumo Total (kg/año)	
		Champiñón Ostra	Shiitake
AB	24800	7400	4800
C1	98551	29520	18780
C2	162491	38500	26700

Se tiene un consumo estimado total de 125,7 toneladas anuales, sólo para el Área Metropolitana, la cual representa el 80% del poder de compra nacional. Por tal motivo, la demanda a nivel nacional asciende a **158 ton/año**, de este total 94.8 ton/año corresponden al consumo de Champiñón Ostra y el resto 63,2 ton/año corresponden al de Shiitake.

### **2.5.2 PROYECCIONES.**

Dadas las características que posee el mercado de los hongos comestibles en el país, que ha sido analizada en la sección 2.3, nos permite establecer, que sin lugar a dudas, el consumo de este tipo de producto está muy marcado tanto por el nivel de ingreso y educación de la población. Por tal motivo, existe a nivel nacional, un sector que corresponde a la clase alta y media alta que son potenciales consumidores y que debido a que especies como Champiñón Ostra y Shiitake no están presentes en el mercado, obviamente no pueden acceder a la compra de ellas.

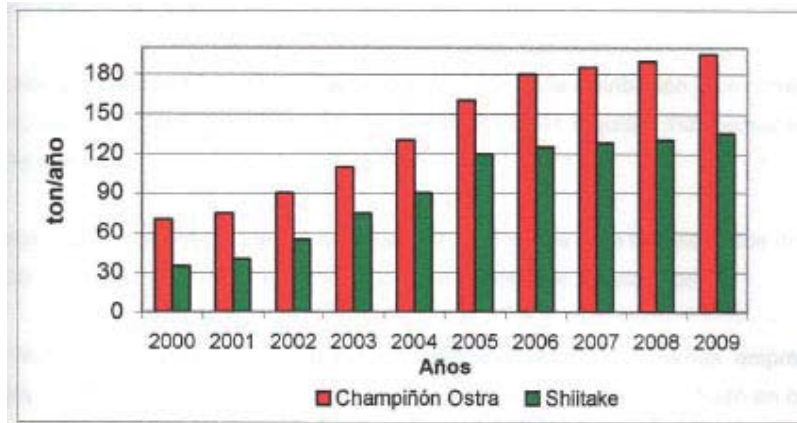
Para realizar una proyección de lo que sería la demanda de estas especies desde el año 2000 al 2009, se ha considerado que la evolución que ésta presente estará dividida en tres fases:

- La primera, es la introducción del producto al mercado con una tasa de crecimiento reducida, debido principalmente a que es un producto prácticamente desconocido para el grueso de la población.
- Posteriormente, vendría un período intermedio con un rápido crecimiento de la demanda.
- Y finalmente, una fase de saturación. Podría presentarse una eventual cuarta fase, llamada de declinación, pero esta generalmente se evita mediante el permanente apoyo de la comercialización y publicidad.

En la Figura 2.8 se muestra la proyección de la demanda del mercado de Champiñón Ostra y Shiitake en el país.



Figura 2.8. Estimación de la demanda de Champiñón Ostra y Shiitake en Chile.



La estimación de la demanda esté enfocada básicamente para abastecer el mercado nacional, más específicamente, el Área Metropolitana y parte de la V región, por lo que los volúmenes de producción podrían ser incrementados ostensiblemente si se desea realizar la exportación del producto, en este caso no se podría comercializar fresco, por lo tanto, se requeriría de un proceso posterior de preserve o conserva, el cual podría ser efectuado en alguna empresa del rubro, como por ejemplo, Wasil y/o Deyko<sup>7</sup>.

### 2.5.3 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.

La capacidad de producción esté íntimamente relacionada con la demanda del producto, por tal motivo se ha estimado una producción anual en los primeros tres años de 89 ton/año correspondientes a la especie *Pleurotus ostreatus* (Champiñón Ostra) y 56 ton/año a la especie *Lentinula edodes* (Shiitake), lo que da un total de 144 ton/año.

Posteriormente, y de acuerdo a como sea el comportamiento de la demanda frente a estas dos especies, se irá incrementando la producción de una más que de otra, o se mantendrán constantes los porcentajes de producción entre ambas, estimándose para el año 2009 llegar a una producción de 350 ton/año, sólo para abastecer el mercado nacional, sin lugar a dudas, si se dieran las condiciones para la exportación del producto los volúmenes de producción se verían fuertemente incrementados.

## 2.6 COMERCIALIZACIÓN.

El correcto planteamiento de las formas de organización de la distribución, que corresponden a un concepto ampliado del análisis de comercialización, es requisito indispensable para el éxito del proyecto.

En primer lugar es necesario identificar cuales son los lugares a los que se puede distribuir el producto. En este caso existen tres mercados que pueden ser abastecidos<sup>14</sup>:

- El Mercado industrial, está representado, principalmente, por aquellas empresas que compran el producto fresco a granel para procesarlos, y ofrecer el producto en conserva. Entre ellas, pueden citarse empresas como Wasil y Deyko.
- El Mercado Intermedio, está constituido por hoteles y restaurantes de nivel internacional y oriental, los que requieren el producto para la preparación de comidas elaboradas. Es necesario tener aquí un vendedor encargado de hacer los contados para formalizar la compra.

La modalidad de entrega a este tipo de mercado es a granel, en bolsas con un contenido de 3 a 5 kg. de producto. Los pedidos son efectuados por los clientes frecuentemente un día antes a la fecha de entrega requerida, los cuales son transportados en camiones refrigerados.

- El tercer mercado, está constituido por las cadenas de supermercados que ofrecen el producto al consumidor final. Entre estos destacan los localizados en el sector oriente de la capital como: Jumbo, Lider, Almac, Unimarc y Montserrat entre otros.

El mecanismo de compra que estos establecimientos disponen para incorporar el producto al mercado para que quede a disposición del consumidor, exige en el caso del que producto sea fresco, que se comercialice en bandejas plásticas cubiertas con un film plástico transparente, donde se especifique claramente la fecha de vencimiento.

En el momento de entrega del pedido en los supermercados, se emite una factura al cliente, y al transcurrir entre 15 a 30 días, dicha factura es cancelada por el cliente. Es necesario indicar, que todo producto que cumpla con la fecha de vencimiento y no sea vendido hasta ese momento se devuelve al proveedor.

Otro aspecto importante a considerar, es la publicidad, la cual para este caso es de gran relevancia, dado que se está frente a dos productos (Champiñón Ostra y Shiitake) que son nuevos en el mercado, por lo que resulta fundamental dirigir la energía creativa a buscar una ventaja competitiva que posicione favorablemente el producto en el mercado.

La estimación de la demanda esté enfocada básicamente para abastecer el mercado nacional, más específicamente, el Área Metropolitana y parte de la y región, por lo que los volúmenes de producción podrían ser incrementados ostensiblemente si se desea realizar la exportación del producto, en este caso no se podría comercializar fresco, por lo tanto, se requeriría de un proceso posterior de conserva o conserva, el cual podría ser efectuado en alguna empresa del rubro, como por ejemplo, Wasil y/o Deyko.

## **2.7 ANÁLISIS FODA.**

De acuerdo al estudio de mercado y pensando en la factibilidad de la producción de hongos comestibles (Champiñón Ostra y Shiitake) en Chile, se logra reconocer ciertas características que colocan este proyecto en ventaja por sobre sus competidores y en buenas condiciones para su realización. Así mismo, se observa dificultades que podrían alterar dicho proceso. A continuación se detalla tales características, ordenadas según sean evaluadas como fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

### **2.7.1. FORTALEZAS.**

- **Disponibilidad de mano de obra.** Como consecuencia del término de faenas mineras en la zona y a los altos índices de cesantía existentes en el país, existe en la misma una facilidad para la obtención de mano de obra.

- **Contexto social.** Dentro del marco gubernamental, el proyecto presenta la ventaja de ayudar a paliar la cesantía existente en el país, especialmente en la zona de ejecución del proyecto (Petorca).

- **Interés empresarial.** Existe un gran interés por el microempresariado de la zona en generar nuevas fuentes de trabajo e ingresos utilizando los recursos humanos y materiales disponibles, de preferencia utilizando los terrenos e infraestructura propios.

- **Interés gubernamental.** El Estado demuestra especial interés en que nuevos proyectos como el estudiado en el presente informe puedan ser implementados a corto y/o mediano plazo.

- **Utilización de residuos orgánicos.** El cultivo de hongos comestibles presenta la ventaja de utilizar residuos orgánicos de diversa procedencia como materias primas. Esto además presenta la ventaja de colaborar en la estabilización y utilización de estos residuos, que de otra manera contribuirían a aumentar los residuos sólidos.

- **Cuidado del medio ambiente.** El residuo final obtenido en el proceso de cultivo de los hongos comestibles, aparte de ser un residuo estabilizado orgánicamente, presenta la ventaja de ser utilizado como mejorador de suelos, producto requerido en la zona y con cierto valor agregado. Por lo tanto, el proyecto es un ejemplo claro de desarrollo de actividades industriales con sustentación medioambiental.

- **Factores climáticos.** La provincia de Petorca se encuentra ubicada en la zona central de nuestro país, esto permite el predominio de condiciones ambientales, tales como la temperatura y humedad relativa, más o menos constante a través de todo el año. El clima corresponde a aquel predominante en la cordillera de la costa, el cual corresponde al tipo templado cálido.

### **2.7.2. OPORTUNIDADES.**

- **Disminución de la cesantía.** Tal como se puede deducir de los puntos anteriores, existe una clara oportunidad de ayudar a disminuir la tasa de cesantía existente en la zona.

- **Pioneros en la actividad.** Aún cuando existen antecedentes de cultivo intensivo de champiñones en nuestro país, el proyecto involucra el cultivo de otras especies distintas a las cultivadas en la actualidad, esto lleva a la conclusión que se sería pionero en esta actividad a nivel nacional.

- **Producto innovador.** Las especies de hongos comestibles a cultivar ofrecen ventajas alimentarias y medicinales únicas. También son de gran interés en gastronomía.

- **Satisfacción de la demanda.** Aún cuando en el país existe un sector (sector socioeconómico alto) que conoce o al menos tiene un conocimiento somero de los hongos comestibles a cultivar, no pueden acceder a ellos debido a que en el país no existe su producción, por lo que el producto podría llegar a satisfacer una demanda no satisfecha.

- **Exportación de producto no tradicional.** Las especies de hongos comestibles a ser cultivados tienen una gran demanda a nivel internacional, y siendo un producto de exportación no tradicional existe la oportunidad de acceder a ciertos instrumentos estatales para estimular su producción.

### **2.7.3. DEBILIDADES.**

**X Distancia a los centros consumidores.** Esto pasa a ser una desventaja por los altos costos de flete involucrados en la distribución del producto, especialmente para producto fresco. El principal centro consumidor de producto fresco es sin lugar a dudas, Santiago; en especial aquellas comunas de nivel socioeconómico medio y alto.

**X Falta de capacitación.** Se debe considerar que el cultivo de hongos comestibles no es una tarea fácil y sencilla, muy por el contrario exige una alta capacitación del personal a cargo respecto de todas las variables involucradas en el proceso como asimismo un gran esfuerzo físico en las labores rutinarias del cultivo. Se debe considerar además que el proyecto plantea la reconversión de una actividad tradicionalmente minera de la zona hacia una actividad agrícola, la cual indudablemente no es tan sencilla,

**X Distribución geográfica de las minas.** La distribución geográfica de las minas es bastante dispersa y distanciada las unas de las otras, por lo que la focalización de las labores y su mecanización resultarían complicadas. Existe la posibilidad de centralizar las labores, pero se pierde un poco el sentido inicial del proyecto en cuanto a utilizar la mayor cantidad de minas disponibles.

**X Dificultad de acceso.** Por lo general el acceso a las minas es difícil, realizándose por caminos de tierra angostos e incómodos, inclusive revistiendo cierto peligro. Aún cuando el tráfico por estos caminos es posible, se debe considerar el rápido desgaste de los vehículos y los costos asociados a la mantención de los mismos.

**X Falta de servicios básicos.** La lejanía y dispersión de las minas evita que estas cuenten con los servicios básicos de agua potable y electricidad, lo cual indudablemente dificulta el acceso a los mismos. Obviamente la implementación de estos servicios encarece los costos del Proyecto.

#### **2.7.4. AMENAZAS.**

**X Establecimiento de plantas productoras próximas a Santiago.** El establecimiento de plantas productoras de hongos comestibles en las cercanías de Santiago (comunas del Norte y Sur del área Metropolitana) puede llegar a convertirse en un fuerte competidor de la o las plantas establecidas en la provincia de Petorca. Obviamente sus costos de transporte de materias primas y producto serían mucho menores a aquellos considerados en el presente Proyecto, lo cual redundaría en menores precios de venta del producto a los centros distribuidores (principalmente las grandes cadenas de supermercados) y consecuentemente en menores ingresos. Sin embargo tendrían un costo de implementación mayor.

**X Deserción del microempresariado.** Existe la posibilidad que el microempresariado no vea totalmente satisfecha sus expectativas económicas respecto al Proyecto, lo cual podría llevar a que muchos de ellos decidan alejarse del mismo por otras actividades más lucrativas. Se debe considerar que el Proyecto requiere de un gran esfuerzo y dedicación.

## **2.8 BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 2.**

1. Royse, D.J.1997.**Cultivation of Shiitake en Natural and Synthetic Logs.** 10 pp. College of Sciences Cooperative Extension The Pennsylvania State University.

2. Chang, S.T. 1996. Mushroom research and development - a quality and mutual benefit. *Mush. Biol. Mush. Prod.* 2:1-10.
3. Zadrazil, F. and KL Grabbe. 1983. Edible Mushrooms. In: H. Dellweg. **Biotechnology**, Vol. 3. pp. 146-187. Florida.
4. Tautorus, T. 1985. Mushrooms Fermentation. In: a R. Liss, Inc. **Advances in Biotechnological Processes**, Vol. 5 pp. 227-273. New York.
5. Ibid, p. 155.
6. Ibid, p. 180
7. **SERCOTEC**. Perfil técnico económico de una Planta de Champiñones. 1992.
8. Instituto Nacional de Estadística. **INE**. Compendio 1998.
9. National Agricultural Statistics Service, **USDA**, Specialty mushrooms; and Bureau of the Census, US. Department of Commerce.
10. Vedder, F. 1982. **Cultivo Moderno del Champiñón**. Ed. Mundi Prensa, España. pp. 289 -343.
11. Ibid, p. 245
12. Ibid, p. 301.
13. Schaffeld, G. 1986. **Taller de Evaluación de Proyectos**, en Actas V Curso Latinoamericano de Biotecnología. Valparaíso; Ediciones Universitarias de Valparaíso. pp.18-22.
14. Mc Carthy, J. 1984. **Comercialización**. Cap. 2, Tercera edición., p. 38-39.
15. Gray, W. 1970. **The use Fungi as Food and in Food Processing**. pp. 225-327. Illinois.
16. Ibid p. 245.
17. Tautorus T, op. cit. p. 228.

18. Chang, ST. op cit. p.7
19. Royse, D. op.cit. p 5.



# CAPÍTULO 3 SELECCIÓN Y SÍNTESIS DE PROCESOS

## 3.1 INTRODUCCIÓN

La selección y síntesis de procesos, se realiza para las dos especies de hongos comestibles seleccionadas en el capítulo anterior, las que corresponden al Champiñón Ostra (*Pleurotus ostreatus*) y el Shiitake (*Lentinula edodes*). A continuación se detallan las técnicas de cultivo de ambas especies.

## 3.2 CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN OSTRA. (*Pleurotus ostreatus*)

### 3.2.1 GENERALIDADES

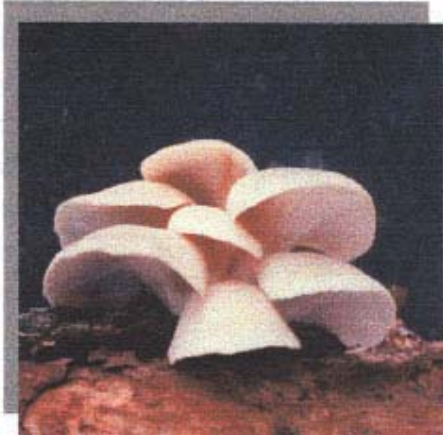
Familia: Poliporaceae

Nombre común: Champiñón Ostra.

Este hongo comestible es el tercero en importancia en cuanto a producción másica mundial se refiere. Su principal utilización es en el ámbito gastronómico.<sup>1</sup>

Principalmente es cultivado en Europa del Este, en donde es el segundo hongo comestible explotado comercialmente<sup>3</sup>.

Figura 3.1 *Pleurotus ostreatus* cultivado en bolsas de polipropileno.



Su cultivo se ha extendido ampliamente en Italia, Hungría, Alemania, Suiza y Francia, como también en Asia y Estados Unidos.<sup>3,6</sup>

Este es un hongo saprófito (no posee clorofila, pero necesita de luz para el desarrollo de los cuerpos fructíferos) y heterótrofo. Al igual que en el caso del Shiitake este es un hongo que taxonómicamente pertenece al filum Thallophita, sub-filum Fungi, división sub-filum *Eumicetes*, clase Basidiomycetes (las esporas se forman al exterior de una célula llamada Basidio), sub-clase Homobasidiomycetes, orden Agaricales, familia Polyporaceae.<sup>3</sup>

El desarrollo y crecimiento de este hongo en forma natural se encuentra presente sobre árboles muertos, los cuales por lo general son pobres en nutrientes, en una distribución geográfica bastante amplia a través de todo el mundo.

Su cultivo no se limita a una sola especie, sino que por el contrario a una amplia gama de variedades, siendo la principal diferencia entre estas, el color (azul oscuro, blanco, crema a café, amarillo y rosado), características organolépticas, textura, temperatura óptima y velocidad de crecimiento, complejidad de cultivo, etc. Dentro de las especies cultivadas, se pueden citar las siguientes variedades: *Pleurotus ostreatus*, *P. florida*, *P. sajor-caju*, *P. fiabellatus*, *P. eryngii*, *P. citrino-pileatus*, *P. pulmonarius*, *P. ulmarius*, *P. cystidiosus* y *P. comcupiae*.<sup>6</sup>

Esta especie, son principalmente hongos degradadores de la madera que atacan tanto a la celulosa como a la lignina y sus derivados. Sus características y actividades

bioquímicas, fisiológicas y morfológicas recientemente han comenzado a ser estudiadas y comprendidas. Las distintas especies consideradas son cultivadas sobre troncos, sobre paja pasteurizada o fermentada (compost), y sobre una amplia variedad de residuos agrícolas e industriales (aserrín, residuos de algodón, papel, hojas de té, subproductos del café, coronta de maíz, cáscara de arroz, cáscara de nuez o avellana, caña de azúcar, residuos de plátano, y compost residual del cultivo del *Agaricus* spp).<sup>3,6</sup>

### **3.2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CULTIVO.**

El Champiñón Ostra, puede ser cultivado por medio de dos métodos, el tradicional y el avanzado, pero en este caso es el método avanzado, el cual se puede realizar sobre la base de prácticamente cualquier tipo de residuo orgánico y el que se utiliza ampliamente en el ámbito comercial.

#### **MÉTODO TRADICIONAL**

Tal como ha sido señalado, en la naturaleza este hongo (al igual que la gran mayoría de los hongos comestibles) crece y se desarrolla sobre árboles muertos. El *Pleurotus ostreatus* ha sido cultivado a gran escala sobre troncos de los árboles de la familia *Fagaceae*, principalmente, el roble (*Quercus* spp.) y el castaño (*Castanea* spp.).

Este método de cultivo sobre troncos realizado en terrenos al aire libre, requiere aproximadamente de 6 meses a 2 años para la primera recolección.<sup>4</sup>

El procedimiento de preparación del sustrato es bastante sencillo, involucra la obtención de troncos talados, viejos y caducos de aproximadamente 20 a 40 centímetros de diámetro por 30 centímetros de largo.

Opcionalmente, según el método de inoculación elegido, a lo largo de los troncos puede ser realizada la perforación de pequeños agujeros, los cuales servirán de puntos de inoculación posteriormente.

En este método de cultivo la preparación del sustrato no involucra ningún tipo de tratamiento térmico. Esto significa que la competencia y antagonismo entre la especie

que se desea cultivar y otros hongos, bacterias e insectos será una variable que afecta significativamente la productividad del proceso.<sup>6</sup>

### **MÉTODO AVANZADO**

Más interesante desde el punto de vista medioambiental, es el cultivo desarrollado en cámaras, en donde son utilizados algunos residuos agrícolas e industriales. Los champiñones pueden ser recolectados al cabo de 1 a 2 meses (dependiendo del tipo de sustrato preparado y el tratamiento térmico aplicado al mismo) y la fructificación continúa por unos 2-3 meses.<sup>5</sup>

El método avanzado para el cultivo de esta especie utiliza un sustrato fermentado, pasteurizado o esterilizado el cual es colocado en bolsas plásticas, cajones o estantes, en forma similar al cultivo realizado para *Agaricus bisporus*.

Las materias primas utilizadas son parcialmente cortadas y mezcladas con agua para lograr aproximadamente un 70% de humedad. La materia básica preferida es la paja de trigo mezclada con algún tipo de suplemento para lograr el balance nutricional adecuado, (preferentemente afrecho de soya y afrecho de alfalfa) y otros compuestos para regulación de pH (carbonato) y textura (sulfato de calcio).

Las condiciones para lograr la esterilización son 121°C por 1-2 horas, mientras que para la pasterización 60 a 100 °C por un tiempo del orden de 1 hora a 2 días. Luego se enfría a 25 °C y se procede a la inoculación. Al utilizar cualquiera de estos dos métodos térmicos se logra un sustrato selectivo y nutritivo para el hongo cultivado, el cual debido a sus altas propiedades antagonistas, logra evitar el desarrollo y crecimiento de contaminantes (hongos y bacterias).<sup>6</sup>

Cuando se utiliza la esterilización se debe tener un especial cuidado debido a que esta puede causar la aglomeración (inducida por el calor) de compuestos de bajo peso molecular, lo cual redundará en una disminución de la calidad del sustrato.

Dadas las características que presentan estos dos métodos de cultivo, se ha seleccionado el cultivo avanzado por presentar este:

- Mayor versatilidad en el manejo del proceso global.
- Mayor rendimiento de producción.
- Menor tiempo requerido para la cosecha.
- Menor extensión de terreno necesaria para el cultivo.

### 3.2.3 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO.

Para la preparación del sustrato del Champiñón Ostra, como ya ha sido mencionado, se puede utilizar diversos tipos de desechos orgánicos.

Los principales sustratos para realizar el cultivo, son preparados en base a paja de trigo con la incorporación de suplementos que permitan alcanzar un porcentaje de nitrógeno del orden de 1.5-2 % (base seca) y reguladores de pH.<sup>7</sup>

Se usará compost elaborado a partir de paja de trigo, pero debido a que este presenta un déficit de nitrógeno respecto al requerido para el sustrato, se suplirá con estiércol de ave dado su bajo costo, por servir de suplemento de otros nutrientes y por la microflora microbiana que aporta a la posterior compostación.

En la Tabla 3.1 se presentan las características de ambas materias primas utilizadas para la elaboración del sustrato.

Tabla 3.1 Composición aproximada de la Paja de trigo y Estiércol de ave.<sup>20</sup>

	Paja de trigo	Estiércol de ave
Humedad (%)	20	45
Nitrógeno (% base seca)	1	5.5
Potasio (% base seca)	1.5	2.8
Fósforo (% base seca)	0.45	2

Las etapas involucradas en la preparación del sustrato son: Compostación, Pasteurización y Acondicionamiento.

## **COMPOSTACIÓN**

La compostación es una fermentación termofílica aerobia, en la cual el material se divide, mezcla y humidifica con el objetivo de reducir su estructura y producir un material homogéneo.

En esta fase se produce: consumo de nutrientes fácilmente degradables, conversión de suficiente nitrógeno a formas de proteína microbiana, abrir la estructura de lignina y humidificarla, otorgar al material una humedad del 70%.<sup>10</sup>

Para este tipo de procesos se cuenta con diferentes sistemas de fermentación en sustrato sólido, tales como: bandejas, cordones, torre, cama con reciclo de aire, tambor rotatorio, tanque agitado.<sup>15</sup>

Los primeros dos sistemas operan por lotes y los cuatro restantes pueden ser operados en forma continua.

Debido al costo que requieren los sistemas continuos se escoge el sistema por cordones o pilas por sobre el de bandeja que requiere de un excesivo manejo para el nivel de producción estimado (25 toneladas). Además el sistema seleccionado permite procesar de una vez la materia prima para un lote, lo que favorece la adecuada secuencia y operación de las etapas posteriores.

El sistema se llevara a cabo en una cancha de compostaje de superficie asfaltada. El material se apilará en forma de cordones a lo largo de la cancha techada.

El control de humedad y aireación de cada pila se efectuará por adición de agua y por volteos de la pila.

El volteo de la pila se puede realizar en forma manual o mecánica, se ha optado por el sistema manual debido a que uno de los objetivos de este proyecto es precisamente el generar nuevas fuentes de empleo, además que el instalar una maquinaria especializada constituye un costo de inversión adicional, que resulta innecesario en este caso.

## **PASTEURIZACIÓN**

Esta etapa consiste en la eliminación de microorganismos y agentes extraños e indeseables del compost.

Para ello se realiza un tratamiento térmico del compost, descartándose el tratamiento químico por el efecto sobre los procesos de fermentación posteriores.

Luego de esta etapa el compost debería contener sólo flora termofílica, la que se encargará de la fermentación durante el acondicionamiento.

El tratamiento térmico se realiza a una temperatura de 60°C. Existen principalmente dos formas de pasteurización, una de ellas es el tratamiento en sala o de bandejas y el tratamiento en masa. Para el primero, el compost es colocado en bandejas que luego se llevan a una sala para un tratamiento a 6000 por medio del ingreso de una mezcla de aire con vapor, por un tiempo de 3 a 5 horas. Para el segundo el compost es colocado en una cámara o túnel, cuyo piso está formado por una superficie tipo malla. La corriente de aire y vapor ingresa por debajo de este piso y percola a través del techo.<sup>6,11</sup>

Para este caso se utilizará el sistema de pasteurización en masa dado que permite una mayor homogeneidad de las condiciones de temperatura, mejor control de la operación y menor consumo de vapor.

## **ACONDICIONAMIENTO**

Por medio de esta etapa se busca terminar de degradar el material de fácil acceso que no fue atacado en la compostación, a fin de hacer selectivo el medio para el desarrollo del *Pleurotus ostreatus*. Con este fin se realiza una fermentación controlada del compost a alta temperatura, inmediatamente después de la etapa de pasteurización.<sup>12</sup>

Esta fermentación puede ser realizada por los mismos sistemas señalados para la compostación, sólo que en este caso se requiere mayor control higiénico, ya que se deben evitar contaminaciones que afecten la selectividad del medio.

El sistema de pilas o cordones presenta pocas posibilidades de un adecuado control higiénico, mientras que el sistema de torre requiere un alto costo de equipo. Los sistemas de tambor rotatorio y tanque agitado requieren un costo adicional de movimiento y agitación.

Los sistemas más utilizados son: el de bandeja o sala y el de lecho con circulación de aire o tratamiento en masa,

Para el acondicionamiento en sala se baja gradualmente la temperatura del material colocado en bandejas, desde 60°C hasta 50°C en un lapso de 2 a 4 días, para luego llevar la temperatura a 25°C para la etapa de inoculación.<sup>13</sup>

Se selecciona el acondicionamiento en masa, ya que este permite utilizar el mismo equipo que el de la pasteurización, lo que implica un menor costo de inversión y operación.

### **3.2.4 INOCULACIÓN.**

En este caso se prefiere la inoculación del sustrato con semilla que utiliza grano de cereal como soporte. La tasa de adición de la semilla corresponde a 0,5 a 5% del peso húmedo de sustrato. Se debe recordar que a mayor tasa de adición de semilla menor es el tiempo requerido para la incubación y posiblemente se logrará un mayor rendimiento (la desventaja es el aumento en los costos de adquisición por concepto de la semilla).<sup>9</sup>

La inoculación es bastante sencilla y consiste en lograr un íntimo contacto entre el sustrato y la semilla, lo más uniforme posible.

Esta etapa se desarrolla en una sala que garantice las condiciones de higiene necesarias para que no se produzca algún tipo de contaminación perjudicial para el desarrollo del hongo. Esta sala consta de mesones ahuecados donde el compost previamente acondicionado y a 25°C es depositado en su interior para mezclarlo con la semilla (inóculo). La mezcla es realizada en forma manual.



### 3.2.5 INCUBACIÓN.

En esta etapa se produce el desarrollo del micelio, (etapa vegetativa) el cual coloniza el sustrato donde fue inoculado, Durante esta fase se debe mantener una temperatura entre 20 -30 °C y una concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del orden del 2% para estimular el desarrollo vegetativo.<sup>6,9</sup>

Son muchos los sistemas que existen para desarrollar la incubación, entre los que destacan: el de bandejas, cajones, sacos y bolsas plásticas.

Debido a que la etapa de incubación se desarrolla en el interior de una mina, cuyas dimensiones promedio son de 2 x 2 x 40 m. Es decir el ancho y altura de las que se disponen no permiten la instalación de estructuras al interior, es que se ha optado por realizar la etapa de cultivo (incubación y fructificación) en bolsas plásticas como se puede apreciar en la Figura 3.2.

El tiempo de duración de esta etapa es de 12-15 días.

Sin duda que la duración del proceso está íntimamente relacionada con las condiciones de operación y cantidad de inóculo que agregado.

Figura 3.2. Cultivo de Champiñón ostra en bolsas de polipropileno.



### **3.2.6 FRUCTIFICACIÓN.**

En esta etapa se procede al cambio de las condiciones ambientales mantenidas durante la incubación, para inducir la formación de los cuerpos fructíferos desde el sustrato ya incubado.

Se disminuye la temperatura de 25°C (incubación) a 12°C, la humedad relativa es aumentada de un 75 a 85% y las bolsas deben ser agujeradas para permitir que los primordios se desarrollen, además es necesario aplicar luz.<sup>8</sup>

La luz requerida es similar a aquella necesaria para leer un periódico o mejor aún si es utilizada luz fluorescente o luz blanca.

El desarrollo de los cuerpos fructíferos no es continuo; una vez iniciada la cosecha se podrán recoger una cantidad considerable de champiñones durante 3 a 4 días, pasados los cuales la producción disminuye con rapidez y prácticamente se detiene por un par de días. Mientras tanto se desarrollan nuevos primordios y al cabo de unos días la producción alcanza un nuevo máximo.

Esta producción cíclica se conoce como el fenómeno de oleada, mencionado en la sección 1.4.7.

### **3.2.7 RECOLECCIÓN.**

La recolección de los cuerpos fructíferos se realiza en forma manual. Se estima que el rendimiento de champiñones obtenido es de aproximadamente un kilogramo de producto fresco por kilogramo de materia seca (paja) pueden ser obtenidos, extendiéndose la producción por unos 2 a 3 meses. Por este método, por lo tanto, mediante una adecuada planificación de la producción pueden ser recolectados champiñones a través de todo el año.<sup>22</sup>

### **3.2.8 PRODUCTO FINAL.**

El producto fresco obtenido debe ser almacenado en frío para evitar las pérdidas de sus características.

Se utilizará para tal efecto una cámara de refrigeración que mantendrá el producto a una temperatura entre 2 a 0°C.<sup>11</sup>

### **3.2.9 SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN DEL AIRE.**

La necesidad de evitar al máximo la posibilidad de contaminación hace necesario un tratamiento que de al aire un grado de esterilidad, en las etapas de acondicionamiento, inoculación y cultivo.

Para ello se selecciona filtros de lecho fibroso, considerando su alta eficiencia de remoción, bajo costo y baja carga de presión. Estas características lo hacen más ventajosos respecto a los filtros absolutos.<sup>14</sup>

## **3.3 CULTIVO DEL HONGO SHIITAKE. (*Lentinula edodes*)**

### **3.3.1 GENERALIDADES**

Familia: Poliporaceae

Sinónimos:

*Cortinellus shiitake*

*Cortinellus edodes*

*Cortinellus berkeleyanus*

*Armillaria edodes*

Nombre común: Shiitake

Figura 3.3 *Lentinula edodes* conocido como Shiitake



Este hongo comestible es el segundo en importancia en cuanto a producción másica mundial se refiere. Aparte de sus cualidades gastronómicas posee cualidades medicinales. También existen estudios preliminares para establecer su real potencial para la producción de amilasa cuando es cultivado sobre residuos alimenticios.

Principalmente es cultivado en China (donde se inicio el cultivo de esta especie), Taiwan, Tailandia, Corea, Malasia y en menor escala en Indochina, Nueva Zelandia y Rusia. En los primeros países el cultivo se realiza a nivel de planta familiar por lo que el desarrollo e información respecto al cultivo de este hongo comestible es bastante limitado.<sup>3</sup>

Este es un hongo saprófito (no posee clorofila, pero necesita de luz para el desarrollo de los cuerpos fructíferos), heterótrofo y heterotático. Es un hongo que taxonómicamente pertenece al filum *Thallophita*, sub-filum *Fungi*, división sub-filum *Eumicetes*, clase *Basidiomycetes* (las esporas se forman al exterior de una célula llamada Basidio), sub-clase *Homobasidiomycetes*, orden *Agaricales*, familia *Polyporaceae*.

### **3.3.2. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CULTIVO.**

Existen dos alternativas para el cultivo del Shiitake, una de ellas es el método tradicional que implica el uso de troncos de árboles como sustrato y el otro es el método avanzado, en que el sustrato es preparado en base a chips de madera o aserrín.

### **MÉTODO TRADICIONAL** (EN TRONCOS).

El Shiitake usualmente crece sobre troncos de los árboles de la familia *Fagaceae*, principalmente, el roble (*Quercus pedunculata*, *Q. acutissima*, *Q. mongolica*), castaño (*Castanea sativa*, *C. tschooski*, *C. laxiflora*, *C. japonica*), como se aprecia en la Figura 4.2, pero debe su nombre al hecho que también se desarrolla sobre el árbol shii (*Castanopsis cuspidata*, *sin. Pasania cuspidata*). Además se ha utilizado para su cultivo el roble común (*Quercus gambelii*) una maleza no apta para la producción de papel o madera aserrada, aliso (*Alnus glutinosa*) y la haya (*Fagus siliativa*). 17

Este método de cultivo sobre troncos realizado en terrenos al aire libre, requiere aproximadamente de 6 meses a 2 años para la primera recolección.

El procedimiento de preparación del sustrato es bastante sencillo, involucra la obtención de troncos talados, viejos y caducos de aproximadamente 5 a 20 centímetros de diámetro (recomendado 10 cm) por 1 a 1,5 metros de largo.<sup>18</sup>

Figura 3.4. Método tradicional cultivo de de diámetro (recomendado 10cm) por Shiitake.



Opcionalmente, según el método de inoculación elegido, a lo largo de los troncos puede ser realizada la perforación de pequeños agujeros, los cuales servirán de puntos de inoculación posteriormente.

Estos troncos deben poseer una corteza sana e intacta. Posiblemente esta capa de corteza actúe en forma similar a la función realizada por la tierra de cobertura en el cultivo de *Agaricus bisporus*, así como también ayuda a mantener un ambiente limpio para el desarrollo del micelio de Shiitake (incubación). Idealmente estos troncos deben ser obtenidos a partir de atoles cortados a finales de otoño y principios de primavera (i.e., cuando la corteza es firme y resistente y el contenido de azúcar de la savia es mayor).

En este método de cultivo la preparación del sustrato no involucra ningún tipo de tratamiento térmico como los ya señalados. Esto significa que la competencia y antagonismo entre el shiitake y otros hongos, bacterias e insectos será aún más incontrolable que en el caso de *Agaricus bisporus* durante todo el proceso productivo.

### **MÉTODO AVANZADO** (EN ASERRÍN).

Más interesante desde el punto de vista medioambiental, es el cultivo desarrollado en cámaras, en donde son utilizados algunos residuos agrícolas y de la industria de la celulosa. Los champiñones pueden ser recolectados al cabo de unos 2 meses y la fructificación continua por otros 2-4 meses.<sup>17</sup>

El método avanzado de esta especie utiliza como materia prima básica para la preparación del sustrato: aserrín y/o una mezcla sintética basada en chips de madera dura. Para lograr el balance nutritivo son adicionados otros materiales, tales como, afrecho o salvado de grano, carbonato de calcio, y otros suplementos de origen vegetal (como los señalados previamente). En la Figura 4.3 se puede observar como se realiza el cultivo avanzado para el Shiitake.

La mezcla se comprime de tal forma de obtener troncos sintéticos. Luego los troncos son colocados en bolsas plásticas y autoclavizados.

Figura 3.5. Cultivo avanzado de Shiitake.



Las condiciones de proceso del autoclavizado (esterilización) considera una temperatura del orden de los 90 a 120 °C por 90 minutos. Luego se enfría a 25 CC y se procede a la inoculación.<sup>23</sup>

La implementación de cualquiera de los dos métodos de cultivo señalados (extensivo e intensivo) debe ser realizada de acuerdo a disponibilidad de materias primas, consideraciones económicas y a las ventajas versus desventajas que presentan.

En la Tabla 3.2 se enumeran las principales ventajas y desventajas entre ambos métodos.

Tabla 3.2. Ventajas comparativas los distintos métodos de cultivo.<sup>17</sup>

	<b>Cultivo tradicional</b>	<b>Cultivo avanzado</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere energía.</li> <li>• Tecnología de bajo costo.</li> <li>• Bajos costos en mano de obra.</li> <li>• Bajos costos de materias primas.</li> <li>• Sustrato agotado utilizable como alimento animal.</li> <li>• No requiere de mano de obra especializada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción durante todo el año.</li> <li>• Posibilidad de aumentar rendimientos a través de experimentos con formulación de sustrato y condiciones ambientales.</li> <li>• Sustrato agotado utilizable como alimento animal.</li> <li>• Menor tiempo requerido.</li> <li>• Menor extensión de terreno necesaria.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensible a la contaminación.</li> <li>• Producción sólo dos veces al año.</li> <li>• Largo tiempo requerido para la producción.</li> <li>• Dependiente de las condiciones climáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor necesidad de mano de obra en la preparación del sustrato.</li> <li>• Mayor necesidad de mano de obra especializada.</li> <li>• Mayores costos energéticos para la esterilización del sustrato y mantención de las condiciones ambientales óptimas.</li> <li>• Necesidad de cámaras especiales.</li> </ul>

El método de cultivo seleccionado para la producción del hongo Shiitake es el avanzado, debido principalmente a que los tiempos de cultivo son ostensiblemente inferiores al método tradicional y la disponibilidad de materia prima (aserrín) resulta más factible de ser obtenida que los troncos de árboles.

### **3.3.3 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO.**

Como lo mencionado en la descripción del método de cultivo avanzado para el Shiitake, el sustrato que se requiere para el desarrollo de esta especie, está constituido básicamente de aserrín de madera.

Las etapas que se distinguen en esta fase son el mezclamiento y esterilización.

#### **MEZCLAMIENTO**



Las materias primas que se requieren para la elaboración del sustrato son:

- Aserrín de madera,
- Paja de trigo,
- Extracto de Levadura y
- Carbonato de Calcio.

Una vez seleccionadas las materias primas para la elaboración del sustrato, estas deben ser mezcladas con agua para lograr obtener una humedad del 60 a 65%.<sup>9</sup> La mezcla es realizada en forma manual en la misma cancha de compostación en que se prepara el sustrato para el Champiñón Ostra.

### **ESTERILIZACIÓN**

Esta etapa tiene por objetivo producir un sustrato selectivo para el Shiitake y prevenir que en este se encuentren organismos dañinos para el micelio o que compitan con él por las fuentes de nutrientes<sup>9,20</sup>.

Las condiciones de operación para la esterilización son una temperatura de 90°C por un tiempo de 2 horas.<sup>15,17</sup>

Para llevar a cabo este proceso, una vez que la mezcla de los nutrientes haya sido realizada se utilizará el mismo sistema seleccionado para el Champiñón Ostra descrito en la sección 3.2.3 (Pasteurización).

### **3.3.4 INOCULACIÓN.**

El inóculo para el cultivo de Shiitake puede venir en forma líquida (suspensión de esporas) o sólida (propagada en semilla de cereal). Sin embargo, la forma más ampliamente aceptada es la sólida, que consiste en la propagación del micelio sobre un soporte como lo es la semilla de trigo u otro cereal.

Tanto para el caso del Shiitake como del Champiñón Ostra el inóculo será adquirido a laboratorios especializados.

Para realizar la inoculación, es necesario que el sustrato previamente esterilizado esté a una temperatura de 25°C. Alcanzada esa condición se procede a mezclar el inóculo con el sustrato.

La tasa de adición de inóculo corresponde a 1-4% de peso húmedo de sustrato.<sup>13</sup>

El sistema seleccionado para realizar esta operación corresponde al descrito en la sección 3.2.4.

### **3.3.5 INCUBACIÓN.**

En esta etapa se produce el desarrollo del micelio, (etapa vegetativa) el cual coloniza el sustrato donde fue inoculado.

Durante esta fase se debe mantener una temperatura entre 20- 30°C y una concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del orden del 2% para estimular el desarrollo vegetativo.

El sistema utilizado para desarrollar la incubación es el de bolsas plásticas como para el Champiñón Ostra, las que son colgadas desde el techo de la mina.

El tiempo de duración de esta etapa es de 12-15 días. La duración de éste, está íntimamente relacionada con las condiciones de operación y cantidad de inóculo que agregado.

### **3.3.6. FRUCTIFICACIÓN.**

Al igual que para el caso del Champiñón Ostra, es necesario en esta etapa realizar el cambio de las condiciones ambientales mantenidas durante la incubación, para inducir la formación de los cuerpos fructíferos desde el sustrato ya incubado.

Para lograr esto se disminuye la temperatura de 25°C (incubación) a 10°C, la humedad relativa es aumentada de un 75 a 85% y las bolsas deben ser agujeradas para permitir que los primordios se desarrollen.<sup>18</sup>

Esta especie también requiere la presencia de luz para la formación de los cuerpos fructíferos.

Es importante recordar que tanto la incubación como la fructificación es desarrollada en el interior de la mina.

### **3.3.7 RECOLECCIÓN.**

La recolección de los cuerpos fructíferos se realiza en forma manual. En el cultivo intensivo o avanzado, es posible recolectar un promedio de 260 gramos de producto fresco por kilogramo de materia seca, extendiéndose la producción por unos 2 a 3 meses. Por este método, por lo tanto, mediante una adecuada planificación de la producción pueden ser recolectados champiñones a través de todo el año.<sup>17</sup>

### **3.3.8 PRODUCTO FINAL.**

El producto fresco obtenido debe ser almacenado en frío para evitar las pérdidas de sus características.

Se utilizará para tal efecto una cámara de refrigeración que mantendrá el producto a una temperatura entre 2 a 0°C.<sup>11</sup>

### **3.3.9 CONSIDERACIONES GENERALES.**

Como ya ha sido mencionado, el cultivo de las dos especies de hongos comestibles seleccionados, el *Pleurotus ostreatus* (Champiñón Ostra) y el *Lentinula edodes* (Shiitake) será realizada en el interior de las minas. No obstante, las etapas que corresponden a la preparación del sustrato como la de inoculación son realizadas en el exterior, en un recinto que cumpla con las condiciones para llevar a cabo ambos procesos.

Se ha considerado que en el mismo lugar en que se realice la preparación del sustrato e inoculación para el Champiñón ostra se efectúe el del Shiitake, para así lograr tener un lugar común del que se distribuyen las bolsas listas para ser incubadas en el interior de

la mina, teniendo la ventaja de que permite aprovechar las instalaciones y equipos requeridos, en ambas especies.

### **3.4 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 3**

1. Tseng, M. 1984. **Annual Reports on Fermentation Processes**. Vol. 3 51 pp.
2. Lonsane B. 1985. **Engineering Aspects of Solid State Fermentation**. Enzyme Microb. Technol. Vol. 7.
3. Tautorus, T. 1985. Mushrooms Fermentation. In: a R. Liss, Inc. **Advances in Biotechnological Processes**, Vol. 5 pp. 227 —273. New York.
4. Ibid, p. 229.
5. Ibid, p 253.
6. Zadrazil, F. and K. Grabbe. 1983. Edible Mushrooms. In: H. Dellweg. **Biotechnology**, Vol 3. pp. 146—187. Florida.
7. Ibid, p.157.
6. Ibid, p.174.
9. Vedder, F. 1982, **Cultivo Moderno del Champiñón**. Ed. Mundi Prensa, España. pp. 289-343.
10. Ibid, p. 298.
11. Stoecker W. 1981. **Refrigeración y Acondicionamiento de aire**. McGraw-Hill.
- 12, Vedder, op.cit. p. 192.
13. Tautorus T, op. oit. p. 238.
14. Gentina J. 1986. **Esterilización**. Actas del Segundo Curso Latinoamericano de Biotecnología. Ediciones Universitarias de Valparaíso. p.180.

15. Gray, W. 1970. **The use Fungi as Food and Food Processing**. pp. 225-327. Illinois.
16. Ibid, p. 403.
17. Royse, D, J. 1997. **Cultivation of Shiitake on Natural and Synthetic Logs**. 10 pp. College of Sciences Cooperative Extension The Pennsylvania State University.
18. Ibid, p. 6.
19. Canel E., Moo-Young M. 1980. **Solid- State Fermentation System**. Process Biochemistry p. 24.
20. Smith, J. M. Van Ness, H. C. 1992. **Introducción a la Termodinámica en la Ingeniería Química**. México: McGraw-Hill. pp. 664.
21. Tseng, M. op cit. pp 58-59.
22. Royse, D. op.cit. p 5.
23. Tseng M. op. cit. pp 65-66.

# CAPÍTULO 4 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

## 4.1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA EL CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN OSTRA.

El balance de masa y energía para el cultivo del Champiñón Ostra (*Pleurotus ostreatus*) está dividido en seis etapas, las que corresponden a:

- Preparación de Materias primas,
- Compostación,
- Pasteurización y Acondicionamiento del Compost,
- Inoculación,
- Incubación y
- Fructificación.

El balance de energía, está orientado principalmente a determinar la cantidad de energía que se consume y libera a través de cada una de las etapas del proceso productivo.

La capacidad de producción estimada para esta especie es de 89 toneladas/año y como una forma de organizar la producción a lo largo de todo el año se ha dividido este total en 12 lotes productivos, equivalentes a 7,4 toneladas de producto por lote.

### 4.1.1 BALANCE DE MASA PARA LA PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.

Esta etapa consiste en el mezclamiento de las materias primas para la elaboración del compost, que será el sustrato utilizado en el cultivo del Champiñón ostra. La materia prima requerida es: Paja, Estiércol de pollo y yeso.<sup>14</sup>

El porcentaje de humedad de la materia prima para la compostación debe ser de un 70% y un 2% de Nitrógeno (base seca). En cuanto a la cantidad de yeso que debe ser agregada, esta corresponde a un 1% de la materia prima requerida para la etapa de compostación.<sup>1</sup>

El rendimiento entre la cantidad de champiñón producido y cantidad de materia prima preparada es de:<sup>2</sup>

$$\frac{1 \text{ kg. champiñón fresco}}{\text{kg. materia prima seca}}$$

A partir de este dato se puede calcular la materia prima requerida para la etapa de compostación, por cada lote productivo, la que corresponde a:

$$\frac{7400 \text{ kg. champiñón / lote}}{1 \text{ kg. champiñón} / \text{kg. materia seca} \cdot 0.3 \text{ kg. materia seca} / \text{kg. materia prima}}$$

Por lo tanto, la Materia Prima Requerida es de **24667 Kg/lote.**

En la Figura 4.1 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la preparación de la materia prima.

Figura 4.1. Preparación de Materia Prima.

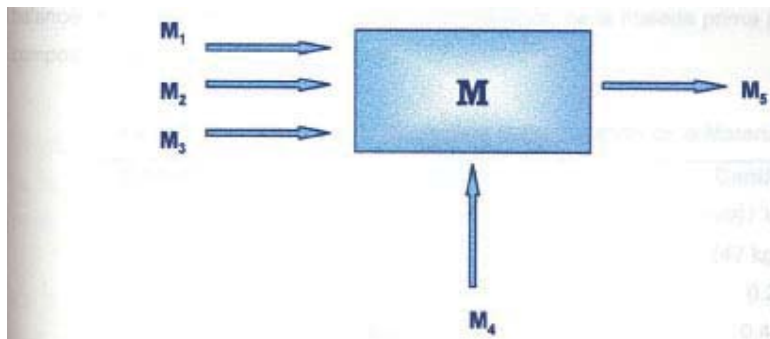


Figura 4.1. Preparación de Materia Prima.

Donde:

M <sub>1</sub> :	Paja.
M <sub>2</sub> :	Estiércol de ave.
M <sub>3</sub> :	Yeso.
M <sub>4</sub> :	Agua.
M <sub>5</sub> :	Materia Prima preparada.

- **Balance Global:**

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = M_5 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

- **Balance de Agua:**

$$x_{a,5} M_5 = x_{a,1} M_1 + x_{a,2} M_2 + M_4 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

- **Balance de Nitrógeno:**

$$x_{N,5} M_5 = x_{N,1} M_1 + x_{N,2} M_2 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

En la Tabla 4.1 se presentan los datos de los que se dispone, para la resolución de los balances de masa de la Etapa 1 que es la preparación de la materia prima para su posterior compostación.



Tabla 4.1. Datos Balance de Masa para la Preparación de la Materia prima.

Símbolo	Definición	Cantidad
$M_5$	Materia prima preparada	24667 kg/lote
$M_3$	Yeso	247 kg/lote
$x_{a,1}$	Fracción de agua corriente 1	0.2
$x_{a,2}$	Fracción de agua corriente 2	0.45
$x_{a,5}$	Fracción de agua corriente 5	0.7
$x_{s,1}$	Fracción de materia seca corriente 1	0.8
$x_{s,2}$	Fracción de materia seca corriente 2	0.55
$x_{s,5}$	Fracción de materia seca corriente 5	0.3
$x_{N,1}$	Fracción de nitrógeno corriente 1	0.01
$x_{N,2}$	Fracción de nitrógeno corriente 2	0.055
$x_{N,5}$	Fracción de nitrógeno corriente 5	0.02

En la Tabla 4.2 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la preparación de la materia prima.

Tabla 4.2. Resultados Balance de Masa Etapa 1: Preparación de la Materia Prima.

Símbolo	Definición	Cantidad (kg/lote)
$M_1$	Paja	6795
$M_2$	Estiércol de ave	3121
$M_3$	Yeso	247
$M_4$	Agua	14504
<b><math>M_5</math></b>	<b>Materia prima preparada</b>	<b>24667</b>

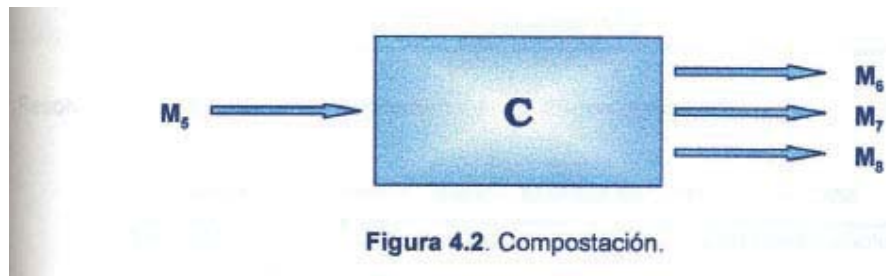
#### 4.1.2 BALANCE DE MASA PARA LA COMPOSTACIÓN.

En esta etapa se utiliza la materia prima preparada en la fase anterior la que corresponde a 24867 kg. Con un 70% de humedad.<sup>15</sup>

Es importante destacar que durante esta etapa se produce una pérdida de materia seca de un 30% con respecto a la materia prima preparada ( $M_5$ ) y el porcentaje de humedad de la corriente de salida se mantiene en un 70%.<sup>1,3</sup>

En la Figura 4.2 se esquematiza cada una de las corrientes que forman parte de la compostación.

Figura 4.2. Compostación



$M_5$ : Materia prima preparada

$M_6$ : Compost de salida

$M_7$ : Materia seca perdida en el proceso

$M_8$ : Agua perdida en el proceso

- **Balance Global:**

$$M_6 + M_7 + M_8 = M_5 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

- **Balance de Agua:**

$$x_{a,5} M_5 = x_{a,6} M_6 + M_8 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

- **Balance Materia Seca perdida:**

$$M_7 = 0.3 \cdot x_{s,5} \cdot M_5 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

En la Tabla 4.3 se presentan los datos disponibles para la resolución de los balances de masa de la Etapa 2, correspondiente a la compostación.

Tabla 4.3 Datos Balance Masa para la Compostación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b>
$M_5$	Materia prima preparada	24667 kg/lote
$x_{a,5}$	Fracción de agua corriente 5	0.7
$x_{a,6}$	Fracción de agua corriente 6	0.7
$x_{s,5}$	Fracción de materia seca corriente 5	0.3
$x_{s,6}$	Fracción de materia seca corriente 6	0.3

Resolviendo las ecuaciones se obtienen los resultados que se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados Balance de Masa para la Compostación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad (kg/lote)</b>
$M_5$	Materia prima preparada	24667
$M_6$	Compost de salida	17267
$M_7$	Materia seca perdida en el proceso	2220
$M_8$	Agua perdida en el proceso	5180

### **4.1.3 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA COMPOSTACIÓN.**

La compostación es realizada al aire libre y toma alrededor de 12 días para su realización. Durante esta fase el calor generado por la fermentación será liberado, a través, de la pila y por evaporación del agua.<sup>14</sup>

El balance de energía para esta etapa, es representado por la siguiente expresión:

$$M \cdot C_p \frac{dT}{dt} = Q_M - Q_C - Q_E$$

**Ecuación 4.7**

Donde:

M	: Masa de compost	Kg
C <sub>p</sub>	: Capacidad calorífica del compost	Kcal/kg°C
Q <sub>M</sub>	: Calor metabólico	Kcal/h
Q <sub>C</sub>	: Calor conducido a través de la pila	Kcal/h
Q <sub>E</sub>	: Calor retirado por evaporación	Kcal/h
$\frac{dT}{dt}$	: Variación de la temperatura en el tiempo	°C/h

El calor metabólico es calculado a través de la ecuación 4.8<sup>14</sup>:

$$Q_M = -H_R \cdot \frac{dM}{dt}$$

**Ecuación 4.8**

Donde:

H <sub>R</sub>	: Calor específico generado	Kcal/kg
$\frac{dM}{dt}$	: Variación de la masa de compost en el tiempo	Kg/h

El calor específico generado es calculado a través de la ecuación 4.9.

$$H_R = H \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$$

**Ecuación 4.9**

Los valores de las constantes para determinar el calor específico generado (H<sub>R</sub>) son<sup>14</sup>:

$$H = 2,393 \cdot 10^{11} \text{ (Kcal/kg)}$$

$$E = 11303.5 \text{ (cal/mol)}$$

$$R = 1.987 \text{ (cal/mol K)}$$

Donde:

E: Energía de activación

R: Constante de los gases.

La velocidad de variación de la masa de compost ( $dM/dt$ ) se considerará constante.

En cuanto a la conducción de calor, se considera que este es conducido en dirección horizontal desde el centro de la pila a la pared, siendo representado por la ecuación 4.10, donde k es la constante de conductividad térmica<sup>20</sup>.

$$Q_C = -k \frac{d^2T}{dt^2} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

La energía retirada por evaporación de agua es representada por la ecuación 4.11, donde  $\lambda$  es el calor latente de evaporación<sup>20</sup>.

$$Q_E = \lambda \frac{dW}{dt} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Luego de 12 horas de iniciada la compostación, es posible considerar estado estacionado para la resolución de la ecuación 4.7, debido a que las condiciones se mantienen prácticamente constantes.

En la ecuación 4.12 se presenta la condición de estado estacionario, con  $(dT/dt) = 0$

$$-H \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \cdot \frac{dM}{dt} + k \cdot \frac{d^2T}{dy^2} - \lambda \cdot W_a \cdot \exp\left(\frac{-E_w}{RT}\right) = 0 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejando, se obtiene:

$$\frac{d^2T}{dy^2} = \frac{\lambda \cdot W_a}{k} \cdot \exp\left(\frac{-E_w}{RT}\right) - \frac{H}{k} \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \cdot \frac{dM}{dt}$$

**Ecuación 4.13**

Dentro de las consideraciones para calcular la velocidad de variación de la masa de compost, se debe tener en cuenta el tiempo que dura la etapa de compostación, el que corresponde a 12 días, considerando dos días entre volteo y solamente ocho días de estado estacionado. Bajo estas condiciones, la variación de la masa de compost, de acuerdo al balance de masa tendrá un valor constante de:

$$\frac{dM}{dt} = -11.56 \text{ Kg/h}$$

Se resuelve la ecuación 4.13, obteniéndose el perfil de temperatura (T) respecto de la posición (y) el que se representa en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Perfil de temperatura v/s posición en la pila de compostación.

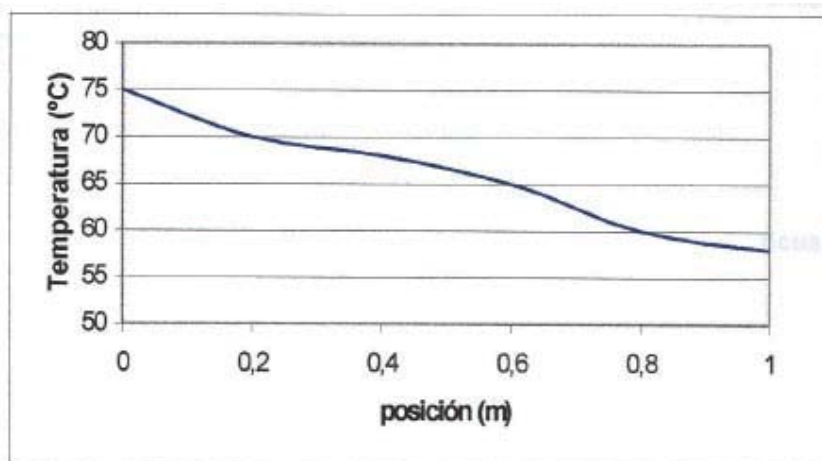
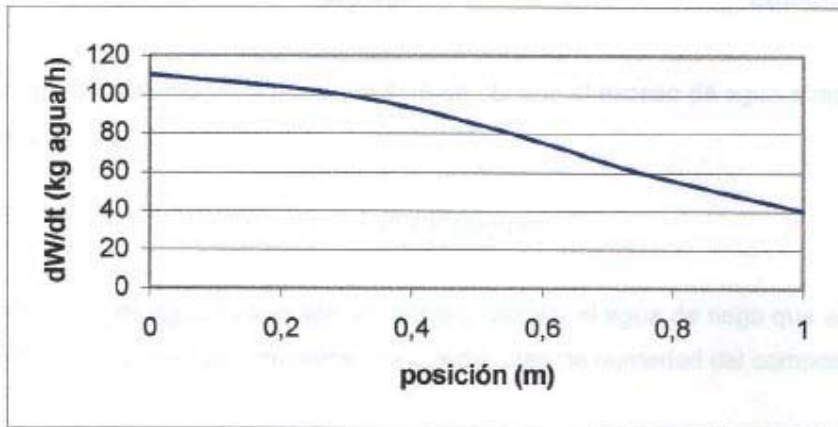


Figura 4.4. Velocidad de variación de la masa de agua v/s posición en la pila de compostación.



### DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA DURANTE LA COMPOSTACIÓN.

La diferencia entre el agua total evaporada y el agua que se debe perder según lo determinado en el balance de masa, corresponde a un exceso de agua perdida que deberá ser agregada como agua de riego en cada volteo<sup>15</sup>.

La cantidad de agua perdida, determinada en el balance de masa, es de:

$$W_M = \frac{M_s}{t} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Donde:

$$M_s = 5180 \text{ Kg agua.}$$

$$t = 192 \text{ h.}$$

Luego:

$$W_M = 27 \text{ Kg agua/h.}$$

Por lo que el exceso de agua evaporada será:

$$W_E = W - W_M \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.15 se obtiene el exceso de agua evaporada, que corresponde a:

$$W_E = 31.4 \text{ Kg agua/h.}$$

A partir del exceso de agua evaporada, es posible calcular el agua de riego que es necesario agregar entre cada volteo para mantener las condiciones de humedad del compost.

Se consideró un tiempo de dos días de estado estacionario entre volteo, por lo que el agua de riego entre volteo es de:

$$W_R = 1507 \text{ Kg agua/volteo.}$$

#### **4.1.4 BALANCE DE MASA PARA LA PASTEURIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL COMPOST.**

El objetivo de esta etapa es eliminar los microorganismos y agentes extraños e indeseables del compost, junto con terminar de degradar el material de fácil acceso que no fue atacado en la compostación. Se produce en esta fase una pérdida de materia seca del orden del 20% respecto a la corriente de ingreso a la etapa de compostación ( $M_5$ ), manteniendo la humedad del compost en un 70%.<sup>3</sup>

En la Figura 4.5 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la Pasteurización y Acondicionamiento del compost.

Figura 4.5 Pasteurización y Acondicionamiento.





Donde:

$M_6$ : Compost de entrada

$M_9$ : Compost pasteurizado y acondicionado

$M_{10}$ : Materia seca perdida

$M_{11}$ : Agua perdida

$F_{a1}$ : Aire de proceso de entrada

$F_{a2}$ : Aire de proceso de salida

- **Balance Global**

$$M_9 + M_{10} + M_{11} = M_6 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

- Balance de Agua:

$$x_{a,6} \cdot M_6 = x_{a,9} \cdot M_9 + M_{11} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

- Balance Materia Seca perdida:

$$M_{10} = 0.2 \cdot X_{s,5} \cdot M_5 \quad \text{Ecuación 4.18}$$

En la Tabla 4.5 se presentan los datos disponibles para la resolución de los balances de masa, correspondiente a la Pasteurización y Acondicionamiento del Compost.

Tabla 4.5 Datos Balance de Masa para la Pasteurización y Acondicionamiento.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b>
$M_5$	Materia prima preparada	24667 kg/lote
$M_6$	Compost de entrada	17267 kg/lote
$x_{a,6}$	Fracción de agua corriente 6	0.7
$x_{a,9}$	Fracción de agua corriente 9	0.7
$x_{s,6}$	Fracción de materia seca corriente 6	0.3
$x_{s,5}$	Fracción de materia seca corriente 5	0.3

Los resultados de los balances de masa para la etapa de pasteurización y acondicionamiento se resumen en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Resultados Balance de Masa para la Pasteurización y Acondicionamiento.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b> (kg/lote)
$M_6$	Compost de entrada	17267
$M_9$	Compost pasteurizado y acondicionado	12334
$M_{10}$	Materia seca perdida	1480
$M_{11}$	Agua perdida	3383

#### **4.1.5 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA PASTEURIZACIÓN DEL COMPOST.**

La etapa de pasteurización está dividida en tres fases:

- Calentamiento,

- Mantención y
- Enfriamiento.

La primera fase consiste en elevar la temperatura del compost hasta 60°C, seguido de la fase de mantención del compost a esa temperatura y finalmente el enfriamiento hasta 50°C.

El tiempo de las zonas de calentamiento y enfriamiento de la pasteurización, están determinados por las condiciones de operación, mientras que la zona de mantención está determinada por el diseño de la pasteurización, a fin de cumplir con las condiciones de reducción de carga microbiana del proceso.

Luego de la pasteurización sigue la etapa de acondicionamiento, que consiste en la mantención de la temperatura a 50°C, luego de la cual debe ser enfriado a 25°C para su paso a la etapa de inoculación.

Tanto la pasteurización como el acondicionamiento se realizan en el mismo equipo y la duración total del proceso es de aproximadamente seis días.

La ecuación general para el balance de energía es:

$$E_S + E_O = E_W + E_A + E_M + E_I \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Donde:

$E_S$ : Energía transmitida a los alrededores

$E_O$ : Energía del aire de salida.

$E_W$ : Energía agua agregada.

$E_A$ : Energía aire de ingreso.

$E_M$ : Energía metabólica producida.

$E_I$ : Energía del material dentro del equipo.

Reemplazando cada término de la ecuación 4.19 se obtiene:

$$MC_p \frac{dT}{dt} = \frac{k \cdot A}{L} (T - T_s) + F_A \cdot (H_F - H_I) - F_W \cdot H_W - q \cdot M - TC_{p_w} \frac{dW}{dt} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Donde:

M :	Masa de compost	Kg
$C_p$ :	Capacidad Calorífica del compost	Kcal/kg °C
T :	Temperatura del compost	°C
t :	Tiempo	h
L :	Espesor de la pared del equipo	m
$T_s$ :	Temperatura ambiente	°C
$C_{p_w}$ :	Capacidad calorífica del agua	Kcal/kg °C
k :	Coefficiente de transferencia de Calor	Kcal/ m h °C
A :	Área de las paredes	m <sup>2</sup>
$F_a$ :	Flujo de aire	Kg a.s./h
$H_I$ :	Entalpía del aire de entrada	Kcal/kg a.s.
$H_F$ :	Entalpía del aire de salida	Kcal/kg a.s.
q :	Velocidad específica de producción de calor	Kcal/kg h

La diferencia de entalpía del aire puede ser calculada a través de la ecuación 4.21

$$H_F - H_I = 0.24 \cdot (T_{af} - T_{ai}) + 0.45 \cdot (h_F \cdot T_{af} - h_I \cdot T_{ai}) + \lambda \cdot (h_F - h_I) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Donde:

$\lambda$ :	Calor latente de evaporación	Kcal/kg
$H_I$ :	Entalpía del aire de entrada	Kcal/kg a.s.
$H_F$ :	Entalpía del aire de salida	Kcal/kg a.s.
$h_I$ :	Humedad de aire de entrada	Kg agua/kg a.s.
$h_F$ :	Humedad aire de salida	Kg agua/kg a.s.
$T_{af}$ :	Temperatura del aire de salida	°C
$T_{ai}$ :	Temperatura del aire de entrada	°C

La variación de la masa de agua en el tiempo:  $dW/dt$  estará dada por:

$$\frac{dW}{dt} = F_w + F_a \cdot (h_F - h_i) + Q_M \cdot X \cdot M \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Donde:

M	:	Masa de compost	Kg
$Q_M$	:	Calor metabólico producido	Kcal/h
$F_w$	:	Flujo de agua agregada	Kg/h
$F_a$	:	Flujo de aire	Kg a.s./h
$h_i$	:	Humedad de aire de entrada	Kg agua/kg a.s.
$h_F$	:	Humedad aire de salida	Kg agua/kg a.s.
X	:	Concentración celular	

En cuanto a la velocidad de producción de agua metabólica se puede considerar despreciable respecto al total y considerando que no se agrega agua durante el proceso ( $E_w$  y  $F_w = 0$ ), la velocidad de variación de agua es:

$$\frac{dW}{dt} = F_a \cdot (h_F - h_i) \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Reemplazando en la ecuación 4.20, la temperatura del lecho estará dada por:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{M \cdot C_p} \left[ \frac{k \cdot A}{L} (T - T_s) + F_a \cdot (H_F - H_i) - q \cdot M - T \cdot C_{p_w} \cdot F_a \cdot (h_F - h_i) \right] \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Conocidas las demás variables y manteniendo como única incógnita la temperatura, la ecuación 4.24 puede ser ordenada para su resolución en estado transiente, quedando representada como se puede apreciar en la ecuación 4.25.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k \cdot A - L \cdot C_{p_w} \cdot F_a \cdot (h_F - h_I)}{M \cdot C_p \cdot L} \cdot T + \left[ \frac{F_a}{M C_p} \cdot (H_F - H_I) - \frac{k \cdot A \cdot T_s}{L \cdot M \cdot C_p} - \frac{q}{C_p} \right] \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Quedando una ecuación diferencial de primer orden de la forma:

$$\frac{dT}{dt} + P(t) \cdot T = q(t) \quad \text{Ecuación 4.26}$$

En el caso de considerar estado estacionario, donde  $dT/dt = 0$ , la ecuación 4.25 queda de la forma:

$$\frac{k \cdot A}{L} (T - T_s) + F_a \cdot (H_F - H_I) - q \cdot M - T \cdot C_{p_w} \cdot F_a \cdot (h_F - h_I) = 0 \quad \text{Ecuación 4.27}$$

### **BALANCE DE ENERGÍA ZONA DE CALENTAMIENTO.**

La energía necesaria para proceder a la pasteurización del compost, es entregada por el vapor generado por la caldera. La ecuación que permite cuantificar la cantidad de vapor requerido en ésta etapa es<sup>20</sup>:

$$F_v \cdot \lambda_v \cdot t_c = M \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) + Q_p \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Donde:

$F_v$ : Flujo de vapor	Kg/h
$\lambda_v$ : Calor latente de vaporización	Kcal/kg
$t_c$ : Tiempo de calentamiento	h
$M$ : Masa de compost	Kg
$C_p$ : Capacidad calorífica del compost	Kcal/kg °C
$Q_p$ : Calor perdido por las paredes.	Kcal
$T_i$ : Temperatura inicial del compost.	°C
$T_f$ : Temperatura final de pasteurización	°C

El calor perdido por las paredes se estima a partir de la ecuación 4.29.

$$Q_p = t_c \cdot U_p \cdot A_p \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Donde:

$U_p$ : coeficiente global de transferencia de calor	Kcal°C/h m <sup>2</sup>
$A_p$ : Área de pérdidas al exterior por las paredes	m <sup>2</sup>
$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la del vapor y el aire	°C

El área de las paredes está determinada en el diseño del equipo (sección 5.1.4), y corresponde a:

$$A = 81 \text{ m}^2$$

El coeficiente de transferencia del material aislante (Aislapol)<sup>16</sup>, utilizado en planchas de 10 cm. de espesor es:

$$k = 0.03 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$$

El tiempo de calentamiento se obtiene a partir de la ecuación 4.25, con la cual es posible determinar el perfil de temperatura v/s tiempo. Los datos para la resolución de esta ecuación se presentan en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Datos para calcular el tiempo de calentamiento.

Símbolo	Valor	Unidad
M	17267	Kg
$T_s$	18	$^\circ\text{C}$
$C_p$	$0.94^{14}$	Kcal/kg $^\circ\text{C}$
$C_{pw}$	1	Kcal/kg $^\circ\text{C}$
Fa	4058	kg a.s./h
k	0.03	Kcal/m h $^\circ\text{C}$
A	81	$\text{m}^2$
L	0.1	m
$H_F - H_i$	$8.67^{19}$	Kcal/kg a.s.
$h_F - h_i$	$0.02^{10}$	Kg agua/kg a.s.
q	$1.35^{11}$	Kcal/kg compost h

Las condiciones iniciales para determinar el perfil de temperatura - tiempo son:

$$t=0$$

$$T=50^\circ\text{C}$$

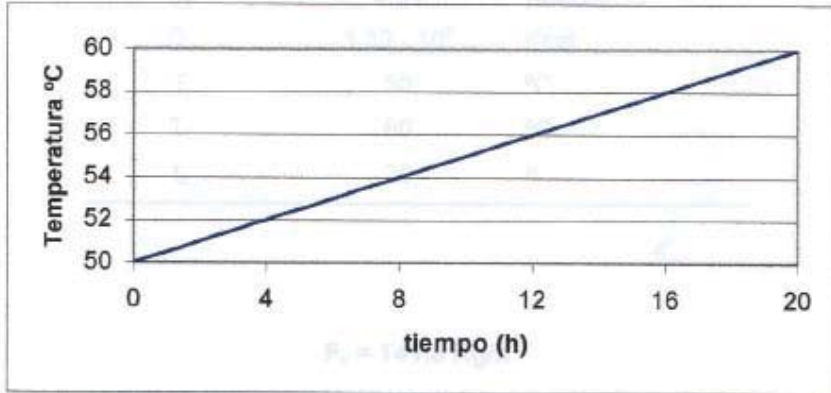
Luego, el perfil obtenido es:

$$T(t) = 200 - 150 \cdot \exp(-0.0035 \cdot t) \quad \text{Ecuación 4.30}$$



Los valores del perfil de temperatura para la zona de calentamiento se representan en la Figura 4.6. Donde el tiempo requerido para alcanzar los 60°C corresponde a 20 horas.

Figura 4.6 Perfil de temperatura v/s tiempo para la zona de calentamiento.



Luego,

$t_c = 20$  horas.

Una vez conocido el tiempo de calentamiento es posible calcular el  $Q_p$ , reemplazando los valores de la Tabla 4.8 en la ecuación 4.29.

Tabla 4.8 Datos para determinar el calor perdido por las paredes ( $Q_p$ ).

Símbolo	Valor	Unidad
$U_p$	8.13	Kcal°C/h m <sup>2</sup>
$\Delta T$	100	°C
$A_p$	81	m <sup>2</sup>
$t_c$	20	h

Luego,

$Q_p = 1.32 \cdot 10^6$  Kcal.

Reemplazando los datos de la tabla 4.9 en la ecuación 4.28 se obtiene el flujo de vapor que se requiere para la zona de calentamiento.

Tabla 4.9. Datos para el cálculo del flujo de vapor zona de calentamiento.

Símbolo	Valor	Unidad
M	17267	Kg
$\lambda_v$	524 <sup>20</sup>	Kcal/Kg
Cp	0.94	Kcal/kg °C
Qp	1.32 · 10 <sup>6</sup>	Kcal
T <sub>i</sub>	50	°C
T <sub>F</sub>	60	°C
t <sub>c</sub>	20	h

Luego,

$$F_v = 141.5 \text{ Kg/h}$$

### BALANCE DE ENERGÍA ZONA DE MANTENCIÓN

Para realizar el balance de energía en la zona de mantención, se considera estado J estacionario, ya que sólo se debe mantener la temperatura del lecho a 60°C.

El balance de energía para ésta etapa viene dado por la siguiente expresión:

$$F_v \cdot \lambda_v \cdot t_M = U_p \cdot A_p \cdot \Delta T \cdot t_M \quad \text{Ecuación 4.31}$$

El tiempo de la zona de mantención ( $t_M$ ), queda determinado por la evaluación de la reducción de la carga microbiana. La cinética de reducción microbiana, se considera de primer orden para la destrucción térmica de microorganismos<sup>13</sup> y es representada como:

$$\frac{dN}{dt} = -K_d \cdot N \quad \text{Ecuación 4.32}$$

El efecto de la temperatura sobre  $K_d$  es modelado por la ecuación de Arrhenius:

$$K_d = A_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \quad \text{Ecuación 4.33}$$

La ecuación 4.32 puede escribirse como:

$$\nabla = \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = K_d \cdot t \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

$K_d$ :	Constante cinética	$s^{-1}$
$A_0$ :	Factor de frecuencia	$s^{-1}$
$E_a$ :	Energía de activación	cal/mol
$R$ :	Constantes de los gases	cal/mol K
$N_0$ :	Concentración inicial de organismos vivos	
$N$ :	Concentración de microorganismos vivos al tiempo $t$ .	
$\nabla$ :	Criterio de reducción de carga microbiana	

Las constantes  $A_0$  y  $E_a$  dependen del microorganismo que se elija como referencia<sup>13</sup>. Para este caso se consideró las constantes utilizadas para un microorganismo mesófilo cuyos valores son:

$$E_a = 70200 \quad \text{cal/mol}$$

$$A_0 = 1.4 \cdot 10^4 \text{ S}^{-1}$$

Como criterio de esterilización o reducción se considera lograr la eliminación de 99,9% de la flora representada por estos parámetros de referencia, con lo que el porcentaje de sobrevivencia final será de 0.1%. Siendo el criterio de reducción global del proceso de:

$$\nabla = \text{Ln}\left(\frac{100}{0.1}\right) = 6.91$$

Este valor debe ser igual a la sumatoria de los valores alcanzados en la zona de calentamiento, mantención y enfriamiento del compost.

Para la zona de calentamiento, la temperatura del lecho está definida en la ecuación 4.30. El criterio de reducción resultante del calentamiento del compost a 60°C es:

$$\nabla_c = A_0 \cdot \int \left[ \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T(t)}\right) \right] dt \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Para la resolución de la ecuación 4.35 se utiliza el valor inicial de t = 0 h y final de t = 20 h. Lo que entrega el siguiente valor para el criterio de reducción microbiano en la zona de calentamiento:

$$\nabla_c = 2.64$$

Para la zona de enfriamiento el perfil de temperatura está dado por la ecuación 4.37.

El criterio de reducción producto del enfriamiento del compost de 60°C a 50°C se determina por medio de la ecuación 4.35, integrada entre t = 0 y t = 25 horas. La integración numérica entrega como resultado:

$$\nabla_e = 3.1$$

Para la zona de mantención la temperatura del compost se mantiene en 6000. La constante cinética de muerte  $K_d$  a esta temperatura se obtiene de la ecuación 4.33 y tiene un valor de:

$$K_d = 1.174 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

La duración de la zona de mantención de temperatura, debe ser tal que el criterio de reducción alcanzado en dicha zona, sumado a los de las zonas de calentamiento y enfriamiento sea igual al de reducción global del proceso.

Luego el tiempo de mantención quedará determinado por la expresión:

$$t_M = \frac{\nabla - \nabla_c - \nabla_e}{K_d}$$

**Ecuación 4.36**

Por lo tanto el tiempo de mantención es:

$$t_M = 2.8 \text{ horas.}$$

A partir de los datos que se presentan en la Tabla 4.10, es posible determinar el flujo de vapor de reposición a alimentar durante fase de mantención.

Tabla 4.10. Datos para el cálculo del flujo de vapor zona de mantención.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$\lambda_w$	524 <sup>20</sup>	Kcal/Kg
$U_p$	8.13 <sup>20</sup>	Kcal°C/h m <sup>2</sup>
$\Delta T$	100	°C
$A_p$	81	m <sup>2</sup>
$t_M$	2.8	h

Evaluando en la ecuación 4.31 se obtiene que el flujo de vapor requerido en la zona de mantención es de:

$$F_V = 125.6 \text{ Kg/h}$$

#### **BALANCE DE ENERGÍA ZONA DE ENFRIAMIENTO.**

Una vez concluida la fase de mantención a 60°C, el lecho de compost es enfriado hasta una temperatura de 50°C, temperatura a la que se realiza el acondicionamiento.

De igual manera que en la zona de calentamiento el balance de energía para enfriamiento se lleva a cabo en forma transiente y manteniendo las mismas condiciones de flujo de aire, masa de compost, generación de calor y demás parámetros. Reemplazando en la ecuación 4.25, los datos de la Tabla 4.11, se obtiene el perfil de enfriamiento temperatura versus tiempo.

Tabla 4.11. Datos para calcular el tiempo de enfriamiento del compost.

Símbolo	Valor	Unidad
M	17267	Kg
T <sub>s</sub>	18	°C
C <sub>p</sub>	0.94	Kcal/kg °C
C <sub>p<sub>w</sub></sub>	1	Kcal/kg °C
F <sub>a</sub>	4058	kg a.s./h
k	0.03	Kcal/m h °C
A	81	m <sup>2</sup>
L	0.1	m
H <sub>F</sub> -H <sub>i</sub>	4.2	Kcal/kg a.s.
h <sub>F</sub> -h <sub>i</sub>	0.0055	Kg agua/kg a.s.
q	1.35	Kcal/kg compost h

Donde las condiciones iniciales son:

$$t = 0$$

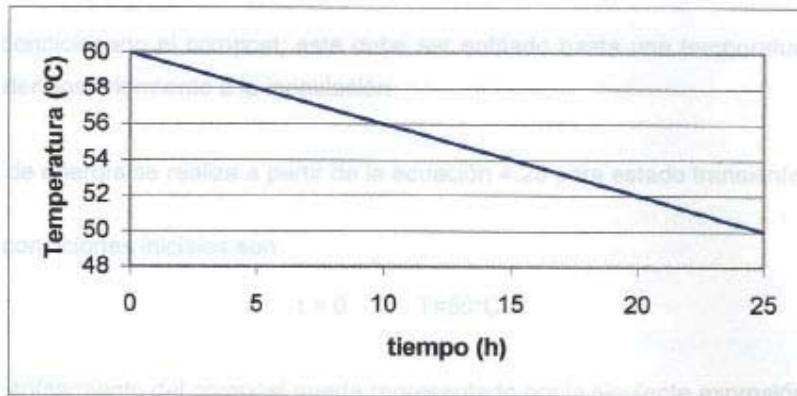
$$T = 60^{\circ}\text{C}$$

Luego, el perfil de temperatura viene dado por:

$$T(t) = 3441 - 3381 \cdot \exp(0.00012 \cdot t) \quad \text{Ecuación 4.37}$$

El perfil de temperatura v/s tiempo para la zona de enfriamiento se muestra en la Figura 4.7.

Figura 4.7 Perfil de temperatura v/s tiempo para la zona de enfriamiento del compost.



Como se puede apreciar en la Figura 4.7, el tiempo que se requiere para enfriar el compost desde 60 a 50°C es de 25 horas.

#### **4.1.6 BALANCE DE ENERGÍA ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DEL COMPOST.**

El acondicionamiento del compost se realiza en el mismo equipo que la pasteurización. En esta etapa se debe mantener la temperatura del compost en 50°C hasta completar aproximadamente seis días incluido el tiempo ocupado por la pasteurización.

Esto se logra utilizando un sistema de control automático de la temperatura al interior de la cámara, el cual al sobrepasar la temperatura deseada, cerrará la válvula de admisión de vapor y al caer un cierto rango se abriera la válvula.

Para la realización del balance de energía se utiliza la ecuación 4.31, asumiendo condición de estado estacionario. A partir de ésta se obtiene que el flujo de vapor de reposición a alimentar y el tiempo de acondicionamiento es:

$$F_v = 125 \text{ Kg/h}$$

$$t_a = 96.2 \text{ h}$$



#### 4.1.7 BALANCE DE ENERGÍA PARA EL ENFRIAMIENTO DEL COMPOST.

Una vez acondicionado el compost, este debe ser enfriado hasta una temperatura de 25°C para proceder posteriormente a la inoculación.

El balance de energía se realiza a partir de la ecuación 4.25 para estado transiente.

Donde las condiciones iniciales son:

$$t = 0$$

$$T = 50^\circ\text{C}$$

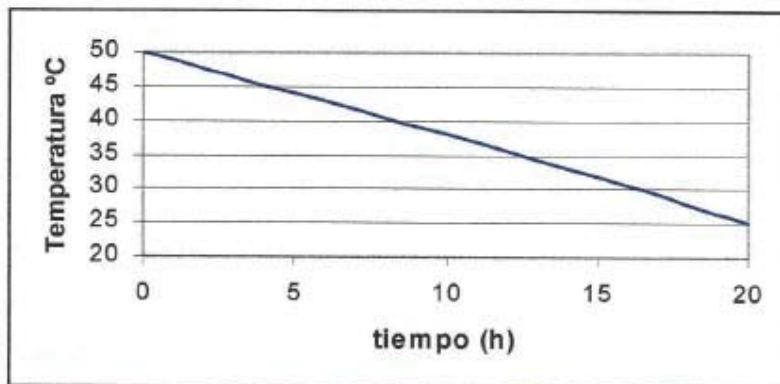
El perfil de enfriamiento del compost queda representado por la siguiente expresión:

$$T(t) = 2560 - 2510 \cdot \exp(0.0005 \cdot t)$$

**Ecuación 4.38**

En la Figura 4.8 se muestra el perfil de temperatura v/s tiempo para el enfriamiento del compost. El tiempo que se requiere para alcanzar los 25°C es de 20 horas.

Figura 4.8. Perfil de Enfriamiento del compost.



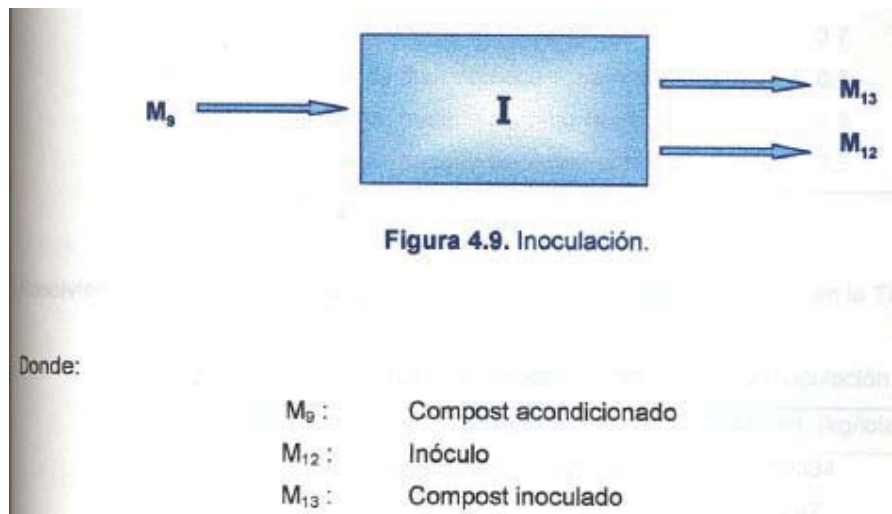
#### 4.1.8 BALANCE DE MASA PARA LA INOCULACIÓN.

Esta etapa consiste en poner en contacto íntimo mediante mezclamiento el inóculo, que en este caso corresponde al micelio ya propagado en el grano de trigo, con el compost acondicionado.

El porcentaje de inóculo que se requiere en relación al sustrato es de un 2% en peso, lo que corresponde a una cantidad de 247 kg. de inóculo por lote productivo.<sup>3,17</sup>

En la Figura 4.9 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la etapa de Inoculación.

Figura 4.9. Inoculación.



- **Balance Global**

$$M_9 + M_{12} = M_{13} \quad \text{Ecuación 4.39}$$

- **Balance de Agua:**

$$x_{a,13} \cdot M_{13} = x_{a,9} \cdot M_9 + x_{a,12} \cdot M_{12} \quad \text{Ecuación 4.40}$$

- **Balance Inóculo requerido:**

$$M_{12} = 0.02 \cdot M_9$$

**Ecuación 4.41**

En la Tabla 4.12 se presentan los datos disponibles para la resolución de los balances de masa correspondiente a la Inoculación del compost acondicionado.

Tabla 4.12. Datos Balance de Masa para la Inoculación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b>
$M_9$	Compost acondicionado	12334 kg/lote
$x_{a,9}$	Fracción de agua corriente 9	0.7
$x_{a,12}$	Fracción de agua corriente 12	0.7
$x_{a,13}$	Fracción de agua corriente 13	0.7
$x_{s,9}$	Fracción de materia seca corriente 9	0.3
$x_{s,12}$	Fracción de materia seca corriente 12	0.3
$x_{s,13}$	Fracción de materia seca corriente 13	0.3

Resolviendo las ecuaciones se obtienen los resultados que se presentan en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Resultados Balance de Masa para la Inoculación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad (kg/lote)</b>
$M_9$	Compost acondicionado	12334
$M_{12}$	Inóculo	247
$M_{13}$	Compost inoculado	12581

#### **4.1.9 BALANCE DE MASA PARA LA INCUBACIÓN.**

La incubación del compost inoculado se realiza en bolsas de polipropileno, el tiempo destinado a esta operación es de dos semanas, durante las cuales se produce una pérdida

de un 20% de materia seca con respecto al compost que ingresa a la incubación ( $M_{13}$ ).<sup>4,5,13</sup>

Se requiere que la humedad del sustrato finalizada esta etapa se mantenga en un 70%.<sup>3</sup>

En la Figura 4.10 se esquematiza cada una de las corrientes que forman parte de la Incubación.

Figura 4.10. Incubación.

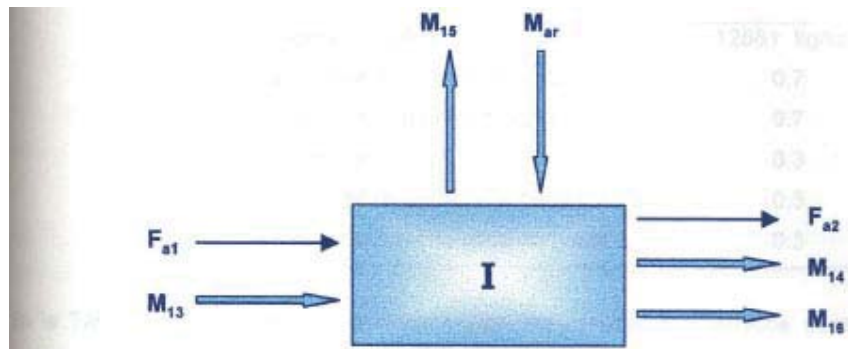


Figura 4.10. Incubación.

Donde:

- $M_{13}$  : Compost inoculado
- $M_{14}$  : Compost incubado
- $M_{15}$  : Agua perdida
- $M_{16}$  : Materia seca perdida
- $M_{ar}$  : Agua de riego

• **Balance Global:**

$$M_{14} + M_{15} + M_{16} = M_{13}$$

Ecuación 4.42

• **Balance de Agua:**

$$x_{a,13} \cdot M_{13} = x_{a,14} \cdot M_{14} + M_{15}$$

Ecuación 4.43

- Balance Materia Seca perdida:

$$M_{16} = 0.2 \cdot x_{s,13} \cdot M_{13}$$

**Ecuación 4.44**

En la Tabla 4.14 se presentan los datos de los que se dispone, para la resolución de los balances de masa correspondientes a la Incubación.

Tabla 4.14. Datos Balance de Masa para la Incubación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b>
M <sub>13</sub>	Compost inoculado	12581 kg/lote
x <sub>a,13</sub>	Fracción de agua corriente 13	0.7
x <sub>a,14</sub>	Fracción de agua corriente 14	0.7
x <sub>s,13</sub>	Fracción de materia seca corriente 13	0.3
x <sub>s,14</sub>	Fracción de materia seca corriente 14	0.3
x <sub>s,5</sub>	Fracción de materia seca corriente 5	0.3

En la Tabla 4.15 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la fase de Incubación

Tabla 4.15 Resultados Balance de Masa para la Incubación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad (kg/lote)</b>
M <sub>13</sub>	Compost inoculado	12581
M <sub>14</sub>	Compost incubado	10064
M <sub>15</sub>	Agua perdida	1762
M <sub>16</sub>	Materia seca perdida	755

#### **4.1.10 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA INCUBACIÓN.**

El interior de las minas, es el lugar físico que será utilizado como cámara de incubación, por oque es necesario conocer las características que estas presentan, las que son detalladas en el Apéndice 1.

Del total de minas factibles de ser implementadas (18), cerca del 80% poseen una altura de 1.5 a 2.0 m, un ancho 1.5 a 2.0 m. y un largo de 40 a 50 m. Por tal motivo, para efectos de cállculo se ha estimado que las dimensiones de la mina, que serán utilizadas como cámara de cultivo son: 2 x 2 x 40 m.

Durante este período la temperatura debe mantenerse en 24 - 25 oc. El flujo de aire debe ser de 150 a 200 m<sup>3</sup>/ton h y a humedad relativa en un 75%.

La masa de compost a tratar por mina es:

$$M = 4800 \text{ Kg.}$$

Este valor es obtenido a partir del número de bolsas plásticas posibles de instalar en cada mina y que se detalla en la sección 5.1.6.

En la ecuación de balance de energía, bajo condición de estado estacionado, el calor metabólico generado debe ser igual al calor perdido por el equipo, representado por el calor perdido por las paredes más el calor retirado por el aire, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\frac{k \cdot A}{L}(T - T_a) + \left( F_a \cdot \rho_a \cdot \frac{h_{at}}{1 + h_{at}} \cdot Cp_w + F_a \cdot \rho_a \cdot Cp_a \right) \Delta T - q_M \cdot M = 0 \quad \text{Ecuación 4.45}$$

Donde:

M :	Masa de compost	Kg
Cp <sub>a</sub> :	Capacidad Calorífica del aire	Kcal/kg °C
T :	Temperatura de incubación	°C
L :	Espesor de la pared del equipo	m
T <sub>a</sub> :	Temperatura ambiente	°C
Cp <sub>w</sub> :	Capacidad calorífica del agua	Kcal/kg °C
k :	Coefficiente de transferencia de Calor	Kcal/ m h °C
A :	Área de las paredes	m <sup>2</sup>
F <sub>a</sub> :	Flujo de aire	m <sup>3</sup> /h
ρ <sub>a</sub> :	Densidad del aire	Kg/m <sup>3</sup>
h <sub>a</sub> :	Humedad del aire en la cámara de incubación	Kg agua/kg a.s
ΔT :	Variación de T° del aire en la cámara de incubación	°C
q <sub>M</sub> :	Velocidad específica de producción de calor	Kcal/kg h

### CALOR METABÓLICO GENERADO

El calor metabólico total, es estimado a través del valor de la velocidad específica de producción de calor (q<sub>M</sub>) repodado para el sistema convencional de incubación en bandejas que corresponde a: 0.26 Kcal/h Kg compost.

La masa de compost a tratar es de 4800 Kg. Luego, el calor metabólico generado corresponde a:

$$Q_M = q_M \cdot M \quad \text{Ecuación 4.46}$$

Reemplazando en la ecuación 4.46 se obtiene:

$$Q_M = 1248 \text{ Kcal/h}$$

### CALOR PERDIDO POR PAREDES

Debido a que la incubación es realizada en el interior de la mina, se considerará como pared sólo la pveda de entrada cuya área es de 4 m<sup>2</sup>.

El coeficiente de transferencia de calor (k) del material aislante (Aislapol) utilizado en planchas de 10 cm de espesor (L) es de 0.03 Kcal/m h °C. La temperatura de incubación es de 25°C y la temperatura ambiente es considerada como 18°C.

Luego, el calor perdido por paredes es:

$$Q_p = \frac{k \cdot A}{L} \cdot (T - T_s)$$

**Ecuación 4.47**

Reemplazando los valores citados anteriormente en la ecuación 4.47, se obtiene que Q<sub>p</sub> es:

$$Q_p = 8.4 \text{ Kcal/h}$$

### CALOR RETIRADO POR EL AIRE

El flujo de recomendado para este tipo de cultivo es de 200 m<sup>3</sup>/ton h. Se trabaja con una temperatura promedio de 25°C y una humedad relativa del 75%, se busca que esta se mantenga constante durante el tiempo en que se realiza la incubación (dos semanas). La siguiente ecuación nos permite calcular el calor retirado por el aire:

$$Q_a = \left( F_a \cdot \rho_a \cdot \frac{h_{ai}}{1 + h_{ai}} \cdot Cp_w + F_a \cdot \rho_a \cdot Cp_a \right) \Delta T$$

**Ecuación 4.48**

En la Tabla 4.16 se presentan los datos para ser reemplazados en la ecuación 4.48.



Tabla 4.16. Datos para calcular el calor retirado por el aire.

Símbolo	Valor	Unidad
$C_{p_a}$	0.24	Kcal/kg °C
$C_{p_w}$	0.44	Kcal/kg °C
$F_a$	960	m <sup>3</sup> ./h
$k$	0.03	Kcal/m h °C
$\rho_a$	1.18	Kg/m <sup>3</sup>
$h_{01}$	0.0132 <sup>10</sup>	Kg agua/kg a.s.

Luego:

$$\frac{Q_a}{\Delta T} = 278.4 \text{ Kcal/h}^\circ\text{C}$$

Sumando los calores perdidos y generados al interior de la mina, se obtiene que:

$$\Delta T = \frac{Q_M - Q_p}{Q_a / \Delta T} \quad \text{Ecuación 4.49}$$

De la ecuación 4.49 se obtiene que:

$$\Delta T = 4.45^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, el calor retirado por el aire asciende a:

$$Q_a = 1239.6 \text{ Kcal/h}$$

A partir del valor del  $\Delta T$  es posible obtener la temperatura de entrada del aire a la sala de cultivo, que es representada por:

$$T_E = T - \Delta T \quad \text{Ecuación 4.50}$$

Donde:

$T_E$  = Temperatura del aire de entrada °C

$T$  : Temperatura de incubación °C

$\Delta T$  : Variación de temperatura de la cámara °C

La temperatura de incubación asciende a 25°C y el  $\Delta T$  es de 4.45, luego:

$$T_E = 20.55^\circ\text{C}$$

#### **4.1.11 BALANCE DE MASA PARA LA FRUCTIFICACIÓN.**

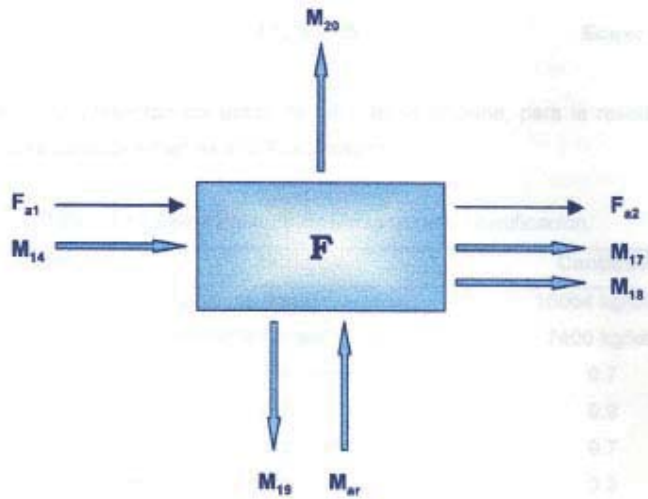
Una vez que el compost está incubado se procede a cambiar las condiciones de cultivo (temperatura y humedad relativa), para inducir la formación de los cuerpos fructíferos.

Al cabo de seis semanas se obtienen 7400 kg. de champiñones frescos y el compost residual corresponde a un 25% de la materia prima que ingresa a la compostación ( $M_5$ ), conservando una humedad de un 70%.<sup>1</sup>

El porcentaje de humedad de los champiñones cosechados es de un 90%.<sup>13</sup>

En la Figura 4.11 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la Fructificación.

Figura 4.11 Fructificación.



Donde:

- M<sub>14</sub> : Compost incubado
- M<sub>17</sub> : Champiñones cosechados
- M<sub>18</sub> : Compost residual
- M<sub>19</sub> : Déficit de agua
- M<sub>ar</sub> : Agua de riego
- M<sub>20</sub> : Materia seca perdida

- **Balance Global**

$$M_{17} + M_{18} + M_{19} + M_{20} = M_{14} \quad \text{Ecuación 4.51}$$

- **Balance de Agua:**

$$x_{a,14} \cdot M_{14} = x_{a,17} \cdot M_{17} + x_{a,18} \cdot M_{18} + M_{19} \quad \text{Ecuación 4.52}$$

- **Balance Compost residual:**

$$M_{18} = 0.25 \cdot M_3 \quad \text{Ecuación 4.53}$$

En la Tabla 4.17 se presentan los datos de los que se dispone, para la resolución de los balances de masa correspondientes a la Fructificación.

Tabla 4.17 Datos Balance de Masa para la Fructificación.

Símbolo	Definición	Cantidad
$M_{14}$	Compost incubado	10064 kg/lote
$M_{17}$	Champiñones cosechados	7400 kg/lote
$X_{a,14}$	Fracción de agua corriente 14	0.7
$X_{a,17}$	Fracción de agua corriente 17	0.9
$X_{a,18}$	Fracción de agua corriente 18	0.7
$X_{s,14}$	Fracción de materia seca corriente 14	0.3
$X_{s,17}$	Fracción de materia seca corriente 17	0.1
$X_{s,18}$	Fracción de materia seca corriente 18	0.3

En la Tabla 4.18 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la etapa de fructificación.

Tabla 4.18. Resultados Balance de Masa para la Fructificación.

Símbolo	Definición	Cantidad (kg/lote)
$M_{14}$	Compost incubado	10064
$M_{17}$	Champiñones cosechados	7400
$M_{18}$	Compost residual	6167
$M_{19}$	Déficit de agua	3932
$M_{20}$	Materia seca perdida	429

#### 4.1.12 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA FRUCTIFICACIÓN.

Al igual que la incubación la fructificación se realiza en el interior de la mina, en esta etapa las condiciones de cultivo son modificadas para inducir la formación de los cuerpos fructíferos. Durante este periodo la temperatura se mantiene en 12 °C y la humedad relativa en un 85%. El flujo de aire debe ser de 250 m<sup>3</sup>/ ton h y es necesario

tener iluminación por al menos ocho horas diarias. La masa de compost a tratar es la que se obtiene luego que el micelio ha colonizado el sustrato, proceso que se produce durante la incubación y que corresponde a:

$$M = 3840 \text{ Kg.}$$

Para la resolución del balance de energía se considera estado estacionario, por lo que queda determinado por la siguiente expresión:

$$Q_M + Q_L - Q_a - Q_p = 0$$

**Ecuación 4.54**

Donde:

$Q_M$  : Calor metabólico generado Kcal/h

$Q_L$  : Calor generado por la luz Kcal/h

$Q_a$  : Calor retirado por el aire Kcal/h

$Q_p$  : Calor perdido por las paredes Kcal/h

### **CALOR METABÓLICO GENERADO**

El calor metabólico generado se calcula de igual forma que para la etapa de incubación, a través de la ecuación 4.46, donde:

$$M = 3840 \text{ Kg compost}$$

$$q_M = 0.26 \text{ Kcal/h kg}$$

Luego, el calor metabólico generado corresponde a:

$$Q_M = 998.4 \text{ Kcal/h}$$

### **CALOR GENERADO POR LAS LUCES**

Las luces generan 0.86 Kcal/W h. Se recomienda que la iluminación no sea inferior a 9.5 W/m<sup>2</sup>, por lo que para iluminar una superficie como el área del suelo de la mina (80 m<sup>2</sup>), se requieren:

$$Q_L = 653.6 \text{ Kcal/h}$$

### **CALOR PERDIDO POR PAREDES**

El calor perdido por las paredes es calculado de igual forma que para la etapa de incubación, por medio de la ecuación 4.47, variando la temperatura (T) que para la fructificación es de 12°C, por lo que se obtiene que<sup>21</sup>:

$$Q_P = -7.2 \text{ Kcal/h}$$

### **CALOR RETIRADO POR EL AIRE**

El flujo de recomendado para este tipo de cultivo es de 250 m<sup>3</sup>/ton h. Se trabaja con una temperatura promedio de 12°C y una humedad relativa del 85%, se busca que esta se mantenga constante durante el tiempo en que se realiza la fructificación. A través de la ecuación 4.48 y los datos de la Tabla 4.19 es posible determinar el calor retirado por el aire.

Tabla 4.19. Datos para calcular el calor retirado por el aire.

Símbolo	Valor	Unidad
$C_{p_a}$	0.24	Kcal/kg °C
$C_{p_w}$	0.44	Kcal/kg °C
$F_a$	1000	m <sup>3</sup> /h
$k$	0.03	Kcal/m h °C
$\rho_a$	1.18	Kg/m <sup>3</sup>
$h_{ci}$	0.009 <sup>10</sup>	Kg agua/kg a.s.

Luego:

$$\frac{Q_a}{\Delta T} = 282 \text{ Kcal/h}^\circ\text{C}$$

Sumando los calores perdidos y generados al interior de la mina, se obtiene que:

$$\Delta T = \frac{Q_M + Q_L - Q_p}{Q_a / \Delta T} \quad \text{Ecuación 4.55}$$

De la ecuación 4.55 se obtiene que:

$$\Delta T = 5.88 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, el calor retirado por el aire asciende a:

$$Q_a = 1659.2 \text{ Kcal/h}$$

A partir del valor del  $Q_a$  es posible obtener la temperatura de entrada del aire a la sala de cultivo durante la fructificación, que es representada por:

$$T_E = T - \Delta T$$

**Ecuación 4.56**

Donde:

$T_E$  : Temperatura del aire de entrada °C

$T$  : Temperatura de fructificación °C

$\Delta T$  : Variación de temperatura de la cámara °C

□

La temperatura de fructificación es de 12 °C y el  $\Delta T$  corresponde a 5.88°C, luego:

$$T_E = 6.12 \text{ °C}$$

#### **4.1.13 DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA PARA EL CULTIVO.**

Para estimar la cantidad de agua que es necesario agregar para mantener las Condiciones de humedad, tanto en la etapa de incubación como de fructificación, se utilizará la ecuación 4.57, donde el agua de riego, corresponde a la retirada por el aire más el agua retirada por los champiñones desde el compost.

$$M_{ar} = M_{ae} + M_{ac}$$

**Ecuación 4.57**

Donde:

$M_{ar}$  : Masa de agua de riego

$M_{ae}$  : Masa de agua retirada por el aire

$M_{ac}$  : Masa de agua retirada por los champiñones desde el compost.

En cuanto al agua perdida desde el compost por los champiñones, ésta es obtenida a través del balance de masa realizado en la sección 4.1.9 y 4.1.11; para el cálculo se



consideró que el 70% del agua perdida se produce de la primera a la quinta semana, en fracciones iguales, y el 30% restante de la sexta a la octava semana.

La ecuación que permite determinar la cantidad de agua retirada por el aire es:

$$M_{ae} = F_a \cdot (h_F - h_I)$$

**Ecuación 4.58**

Donde:

$F_a$  : Flujo de aire      Kg a.s/h

$h_F$  : Humedad del aire de salida Humedad del aire entrada   Kg agua/kg a.s

$h_I$  : Humedad del aire entrada      Kg agua/kg a.s

Es importante aclarar que la masa de compost utilizada para realizar los cálculos no corresponde a la masa total por lote, sino a la obtenida a partir del número de bolsas que es posible instalar por mina, lo que está detallado en la sección 5.1.6.

### **DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA PARA LA INCUBACIÓN**

El balance para determinar el agua de riego requerida durante el periodo en que se extiende la incubación, el cual corresponde a 2 semanas, es realizado diariamente. Para éste, se dispone de los resultados obtenidos en el balance de masa, realizados en la sección 4.1.9.

La masa de compost (M) a tratar por mina es de 4800 kg, la que disminuye a 3908 kg, a lo largo de los 14 días en que se extiende la incubación. En cuanto, al agua retirada desde el compost por los champiñones ésta corresponde a 78.6 Kg/día (valor obtenido a partir del balance de masa). Finalmente, para calcular el agua evaporada por el aire se utiliza la ecuación 4.58, y los datos utilizados en la sección 4.1.10. En la Tabla 4.20,

aparece el resumen de los resultados para la determinación del agua de riego durante la incubación.

Tabla 4.20 Determinación del agua de Riego para la etapa de Incubación.

Día	M	M <sub>ac</sub>	M <sub>ae</sub>	M <sub>ar</sub>
1	4800	78,6	48,0	126,7
2	4731	78,6	47,3	126,0
3	4663	78,6	46,7	125,3
4	4594	78,6	46,0	124,6
5	4526	78,6	45,3	123,9
6	4457	78,6	44,6	123,2
7	4388	78,6	43,9	122,6
8	4320	78,6	43,2	121,9
9	4251	78,6	42,5	121,2
10	4183	78,6	41,9	120,5
11	4114	78,6	41,2	119,8
12	4045	78,6	40,5	119,1
13	3977	78,6	39,8	118,4
14	3908	78,6	39,1	117,7
<b>Total</b>				<b>1710,9</b>

Luego, la masa total de agua de riego para la etapa de incubación asciende a 1710.9 Kg.

### **DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA PARA LA FRUCTIFICACIÓN**

El balance para determinar el agua de riego requerida durante el periodo en que se extiende la fructificación, el cual corresponde a 6 semanas, es realizado diariamente. Para éste, se dispone de los resultados obtenidos en el balance de masa, realizados en la sección 4.1.11.

La masa de compost (M) a tratar por mina es de 3840 kg, la que disminuye a 2351 kg, a lo largo de los 42 días en que se extiende la fructificación. En cuanto, al agua retirada desde el compost por los champiñones ésta corresponde a 78.6 Kg/día (valor obtenido a partir del balance de masa). Finalmente, para calcular el agua evaporada por el aire se utiliza la ecuación 4.58, y los datos utilizados en la sección 4.1.12. En la Tabla 4.21, aparece el resumen de los resultados para la determinación del agua de riego durante la fructificación.

Tabla 4.21. Determinación agua de Riego requerida durante la fructificación.

Día	M	M <sub>ac</sub>	M <sub>ac</sub>	M <sub>ar</sub>
15	3840	78,6	38,4	117,1
16	3803	78,6	31,1	109,7
17	3767	78,6	30,8	109,4
18	3731	78,6	30,5	109,1
19	3694	78,6	30,2	108,8
20	3658	78,6	29,9	108,6
21	3622	78,6	29,6	108,3
22	3586	78,6	29,3	108,0
23	3549	78,6	29,0	107,7
24	3513	78,6	28,7	107,4
25	3477	78,6	28,4	107,1
26	3440	78,6	28,2	106,8
27	3404	78,6	27,9	106,5
28	3368	78,6	27,6	106,2
29	3331	78,6	27,3	105,9
30	3295	78,6	27,0	105,6
31	3259	78,6	26,7	105,3
32	3223	78,6	26,4	105,0
33	3186	78,6	26,1	104,7
34	3150	78,6	25,8	104,4
35	3114	78,6	25,5	104,1
36	3077	78,6	25,2	103,9
37	3041	56,2	24,9	81,1
38	3005	56,2	24,6	80,8
39	2968	56,2	24,3	80,5
40	2932	56,2	24,0	80,2
41	2896	56,2	23,7	79,9
42	2860	56,2	23,4	79,6
43	2823	56,2	23,2	79,4
44	2787	56,2	22,9	79,1
45	2751	56,2	22,6	78,8
46	2714	56,2	22,3	78,5
47	2678	56,2	22,0	78,2
48	2642	56,2	21,7	77,9
49	2605	56,2	21,4	77,6
50	2569	56,2	21,1	77,3
51	2533	56,2	20,8	77,0
52	2497	56,2	20,5	76,7
53	2460	56,2	20,2	76,4
54	2424	56,2	19,9	76,1
55	2388	56,2	19,6	75,8
56	2351	56,2	19,3	75,5
<b>Total</b>				<b>3926,2</b>

Luego, la masa total de agua de riego para la etapa de fructificación asciende a 3926.2 Kg.

Finalmente, se obtiene que la cantidad de agua total que se necesita para la etapa de cultivo que comprende tanto la incubación como la fructificación, por mina es de:

$$M_{ar \text{ total}} = 5637.1 \text{ Kg/mina}$$

## **4.2 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA EL CULTIVO DEL SHIITAKE.**

En el balance de masa y energía para el cultivo del Shiitake (*Lentinula edodes*), es posible distinguir cinco etapas, las que corresponden a:

- Preparación de Materias primas,
- Esterilización,
- Inoculación,
- Incubación y Fructificación.

El balance de energía para el cultivo de este hongo, está orientado principalmente a determinar la cantidad de energía que se requiere para las operaciones de esterilización y cultivo.

La capacidad de producción estimada para esta especie es de 55 toneladas/año y como una forma de organizar la producción a lo largo de todo el año se ha dividido este total en 12 lotes productivos, equivalentes a 4.6 toneladas de producto por lote.

## 4.2.1 BALANCE DE MASA PARA LA PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.

Esta etapa consiste en el mezclamiento de las materias primas para la elaboración del sustrato que será utilizado para el cultivo del Shiitake.

La materia prima requerida es: Aserrín de madera, Extracto de Levadura, Paja de trigo y Carbonato de Calcio.

El porcentaje de humedad del sustrato debe ser de un 65% y un 1.5% de Nitrógeno (base seca). En cuanto a la cantidad de Carbonato de Calcio que debe ser agregada, esta corresponde a un 1% de la materia prima requerida para la etapa de preparación.

La paja de trigo que se agrega equivale a un 20% de la materia prima seca.

El rendimiento entre la cantidad de champiñón fresco producido y cantidad de materia prima preparada es de <sup>2</sup>:

$$\frac{0.260 \text{ kg. champiñón fresco}}{\text{kg. materia prima seca}}$$

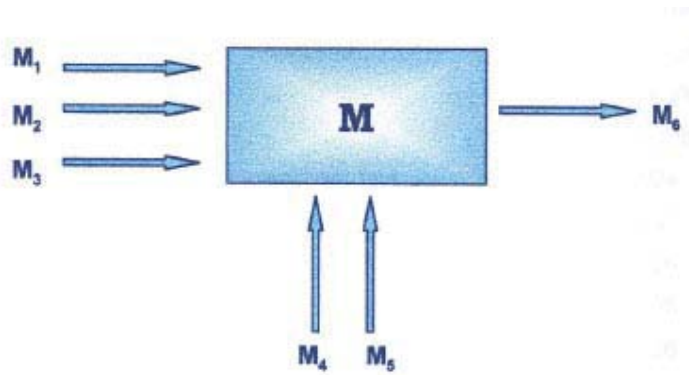
A partir de este dato se puede calcular la materia prima requerida para la etapa de compostación, por cada lote productivo, la que corresponde a:

$$\frac{4600 \text{ kg. champiñón / lote}}{0.260 \text{ kg. champiñón } s / \text{kg. materia seca} \cdot 0.35 \text{ kg. materia seca} / \text{kg. materia prima}}$$

Por lo tanto, la Materia Prima Requerida es de. **50549 Kg/lote.**

En la Figura 4.12 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la preparación de la materia prima.

Figura 4.12. Preparación de Materia Prima.



Donde:

- M<sub>1</sub>: Aserrín
- M<sub>2</sub>: Paja de trigo.
- M<sub>3</sub>: Extracto de Levadura.
- M<sub>4</sub>: CaCO<sub>3</sub>.
- M<sub>5</sub>: Agua.
- M<sub>6</sub>: Materia Prima preparada.

- **Balance Global:**

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = M_6$$

Cantidad **Ecuación 4.59**

- **Balance de Agua:**

$$x_{a,6} \cdot M_6 = x_{a,1} \cdot M_1 + x_{a,2} \cdot M_2 + x_{a,3} \cdot M_3 + M_5$$

**Ecuación 4.60**

- **Balance de Nitrógeno:**

$$x_{N,6} \cdot x_{s,6} \cdot M_6 = x_{N,2} \cdot x_{s,2} \cdot M_2 + x_{N,3} \cdot x_{s,3} \cdot M_3$$

**Ecuación 4.61**

En la Tabla 4.22 se presentan los datos de los que se dispone, para la resolución de los balances de para la preparación de la materia prima para su posterior compostación.

Tabla 4.22. Datos Balance de Masa para la Preparación de la materia prima.

Símbolo	Definición	Cantidad
M <sub>6</sub>	Materia prima preparada	50549 kg/lote
M <sub>2</sub>	Paja de trigo	3538 kg/lote
M <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	505 kg/lote
X <sub>a,1</sub>	Fracción de agua corriente 1	0.04
X <sub>a,2</sub>	Fracción de agua corriente 2	0.2
X <sub>a,3</sub>	Fracción de agua corriente 3	0.06
X <sub>a,6</sub>	Fracción de agua corriente 6	0.65
X <sub>s,1</sub>	Fracción de materia seca corriente 1	0.96
X <sub>s,2</sub>	Fracción de materia seca corriente 2	0.8
X <sub>s,3</sub>	Fracción de materia seca corriente 3	0.94
X <sub>s,6</sub>	Fracción de materia seca corriente 6	0.35
X <sub>N,2</sub>	Fracción de nitrógeno corriente 2	0.01
X <sub>N,3</sub>	Fracción de nitrógeno corriente 3	0.25
X <sub>N,6</sub>	Fracción de nitrógeno corriente 6	0.015

En la Tabla 4.23 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la preparación de materia prima

Tabla 4.23. Resultados Balance de Masa para la Preparación de la Materia Prima.

Símbolo	Definición	Cantidad (kg/lote)
M <sub>1</sub>	Aserrín	13979
M <sub>2</sub>	Paja de trigo	3538
M <sub>3</sub>	Extracto de Levadura	997
M <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	505
M <sub>5</sub>	Agua	31530
<b>M<sub>6</sub></b>	<b>Materia prima preparada</b>	<b>50549</b>

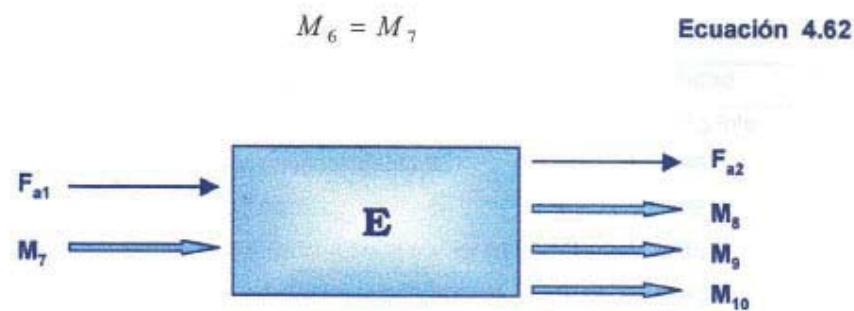
## 4.2.2 BALANCE DE MASA PARA LA ESTERILIZACIÓN DEL SUSTRATO.

El objetivo de esta etapa es eliminar los microorganismos y agentes extraños e indeseables que se encuentren en el sustrato.

En esta etapa se utiliza la materia prima preparada en la fase anterior la que corresponde a 50549 kg. con un 65% de humedad. El tiempo de esterilización es de 2 horas a 90°C. Se asume que durante esta etapa se produce una pérdida de materia prima de un 10%.

En la Figura 4.13 se esquematiza cada una de las corrientes que forman parte de la esterilización del sustrato.

Figura 4.13. Esterilización del Sustrato.



Luego:

$$M_7 = 50549 \text{ Kg}$$

Donde:

$M_7$  : Materia prima preparada

$M_8$  : Sustrato esterilizado



$M_9$  : Materia seca perdida

$M_{10}$  : Agua perdida

$F_{ai}$  : Aire de proceso de entrada

$F_{a2}$  : Aire de proceso de salida

- **Balance Global**

$$M_8 + M_9 + M_{10} = M_7 \quad \text{Ecuación 4.63}$$

- Balance de Agua:

$$x_{a,7} \cdot M_7 = x_{a,8} \cdot M_8 + M_{10} \quad \text{Ecuación 4.64}$$

- Balance Materia Seca perdida:

$$M_{10} = 0.1 \cdot X_{s,7} \cdot M_7 \quad \text{Ecuación 4.65}$$

En la Tabla 4.24 se presentan los datos disponibles para la resolución de los balances de masa correspondiente al Acondicionamiento del sustrato esterilizado.

Tabla 4.24. Datos Balance de Masa para la Esterilización del sustrato.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b>
$M_7$	Sustrato esterilizado.	50549 kg/lote
$x_{a,7}$	Fracción de agua corriente 7	0.65
$x_{a,8}$	Fracción de agua corriente 8	0.65
$x_{s,7}$	Fracción de materia seca corriente 7	0.35
$x_{s,8}$	Fracción de materia seca corriente 8	0.35

Los resultados de los balances de masa para la etapa de acondicionamiento se resumen en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25. Resultados Balance de Masa para la Esterilización del sustrato.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad (kg/lote)</b>
M <sub>7</sub>	Materia prima preparada	50549
M <sub>8</sub>	Sustrato esterilizado	45494
M <sub>9</sub>	Materia seca perdida	1769
M <sub>10</sub>	Agua perdida	3286

### **4.2.3 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA ESTERILIZACIÓN DEL SUSTRATO.**

La esterilización del sustrato, se realiza en el mismo equipo utilizado para la pasteurización y acondicionamiento del compost del champiñón ostra.

La masa total a tratar en esta etapa es dividida en dos lotes iguales, equivalentes a 25275 Kg.

La esterilización está dividida en tres fases:

- Calentamiento,
- Mantención y
- Enfriamiento.

La primera fase consiste en elevar la temperatura del sustrato hasta 90°C seguido de la fase de mantención del sustrato a esa temperatura y finalmente el enfriamiento hasta 25°C

El tiempo de las zonas de calentamiento y enfriamiento de la esterilización, estén determinados por las condiciones de operación, mientras que la zona de mantención está determinada por el diseño de la esterilización, a fin de cumplir con las condiciones de reducción de carga microbiana del proceso.

La ecuación general para el balance de energía es:

$$E_S + E_O = E_W + E_A + E_M + E_I \quad \text{Ecuación 4.66}$$

Donde:

$E_S$ : Energía transmitida a los alrededores

$E_O$ : Energía del aire de salida.

$E_W$ : Energía agua agregada.

$E_A$ : Energía aire de ingreso.

$E_M$ : Energía metabólica producida.

$E_I$ : Energía del material dentro del equipo.

Reemplazando cada término de la ecuación 4.66 se obtiene:

$$MCp \frac{dT}{dt} = \frac{k \cdot A}{L} (T - T_s) + F_a \cdot (H_f - H_i) - F_w \cdot H_w - q \cdot M - TCp_w \frac{dW}{dt}$$

**Ecuación 4.67**

Donde:

M :	Masa de sustrato	Kg
C <sub>p</sub> :	Capacidad Calorífica del sustrato	Kcal/kg °C
T :	Temperatura del sustrato	°C
t :	Tiempo	h
L :	Espesor de la pared del equipo	m
T <sub>s</sub> :	Temperatura ambiente	°C
Cp <sub>w</sub> :	Capacidad calorífica del agua	Kcal/kg °C
k :	Coefficiente de transferencia de Calor	Kcal/ m h °C
A :	Área de las paredes	m <sup>2</sup>
F <sub>a</sub> :	Flujo de aire	Kg a.s./h
H <sub>i</sub> :	Entalpía del aire de entrada	Kcal/kg a.s.
H <sub>f</sub> :	Entalpía del aire de salida	Kcal/kg a.s.
q :	Velocidad específica de producción de calor	Kcal/kg h

La diferencia de entalpía del aire puede ser calculada a través de la ecuación 4.68.

$$H_f - H_i = 0.24 \cdot (T_{af} - T_{ai}) + 0.45 \cdot (h_f \cdot T_{af} - h_i \cdot T_{ai}) + \lambda \cdot (h_f - h_i)$$

**Ecuación 4.68**

Donde:

λ :	Calor latente de evaporación	Kcal/kg
H <sub>i</sub> :	Entalpía del aire de entrada	Kcal/kg a.s.
H <sub>f</sub> :	Entalpía del aire de salida	Kcal/kg a.s.
h <sub>i</sub> :	Humedad de aire de entrada	Kg agua/kg a.s.
h <sub>f</sub> :	Humedad aire de salida	Kg agua/kg a.s.
T <sub>af</sub> :	Temperatura del aire de salida	°C
T <sub>ai</sub> :	Temperatura del aire de entrada	°C

La variación de la masa de agua en el tiempo:  $dW/dt$  estará dada por:

$$\frac{dW}{dt} = F_w + F_a \cdot (h_F - h_I) + Q_M \cdot X \cdot M$$

**Ecuación 4.69**

Donde:

M	: Masa de sustrato	Kg
Q <sub>M</sub>	: Calor metabólico producido	Kcal/h
F <sub>w</sub>	: Flujo de agua agregada	Kg/h
F <sub>a</sub>	: Flujo de aire	Kg a.s./h
h <sub>I</sub>	: Humedad de aire de entrada	Kg agua/kg a.s.
h <sub>F</sub>	: Humedad aire de salida	Kg agua/kg a.s.
X	: Concentración celular	

En cuanto a la velocidad de producción de agua metabólica se puede considerar despreciable respecto al total y considerando que no se agrega agua durante el proceso (E<sub>w</sub> y F<sub>w</sub> = 0), la velocidad de variación de agua es:

$$\frac{dW}{dt} = F_a \cdot (h_F - h_I)$$

**Ecuación 4.70**

Reemplazando en la ecuación 4.67, la temperatura del lecho estará dada por:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{M \cdot Cp} \left[ \frac{k \cdot A}{L} (T - T_s) + F_a \cdot (H_F - H_I) - q \cdot M - T \cdot Cp_w \cdot F_a \cdot (h_F - h_I) \right]$$

**Ecuación 4.71**

Conocidas las demás variables y manteniendo como única incógnita la temperatura, la ecuación 4.71 puede ser ordenada para su resolución en estado transiente, quedando representada como se puede apreciar en la ecuación 4.72.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k \cdot A - L \cdot Cp_w \cdot F_a \cdot (h_F - h_I)}{M \cdot Cp \cdot L} \cdot T + \left[ \frac{F_a}{M \cdot Cp} \cdot (H_F - H_I) - \frac{k \cdot A \cdot T_s}{L \cdot M \cdot Cp} - \frac{q}{Cp} \right]$$

**Ecuación 4.72**

Quedando una ecuación diferencial de primer orden de la forma:

$$\frac{dT}{dt} + P(t) \cdot T = q(t)$$

**Ecuación 4.73**

En el caso de considerar estado estacionario, donde  $dT/dt = 0$ , la ecuación 4.72 queda de la forma:

$$\frac{k \cdot A}{L} (T - T_s) + F_a \cdot (H_F - H_I) - q \cdot M - T \cdot C_{p_w} \cdot F_a \cdot (h_F - h_I) = 0$$

**Ecuación 4.74**

### **BALANCE DE ENERGÍA ZONA DE CALENTAMIENTO.**

La energía necesaria para proceder a la pasteurización del compost, es entregada por el vapor generado por la caldera. La ecuación que permite cuantificar la cantidad de vapor requerido en ésta etapa es:

$$F_v \cdot \lambda_v \cdot t_c = M \cdot C_p \cdot (T_F - T_i) + Q_p$$

**Ecuación 4.75**

Donde:

$F_v$ : Flujo de vapor Kg/h

$\lambda_v$ : Calor latente de vaporización Kcal/kg

$t_c$ : Tiempo de calentamiento h

$M$ : Masa de compost Kg

$C_p$ : Capacidad calorífica del sustrato Kcal/kg°C

$Q_p$ : Calor perdido por las paredes. Kcal

$T_i$ : Temperatura inicial del sustrato. °C

$T_f$ : Temperatura final de esterilización °C

El calor perdido por las paredes se estima a partir de la ecuación 4.76.

$$Q_p = t_c \cdot U_p \cdot A_p \cdot \Delta T$$

**Ecuación 4.76**

Donde:

$U_p$ : coeficiente global de transferencia de calor Kcal°C/h m<sup>2</sup>

$A_p$ : Área de pérdidas al exterior por las paredes m<sup>2</sup>

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la del vapor y el aire

El área de las paredes está determinada en el diseño del equipo (sección 5.1.4), y corresponde a:

$$A = 81 \text{ m}^2$$

El coeficiente de transferencia del material aislante (Aislapol), utilizado en planchas de 10 cm de espesor es:

$$k = 0.03 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$$

El tiempo de calentamiento se obtiene a partir de la ecuación 4.72, con la cual es posible determinar el perfil de temperatura v/s tiempo. Los datos para la resolución de esta ecuación se presentan en la Tabla 4.26.

Tabla 4.26. Datos para calcular el tiempo de calentamiento.

Símbolo	Valor	Unidad
M	25275	Kg
T <sub>s</sub>	18	°C
C <sub>p</sub>	0.7	Kcal/kg °C
C <sub>p<sub>w</sub></sub>	1	Kcal/kg °C
F <sub>a</sub>	5737	kg a.s./h
k	0.03	Kcal/m h °C
A	81	m <sup>2</sup>
L	0.1	m
H <sub>f</sub> -H <sub>i</sub>	17.51 <sup>18</sup>	Kcal/kg a.s.
h <sub>f</sub> -h <sub>i</sub>	0.02 <sup>10</sup>	Kg agua/kg a.s.
q	0.805	Kcal/kg compost h

Las condiciones iniciales para determinar el perfil de temperatura – tiempo son:

$$t=0$$

$$T=25^{\circ}\text{C}$$

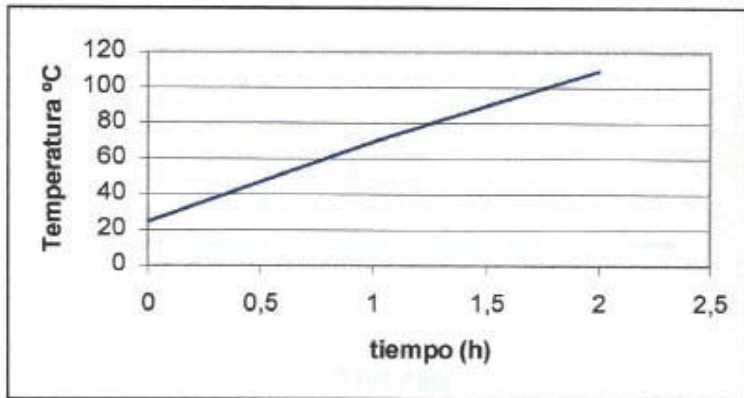
Luego, el perfil obtenido es:

$$T(t) = 10808 - 10783 \cdot \exp(-0.004 \cdot t) \quad \text{Ecuación 4.77}$$

Los valores del perfil de temperatura para la zona de calentamiento se representa en la Figura 4.15. Donde el tiempo requerido para alcanzar los 90°C corresponde a 1.52 horas.

Figura 4.14 Perfil de temperatura v/s tiempo para la zona de calentamiento.





Luego,

$$t_c = 1.52 \text{ horas.}$$

Una vez conocido el tiempo de calentamiento es posible calcular el  $Q_p$ , reemplazando los valores de la Tabla 4.27 en la ecuación 4.76.

Tabla 4.27 Datos para determinar el calor perdido por las paredes ( $Q_p$ ).

Símbolo	Valor	Unidad
$U_p$	8.13	Kcal°C/h m <sup>2</sup>
$\Delta T$	100	°C
$A_p$	81	m <sup>2</sup>
$t_c$	1.52	h

Luego,

$$Q_p = 1.1 \cdot 10^5 \text{ Kcal.}$$

Reemplazando los datos de la tabla 4.28 en la ecuación 4.75 se obtiene el flujo de vapor que se requiere para la zona de calentamiento.

Tabla 4.28. Datos para el cálculo del flujo de vapor zona de calentamiento.

Símbolo	Valor	Unidad
M	25275	Kg
$\lambda_v$	556	Kcal/Kg
Cp	0.7	Kcal/kg °C
Qp	$1.1 \cdot 10^5$	Kcal
T <sub>i</sub>	25	°C
T <sub>F</sub>	90	°C
t <sub>c</sub>	1.52	h

Luego,

$$F_v = 1491 \text{ Kg/h}$$

### BALANCE DE ENERGÍA ZONA DE MANTENCIÓN

Para realizar el balance de energía en la zona de mantención, se considera estado estacionario, ya que sólo se debe mantener la temperatura del lecho en 90°C.

El balance de energía para ésta etapa viene dado por la siguiente expresión:

$$F_v \cdot \lambda_v \cdot t_M = U_p \cdot A_p \cdot \Delta T \cdot t_M \quad \text{Ecuación 4.78}$$

El tiempo de la zona de mantención (t<sub>M</sub>), queda determinado por la evaluación de la reducción de la carga microbiana. La cinética de reducción microbiana, se considera de primer orden para la destrucción térmica de microorganismos y es representada como:

$$\frac{dN}{dt} = -K_d \cdot N \quad \text{Ecuación 4.79}$$

El efecto de la temperatura sobre  $K_d$  es modelado por la ecuación de Arrhenius:

$$K_d = A_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right)$$

**Ecuación 4.80**

La ecuación 4.79 puede escribirse como:

$$\nabla = \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = K_d \cdot t$$

**Ecuación 4.81**

Donde:

$K_d$ :	Constante cinética	$s^{-1}$
$A_0$ :	Factor de frecuencia	$s^{-1}$
$E_a$ :	Energía de activación	cal/mol
$R$ :	Constantes de los gases	cal/mol K
$N_0$ :	Concentración inicial de organismos vivos	
$N$ :	Concentración de microorganismos vivos al tiempo $t$ .	
$\nabla$ :	Criterio de reducción de carga microbiana	

Las constantes  $A_0$ ,  $E_a$  dependen del microorganismo que se elija como referencia. Para este caso se consideró las constantes utilizadas para un microorganismo mesófilo cuyos valores son:

$$E_a = 70200 \quad \text{cal/mol}$$

$$A_0 = 1.4 \cdot 10^{42} \text{ s}^{-1}$$

Como criterio de esterilización o reducción se considera lograr la eliminación de 99,9% de la flora representada por estos parámetros de referencia, con lo que el porcentaje de sobrevivencia final será de 0.1%. Siendo el criterio de reducción global del proceso de:

$$\nabla = \text{Ln}\left(\frac{100}{0.1}\right) = 6.91$$

Este valor debe ser igual a la sumatoria de los valores alcanzados en la zona de calentamiento, mantención y enfriamiento del sustrato.

Para la zona de calentamiento, la temperatura del lecho está definida en la ecuación 4.77. El criterio de reducción resultante del calentamiento del sustrato a 90°C es:

$$\nabla_c = A_0 \cdot \int \left[ \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T(t)}\right) \right] dt$$

**Ecuación 4.82**

Para la resolución de la ecuación 4.82 se utiliza el valor inicial de  $t = 0$  h y final de  $t = 1.52$  h. Lo que entrega el siguiente valor para el criterio de reducción microbiano en la zona de calentamiento:

$$\nabla_c = 2.83$$

Para la zona de enfriamiento el perfil de temperatura está dado por la ecuación 4.84. El criterio de reducción producto del enfriamiento del sustrato de 90°C a 25°C se determina por medio de la ecuación 4.82, integrada entre  $t = 0$  y  $t = 8.5$  horas. La integración numérica entrega como resultado:

$$\nabla_e = 3.46$$

Para la zona de mantención la temperatura del sustrato se mantiene en 90°C. La constante cinética de muerte  $K_d$  a esta temperatura se obtiene de la ecuación 4.80 y tiene un valor de:

$$K_d = 1.174 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

La duración de la zona de mantención de temperatura, debe ser tal que el criterio de reducción alcanzado en dicha zona, sumado a los de las zonas de calentamiento y enfriamiento sea igual al de reducción global del proceso.

Luego el tiempo de mantención quedará determinado por la expresión:

$$t_M = \frac{\nabla - \nabla_c - \nabla_c}{K_d} \quad \text{Ecuación 4.83}$$

Por lo tanto el tiempo de mantención es:

$$t_M = 1.47 \text{ horas.}$$

A partir de los datos que se presentan en la Tabla 4.29, es posible determinar el flujo de vapor de reposición a alimentar durante fase de mantención.

Tabla 4.29. Datos para el cálculo del flujo de vapor zona de mantención.

Símbolo	Valor	Unidad
$\lambda_v$	556 <sup>20</sup>	Kcal/Kg
$U_p$	8.13 <sup>20</sup>	Kcal°C/h m <sup>2</sup>
$\Delta T$	100	°C
$A_p$	81	m <sup>2</sup>
$t_M$	1.47	h

Evaluando en la ecuación 4.78 se obtiene que el flujo de vapor requerido en la zona de mantención es de:

$$F_v = 118.6 \text{ Kg/h}$$

### **BALANCE DE ENERGÍA ZONA DE ENFRIAMIENTO.**

Una vez concluida la fase de mantención a 90°C, el lecho de compost es enfriado hasta una temperatura de 25°C, temperatura a la que se realiza la inoculación.

De igual manera que en la zona de calentamiento el balance de energía para enfriamiento se leve a cabo en forma transiente y manteniendo las mismas condiciones de flujo de aire, masa de sustrato, generación de calor y demás parámetros. Reemplazando en la ecuación 4.72, los datos de la Tabla 4.30 se obtiene el perfil de enfriamiento temperatura versus tiempo.

Tabla 4.30. Datos para calcular el tiempo de enfriamiento del sustrato

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
M	25275	Kg
T <sub>s</sub>	18	°C
C <sub>p</sub>	0.7	Kcal/kg °C
C <sub>p<sub>w</sub></sub>	1	Kcal/kg °C
F <sub>a</sub>	5737	kg a.s./h
k	0.03	Kcal/m h °C
A	81	m <sup>2</sup>
L	0.1	m
H <sub>f</sub> -H <sub>i</sub>	0.732 <sup>19</sup>	Kcal/kg a.s.
h <sub>f</sub> -h <sub>i</sub>	0.004 <sup>10</sup>	Kg agua/kg a.s.
q	0.805	Kcal/kg compost h

Donde las condiciones iniciales son:

$t = 0$

$T = 90^\circ\text{C}$

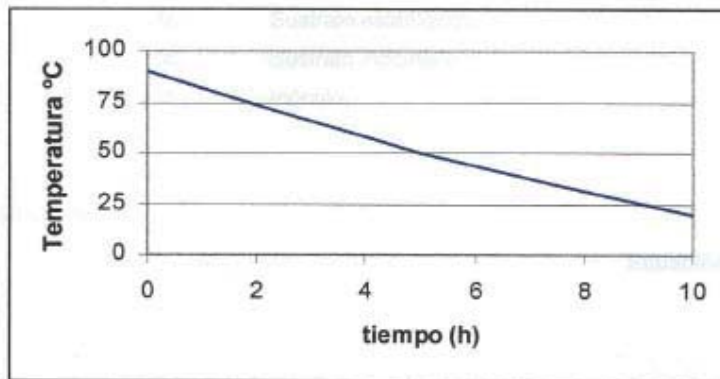
Luego, el perfil de temperatura viene dado por:

$$T(t) = 15440 - 15350 \cdot \exp(0.0005 \cdot t)$$

**Ecuación 4.84**

El perfil de temperatura v/s tiempo para la zona de enfriamiento se muestra en la Figura 4.15

Figura 4.15 Perfil de temperatura v/s tiempo para la zona de enfriamiento del sustrato.



Como se puede apreciar en la Figura 4.16, el tiempo que se requiere para enfriar el sustrato desde 90 a 25°C es de 8.5 horas.

#### **4.2.4 BALANCE DE MASA PARA LA INOCULACIÓN.**

Esta etapa consiste en poner en contacto íntimo mediante mezclamiento el inóculo, que en este caso corresponde al micelio ya propagado en el grano de trigo, con el sustrato esterilizado. El porcentaje de inóculo que se requiere en relación al sustrato ( $M_8$ ) es de

un 2% en peso, lo que corresponde a una cantidad de 910 kg. de inóculo por lote productivo.<sup>4</sup>

En la Figura 4.16 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la etapa de Inoculación.

Figura 4.16. Inoculación del sustrato.



Donde:

$M_8$ : Sustrato esterilizado.

$M_{11}$ : Sustrato inoculado.

$M_{12}$ : Inóculo.

- **Balance Global**

$$M_8 + M_{12} = M_{11}$$

**Ecuación 4.85**

- Balance de Agua:

$$x_{a,11} \cdot M_{11} = x_{a,8} \cdot M_8 + x_{a,12} \cdot M_{12}$$

**Ecuación 4.86**

- Balance Inóculo requerido:

$$M_{12} = 0.02 \cdot M_8$$

**Ecuación 4.87**



En la Tabla 4.31 se presentan los datos disponibles para la resolución de los balances de masa correspondiente a la Inoculación del sustrato esterilizado.

Tabla 4.31. Datos Balance de Masa para la Inoculación.

Símbolo	Definición	Cantidad
$M_B$	Sustrato acondicionado	45494 kg/lote
$X_{a,8}$	Fracción de agua corriente 8	0.65
$X_{a,11}$	Fracción de agua corriente 11	0.65
$X_{a,12}$	Fracción de agua corriente 12	0.65
$X_{s,8}$	Fracción de materia seca corriente 8	0.35
$X_{s,11}$	Fracción de materia seca corriente 11	0.35
$X_{s,12}$	Fracción de materia seca corriente 12	0.35

Resolviendo las ecuaciones se obtienen los resultados que se presentan en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32. Resultados Balance de Masa para la Inoculación.

Símbolo	Definición	Cantidad (kg/lote)
$M_B$	Sustrato acondicionado	45494
$M_{11}$	Sustrato inoculado	46404
$M_{12}$	Inóculo	910

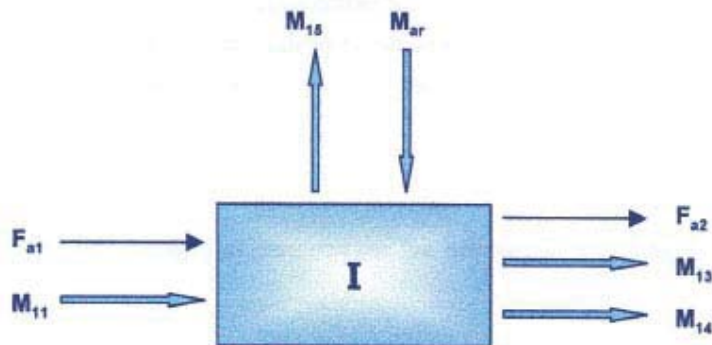
#### 4.2.5 BALANCE DE MASA PARA LA INCUBACIÓN.

La incubación del compost inoculado se realiza en bolsas de polipropileno, al igual que para el caso del Champiñón Ostra. El tiempo destinado a esta operación es de dos semanas, durante las cuales se produce una pérdida de un 15% de materia seca con respecto al sustrato que ingresa a la incubación ( $M_{11}$ ).<sup>4,5</sup>

Se requiere que la humedad del sustrato finalizada esta etapa se mantenga en un 65%.<sup>4</sup>

En la Figura 4.17 se esquematiza cada una de las corrientes que forman parte de la Incubación.

Figura 4.17. Incubación.



Donde.

$M_{11}$ : Sustrato inoculado

$M_{13}$ : Sustrato incubado

$M_{14}$ : Agua perdida

$M_{15}$ : Materia seca perdida

- **Balance Global:**

$$M_{13} + M_{14} + M_{15} = M_{11} \quad \text{Ecuación 4.88}$$

- **Balance de Agua:**

$$x_{a,11} \cdot M_{11} = x_{a,13} \cdot M_{13} + M_{14} \quad \text{Ecuación 4.89}$$

- **Balance Materia Seca perdida:**

$$M_{15} = 0.15 \cdot x_{s,11} \cdot M_{11}$$

**Ecuación 4.90**

En la Tabla 4.33 se presentan los datos de los que se dispone, para la resolución de los balances de masa, correspondientes a la Incubación.

Tabla 4.33. Datos Balance de Masa para la Incubación.

Símbolo	Definición	Cantidad
$M_{11}$	Sustrato inoculado	46404 kg/lote
$x_{a,11}$	Fracción de agua corriente 11	0.65
$x_{a,13}$	Fracción de agua corriente 13	0.65
$x_{s,11}$	Fracción de materia seca corriente 14	0.35
$x_{s,13}$	Fracción de materia seca corriente 15	0.35

En la Tabla 4.34 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la fase de Incubación.

Tabla 4.34. Resultados Balance de Masa para la Incubación.

Símbolo	Definición	Cantidad (kg/lote)
$M_{11}$	Sustrato inoculado	46404
$M_{13}$	Sustrato incubado	39443
$M_{14}$	Agua perdida	4525
$M_{15}$	Materia seca perdida	2436

#### 4.2.6 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA INCUBACIÓN.

Al Igual que para el cultivo del Champiñón ostra, la incubación para el Shiitake es realizada en el interior de las minas. Se utilizarán los mismos datos respecto a las

características que las minas presentan, que los usados para el cultivo del Champiñón ostra. Estos corresponden a:

Largo: 40 m.

Ancho: 2 m

Altura: 2 m.

La masa de compost a tratar por mina es:

$M = 7384 \text{ Kg.}$

Este valor es obtenido a partir del número de bolsas plásticas posibles de instalar en cada mina y que se detalla en la sección 5.1.6

Durante este período la temperatura debe mantenerse en  $24 - 25^{\circ}\text{C}$ . El flujo de aire debe ser de  $150 \text{ a } 200 \text{ m}^3/\text{ton h}$  y la humedad relativa en un 75%.

Las ecuaciones del balance de energía para esta etapa son las que se encuentran en la sección 4.1.10. bajo condición de estado estacionario, donde el calor metabólico generado debe ser igual al calor perdido por el equipo, representado por el calor perdido por las paredes más el calor retirado por el aire, como se muestra en la ecuación 4.45.

### **CALOR METABÓLICO GENERADO**

El calor metabólico total, es estimado a través del valor de la velocidad específica de producción de calor ( $q_M$ ) reportado para el sistema convencional de incubación en bandejas que corresponde a:  $0.26 \text{ Kcal/h Kg}$  sustrato.

La masa de compost a tratar es de  $7384 \text{ Kg}$ . Luego, el calor metabólico generado corresponde a:

$$Q_M = q_M \cdot M$$

**Ecuación 4.91**

Reemplazando en la ecuación 4.91 se obtiene:

$$Q_M = 1920 \text{ Kcal/h}$$

### **CALOR PERDIDO POR PAREDES**

Debido a que la incubación es realizada en el interior de la mina, se considerará como pared sólo la puerta de entrada cuya área es de  $4 \text{ m}^2$ .

El coeficiente de transferencia de calor (k) del material aislante (Aislapol) utilizado en planchas de 10 cm de espesor (L) es de  $0.03 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$ . La temperatura de incubación es  $25^\circ\text{C}$  y la temperatura ambiente es considerada como  $18^\circ\text{C}$ .

Reemplazando los valores citados anteriormente en la ecuación 4.47, se obtiene que el calor perdido por las paredes ( $Q_P$ ) es:

$$Q_P = 8.4 \text{ Kcal/h}$$

### **CALOR RETIRADO POR EL AIRE**

El flujo de recomendado para este tipo de cultivo es de  $200 \text{ m}^3/\text{ton h}$ . Se trabaja con una temperatura promedio de  $25^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del 75%, se busca que esta se mantenga constante durante el tiempo en que se realiza La incubación (dos semanas). La ecuación 4.48 nos permite calcular el calor retirado por el aire. En la Tabla 4.35 se presentan los datos para ser reemplazados en la ecuación 4.48.

Tabla 4.35. Datos para calcular el calor retirado por el aire.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$C_{p_a}$	0.24	Kcal/kg °C
$C_{p_w}$	0.44	Kcal/kg °C
$F_a$	1567	m <sup>3</sup> ./h
$k$	0.03	Kcal/m h °C
$\rho_a$	1.18	Kg/m <sup>3</sup>
$h_{0i}$	0.0132 <sup>10</sup>	Kg agua/kg a.s.

Luego:

$$\frac{Q_a}{\Delta T} = 454.4 \text{ Kcal/h}^\circ\text{C}$$

Sumando los calores perdidos y generados al interior de la mina, se obtiene que a través de la ecuación 4.49 que:

$$\Delta T = 4.2^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, el calor retirado por el aire ( $Q_a$ ) asciende a:

$$Q_a = 1908.5 \text{ Kcal/h}$$

A partir del valor del  $\Delta T$  es posible obtener la temperatura de entrada del aire a la sala de cultivo, que es representada por:

$$T_E = T - \Delta T \quad \text{Ecuación 4.92}$$

$T_E$ : Temperatura del aire de entrada °C

T: Temperatura de incubación °C

$\Delta T$ : Variación de temperatura de la cámara °C

La temperatura de incubación asciende a 25°C y el  $\Delta T = 4.2$ , luego:

$T_E := 20.8^\circ\text{C}$

#### **4.2.7 BALANCE DE MASA PARA LA FRUCTIFICACIÓN.**

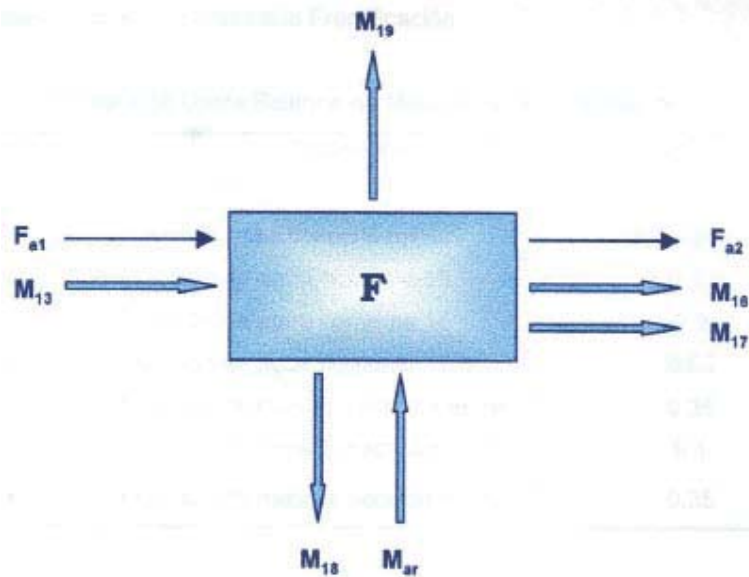
Una vez que el sustrato está incubado se procede a cambiar las condiciones de cultivo (luz, temperatura y humedad relativa), para inducir la formación de los cuerpos fructíferos.

Al cabo de seis semanas se obtienen 4600 kg. de champiñones frescos y el sustrato agotado corresponde a un 30% de la materia prima que ingresa a la etapa de esterilización ( $M_6$ ), conservando una humedad de un 65%.<sup>1</sup>

El porcentaje de humedad de los champiñones cosechados es de un 90%.<sup>6</sup>

En la Figura 4.18 se puede apreciar cada una de las corrientes que forman parte de la Fructificación.

Figura 4.18. Etapa 6.Fructificación.



Donde:

$M_{13}$ : Sustrato incubado

$M_{16}$ : Champiñones cosechados

$M_{17}$ : Sustrato agotado

$M_{18}$ : Déficit de agua

$M_{19}$ : Materia seca perdida

- **Balance Global**

$$M_{16} + M_{17} + M_{18} + M_{19} = M_{13}$$

116 Ecuación 4.93

- Balance de Agua:

$$x_{a,13} \cdot M_{13} = x_{a,16} \cdot M_{16} + x_{a,17} \cdot M_{17} + M_{18}$$

Ecuación 4.94

- Balance Sustrato agotado:



$$M_{17} = 0.3 \cdot M_6$$

**Ecuación 4.95**

En la Tabla 4.36 se presentan los datos de los que se dispone, para la resolución de los balances de masa correspondientes a la Fructificación.

Tabla 4.36 Datos Balance de Masa para la Fructificación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad</b>
$M_{13}$	Sustrato incubado	39443 kg/lote
$M_{16}$	Champiñones cosechados	4600 kg/lote
$x_{a,13}$	Fracción de agua corriente 13	0.65
$x_{a,16}$	Fracción de agua corriente 16	0.9
$x_{a,17}$	Fracción de agua corriente 17	0.65
$x_{s,13}$	Fracción de materia seca corriente 13	0.35
$x_{s,16}$	Fracción de materia seca corriente 16	0.1
$x_{s,17}$	Fracción de materia seca corriente 17	0.35

En la Tabla 4.37 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la etapa de fructificación.

Tabla 4.37. Resultados Balance de Masa para la Fructificación.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Cantidad (kg/lote)</b>
$M_{13}$	Sustrato incubado	39443
$M_{16}$	Champiñones cosechados	4600
$M_{17}$	Sustrato agotado	15165
$M_{18}$	Déficit de agua	11640
$M_{19}$	Materia seca perdida	8038

#### **4.2.8 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA FRUCTIFICACIÓN.**

Al igual que la incubación la fructificación se realiza en el interior de la mina, en esta etapa las condiciones de cultivo son modificadas para inducir la formación de los cuerpos fructíferos. Durante este período la temperatura se mantiene en 10°C y la humedad relativa en un 85%. El flujo de aire debe ser de 250 m<sup>3</sup>/ ton h y es necesario tener iluminación por al menos ocho horas diarias. La masa de compost a tratar es la que se obtiene luego que el micelio ha colonizado el sustrato, proceso que se produce durante la incubación y que corresponde a:

$$M = 6266 \text{ Kg.}$$

Las ecuaciones que permiten el desarrollo del balance de energía de esta etapa se muestran en la sección 4.1.12.

#### **CALOR METABÓLICO GENERADO**

El calor metabólico generado se calcula de igual forma que para la etapa de incubación, a través de la ecuación 4.91, donde:

$$M = 6266 \text{ Kg compost}$$

$$q_M = 0.26 \text{ Kcal/h kg}$$

Luego, el calor metabólico generado corresponde a:

$$Q_M = 1626.2 \text{ Kcal/h}$$

#### **CALOR GENERADO POR LAS LUCES**

Las luces generan 0.86 Kcal/W h. Se recomienda que la iluminación no sea inferior a 9.5 W/m<sup>2</sup> por lo que para iluminar una superficie como el área del suelo de la mina (80 m<sup>2</sup>) se requieren:

$$Q_L = 653.6 \text{ Kcal/h}$$

### **CALOR PERDIDO POR PAREDES**

El calor perdido por las paredes es calculado de igual forma que para la etapa de incubación, medio de la ecuación 4.47, variando la temperatura (T) que para la fructificación es de 10°C, por lo que se obtiene que:

### **CALOR RETIRADO POR EL AIRE**

El flujo recomendado para este tipo de cultivo es de 250 m<sup>3</sup>/ton h. Se trabaja con una temperatura promedio de 10°C y una humedad relativa del 85%, se busca que esta se mantenga constante durante el tiempo en que se realiza la fructificación. A través de la ecuación 4.48 y los datos de la Tabla 4.38 es posible determinar el calor retirado por el aire.

Tabla 4.38. Datos para calcular el calor retirado por el aire.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
C <sub>pa</sub>	0.24	Kcal/kg °C
C <sub>pw</sub>	0.44	Kcal/kg °C
F <sub>a</sub>	1566	m <sup>3</sup> ./h
k	0.03	Kcal/m h °C
ρ <sub>a</sub>	1.18	Kg/m <sup>3</sup>
h <sub>ci</sub>	0.009 <sup>10</sup>	Kg agua/kg a.s.

Luego:

$$\frac{Q_a}{\Delta T} = 451 \text{ Kcal/h}^\circ\text{C}$$

Sumando los calores perdidos y generados al interior de la mina, se obtiene a través de la ecuación 4.55 que:

$$\Delta T = 5.07^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, el calor retirado por el aire asciende a:

$$Q_a = 2289.4 \text{ Kcal/h}$$

A partir del valor del  $\Delta T$  es posible obtener la temperatura de entrada del aire a la sala de cultivo durante la fructificación, que es representada por:

$$T_E = T - \Delta T$$

**Ecuación 4.96**

Donde:

$T_E$ : Temperatura del aire de entrada  $^\circ\text{C}$

$T$ : Temperatura de fructificación  $^\circ\text{C}$

$\Delta T$ : Variación de temperatura de la cámara  $^\circ\text{C}$

La temperatura de fructificación es de  $10^\circ\text{C}$  y el  $\Delta T$  corresponde a  $5.07^\circ\text{C}$ , luego:

$$T_E = 4.53^\circ\text{C}$$

## 4.2.9 DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA DURANTE EL CULTIVO.

Para estimar la cantidad de agua que es necesario agregar para mantener las condiciones humedad, tanto en la etapa de incubación como de fructificación, se utilizará la ecuación 4.97, donde el agua de riego, corresponde a la retirada por el aire más el agua retirada por champiñones desde el compost.

$$M_{ar} = M_{ae} + M_{ac} \quad \text{Ecuación 4.97}$$

Donde:

$M_{ar}$ : Masa de agua de riego

$M_{ae}$ : Masa de agua retirada por el aire

$M_{ac}$ : Masa de agua retirada por los champiñones desde el compost.

En cuanto al agua perdida desde el compost por los champiñones, ésta es obtenida a través balance de masa realizado en la sección 4.2.5 y 4.2.7; para el cálculo se consideró que el 70% del agua perdida se produce de la primera a la quinta semana, en fracciones iguales, y 30% restante de la sexta a la octava semana.

La ecuación que permite determinar la cantidad de agua retirada por el aire es:

$$M_{ae} = F_a \cdot (h_F - h_I) \quad \text{Ecuación 4.98}$$

Donde:

$F_a$ : Flujo de aire      Kg a.s/h

$h_F$ : Humedad del aire de salida      Kg agua/kg a.s

$h_i$ : Humedad del aire entrada Kg agua/kg a.s

Es importante aclarar que la masa de sustrato utilizada para realizar los cálculos no responde a la masa total por lote, sino a la obtenida a partir del número de bolsas que es posible instalar por mina, lo que está detallado en la sección 5.1.6.

### **DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA PARA LA INCUBACIÓN**

El balance para determinar el agua de riego requerida durante el periodo en que se extiende la incubación, el cual corresponde a 2 semanas, es realizado diariamente. Para éste, se dispone de los resultados obtenidos en el balance de masa, realizados en la sección 4.2.5.

La masa de sustrato (M) a tratar por mina es de 7384 kg, la que disminuye a 6266 kg, a lo largo de los 14 días en que se extiende la incubación. En cuanto, al agua retirada desde el compost por los champiñones ésta corresponde a 226.3 Kg/día (valor obtenido a partir del balance de masa). Finalmente, para calcular el agua evaporada por el aire se utiliza la ecuación 4.98, y los datos utilizados en la sección 4.2.6. En la Tabla 4.39, aparece el resumen de los resultados para la determinación del agua de riego durante la incubación.

Tabla 4.39 Determinación del agua de Riego para la etapa de Incubación.

Día	M	M <sub>ac</sub>	M <sub>ae</sub>	M <sub>ar</sub>
1	7384	226.3	73,9	300.2
2	7298	226.3	73,0	299.3
3	7212	226.3	72,2	298.5
4	7126	226.3	71,3	297.6
5	7040	226.3	70,4	296.7
6	6954	226.3	69,6	295.9
7	6868	226.3	68,7	295.0
8	6782	226.3	67,9	294.2
9	6696	226.3	67,0	293.3
10	6610	226.3	66,1	292.4
11	6524	226.3	65,3	291.6
12	6438	226.3	64,4	290.7
13	6352	226.3	63,6	289.9
14	6266	226.3	62,7	289.0
<b>Total</b>				<b>4124.3</b>

Luego, la masa total de agua de riego para la etapa de incubación asciende a 4124.3 Kg.

### **DETERMINACIÓN DEL AGUA DE RIEGO REQUERIDA PARA LA FRUCTIFICACIÓN**

El balance para determinar el agua de riego requerida durante el periodo en que se extiende fructificación, el cual corresponde a 6 semanas, es realizado diariamente. Para éste, se dispone de los resultados obtenidos en el balance de masa, realizados en la sección 4.2.7.

La masa de compost (M) a tratar por mina es de 6180 kg, la que disminuye a 2423 kg, a lo largo de los 42 días en que se extiende la fructificación, El agua evaporada por el aire es calculada a través de la ecuación 4.98, y los datos utilizados en la sección 4.2.8. En la Tabla 4.40, aparece el resumen de los resultados para la determinación del agua de riego durante la fructificación.

Tabla 4.40.Determinación agua de Riego requerida durante la fructificación.

Día	M	M <sub>sc</sub>	M <sub>se</sub>	M <sub>ar</sub>
15	6180	226.3	61,8	288,1
16	6094	226.3	50,0	276,3
17	6008	226.3	49,3	275,6
18	5922	226.3	48,7	275,0
19	5836	226.3	48,0	274,3
20	5750	226.3	47,3	273,6
21	5664	226.3	46,6	272,9
22	5578	226.3	45,9	272,2
23	5492	226.3	45,2	271,5
24	5406	226.3	44,5	270,8
25	5320	226.3	43,8	270,1
26	5234	226.3	43,1	269,4
27	5148	226.3	42,4	268,7
28	5062	226.3	41,7	268,0
29	4976	226.3	41,0	267,3
30	4890	226.3	40,3	266,6
31	4804	226.3	39,6	265,9
32	4718	226.3	38,9	265,2
33	4632	226.3	38,2	264,5
34	4546	226.3	37,5	263,8
35	4460	226.3	36,8	263,1
36	4363	226.3	36,1	262,4
37	4266	174.6	35,3	209,9
38	4169	174.6	34,5	209,1
39	4072	174.6	33,8	208,4
40	3975	174.6	33,0	207,6
41	3878	174.6	32,2	206,8
42	3781	174.6	31,4	206,0
43	3684	174.6	30,6	205,2
44	3587	174.6	29,8	204,4
45	3490	174.6	29,0	203,6
46	3393	174.6	28,3	202,9
47	3296	174.6	27,5	202,1
48	3199	174.6	26,7	201,3
49	3102	174.6	25,9	200,5
50	3005	174.6	25,1	199,7
51	2908	174.6	24,3	198,9
52	2811	174.6	23,6	198,2
53	2714	174.6	22,8	197,4
54	2617	174.6	22,0	196,6
55	2520	174.6	21,2	195,8
56	2423	174.6	20,4	195,0
<b>Total</b>				<b>9994.7</b>

Luego, la masa total de agua de riego para la etapa de fructificación asciende a 9994.7 Kg. Finalmente se obtiene que la cantidad de agua total que se necesita para la etapa de cultivo Shiitake, que comprende tanto la incubación como la fructificación, por mina es de:



$M_{ar\ total} = 14119\ Kg/mina$

### 4.3 BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 4

1. Tautorus, T. 1985. Mushrooms Fermentation. In: a.R.Liss, Inc. **Advances in Biotechnological Processes**, Vol.5 pp. 227-273, New York,
2. Ibid, p.236.
3. Ibid, p. 253.
4. Royse, D.,J. 1997. **Cultivation of Shiitake on Natural and Synthetic Logs**. 10 pp. College of Sciences Cooperative Extension The Pennsylvania State University.
5. Ibid, p.7
6. Zadrazil, F. and K. Grabbe. 1983. Edible Mushrooms. In: H.Dellweg. **Biotechnology** Vol 3. pp.146-187. Florida.
7. Ibid, p. 157.
8. Ibid, p. 174.
9. Vedder, F. 1982. **Cultivo moderno del Champiñón**. Ed. MundiPrensa, España. pp.289-343.
10. Carta Psicométrica.
11. Gray,W. 1970. **The use Fungi as Food and in Food Processing**. pp-225-327. Illinois.
12. Ibid; p.245.
13. Potter, N. 1978. **Food Science**. Tercera edición. Ed. Avi. Pub. pp.216-221.

14. Bruce, E. et.al. 1987. **Desing, Modeling and Operation of Solid Sustrate Fementation.** II Simposio Latinoamericano Biotecnología para la producción de biomasa y tratamiento de desperdicios. Antigua. Guatemala. pp.89-107.
15. Narahara H. et. al. 1984. **Control of Water Content in Solid-State Culture of Aspergillus Orizae.** Journal of Fermentation Technology. Vol. 62. pp.453-459.
16. Aislación. Catálogo. Aislantes Nacionales S.A.
17. Jones, K.. Amos A. 1976. **Química Moderna de los cereales.** Ed. Aguilar. P115.
18. Treybal, R. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda edición. Mc Graw Hill. pp. 260-261.
19. Smith, J. M.,Van Ness,H.C.1992. **Introducción a la Termodinámica en la Ingeniería Química.** México: McGraw-Hill.pp.664.
20. Kern, D.1995. **Procesos de Transferencia de Calor.** 1ªEd. México:Mc Graw-Hill.pp.927.
21. Severn.1975. **Procesos de Conversión de Energía.** Ed. Reverte. Quinta edición p.99.
22. Dossat, R. 1978. **Principles of Refrigeration.** 2<sup>nd</sup> Ed. USA:John Wiley&Sons, Inc. pp.192.

# CAPÍTULO 5 DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

## 5.1 DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN OSTRAS.

### 5.1.1 DISEÑO DE LAS PILAS DE COMPOSTACIÓN.

El objetivo de esta etapa es realizar el dimensionamiento de las pilas de compostación, para lograr el óptimo desarrollo del proceso fermentativo.

En el dimensionamiento de las pilas de compostación se tiene dos aspectos de principal importancia, uno de ellos es la transferencia de calor desde el interior de la pila de fermentación y el otro es la transferencia de oxígeno desde el aire circundante hacia el interior de la pila.

La pila de fermentación debe tener un tamaño tal que permita la pérdida de sólo una parte del calor metabólico, de manera que se produzca el alza de temperatura y la fermentación termofílica, y además, posibilitar la suficiente transferencia de oxígeno hacia el interior, condición para el carácter aeróbico del proceso<sup>17</sup>.

El dimensionamiento de las pilas se basa en un análisis matemático de ambos procesos de transferencia, para el cual se hacen las siguientes suposiciones:

- Uniformidad del sustrato.
- Ocurren sólo reacciones de oxidación biológica y crecimiento microbiano durante el proceso.
- Las reacciones de crecimiento microbiano requieren la energía proveniente de las reacciones de oxidación.
- La velocidad de transferencia de oxígeno es el paso limitante para la oxidación biológica.

El análisis considera el estado estacionario, sin tener en cuenta la etapa inicial del proceso, en que el oxígeno no es limitante, con lo que la última suposición es válida.

La velocidad de consumo de oxígeno está modelada por una cinética de tipo Michaelis Menten <sup>24</sup>.

$$r_c = \frac{\mu_m \cdot C}{(k_t + C) \cdot Y_o}$$

**Ecuación 5.1**

Donde:

$\mu_m$ : velocidad específica máxima de crecimiento.

C: concentración de oxígeno.

$k_t$ : constante de Monod para oxígeno.

$Y_o$ : rendimiento de oxígeno.

Esta velocidad se asume igual a la velocidad de transferencia en la interfase sólido-gas <sup>25</sup>:

$$r_c = k_g \cdot a \cdot (C^* - C_L)$$

**Ecuación 5.2**

Donde:

$k_g$ : coeficiente de transferencia de oxígeno.

a: área interfacial.

C: concentración de oxígeno en la fase gas.

$C_L$ : concentración de oxígeno en la superficie del sustrato.

Se supone válido que:  $C^* \gg C_L$

El coeficiente de transferencia de oxígeno  $k_a$  tiene una dependencia de la temperatura gobernada por la ecuación de Arrhenius, luego:

$$r_c = A \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \cdot a \cdot C^*$$

**Ecuación 5.3**

Donde:

A: constante de Arrhenius.

$E_a$ : energía de activación.

R: constante de los gases.

T: temperatura.

Por último, la difusión de oxígeno al interior de la pila, que sería el mecanismo limitante, es modelada por la Ley de Fick <sup>26</sup>:

$$r_c = D \cdot \nabla^2 \cdot C^* - \frac{\partial C^*}{\partial t}$$

**Ecuación 5.4**

Donde:

D: difusividad de oxígeno.

$\Delta$ : operador de segundo orden.

t: tiempo.

Por su parte la transferencia de calor se asume gobernada por la Ley de Fourier<sup>26</sup>:

$$H_r \cdot r_s = \rho \cdot C_v \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - k \cdot \nabla^2 T$$

**Ecuación 5.5**

Donde:

$H_r$ : calor de reacción del sustrato.

$r_s$ : velocidad de consumo de sustrato.

$\rho$ : densidad del sustrato.

$C_v$ : capacidad calorífica del sustrato.

$k$ : difusividad térmica.

$T$ : temperatura.

Finalmente para estado estacionario, en que se cumple:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

**Ecuación 5.6**

y considerando sólo la solución para la dimensión en sentido horizontal y utilizando coordenadas adimensionales, se tiene las siguientes ecuaciones que describen el perfil de temperatura y concentración de oxígeno respecto de la posición<sup>27</sup>:

$$\frac{d^2 T}{dy^2} = -Q \cdot C \cdot \exp\left(\frac{-B}{T}\right)$$

**Ecuación 5.7**

Donde:

$B = E_p/R$

$P = a \cdot A \cdot L^2/D$

$Q = \frac{a \cdot A \cdot H_r \cdot C^*_o \cdot L^2}{k \cdot (T_m - T_o) \cdot Y}$

$T = T/(T_m - T_o)$

$C = C^*/C^*_o$

$y = y/L$

**Ecuación 5.8**

$$\frac{d^2C}{dy^2} = P \cdot C \cdot \exp\left(\frac{-B}{T}\right)$$

$T_m - T_o$ : es la máxima diferencia de la temperatura interna y externa.

$C^*_o$ : concentración de oxígeno en la atmósfera.

$L$ : espesor desde el centro a la superficie.

$Y$ : rendimiento oxígeno consumido/sustrato consumido.

Para la solución de estas ecuaciones se utilizó las siguientes condiciones de contorno:

$$y' = 0: \quad dT'/dy' = 0 \quad dC'/dy' = 0 \quad T' = T'_o$$

$$y' = 1: \quad C' = 1$$

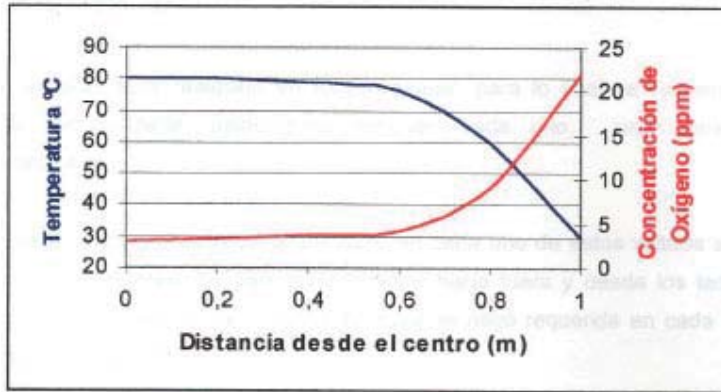
Los perfiles de temperatura y concentración de oxígeno resultantes de este modelo, para una pila de 7 pies (2.3 m) de ancho son presentados en la Figura 5.1.

La altura de la pila para los cuales se presentan buenos valores de velocidad y alto grado de uniformidad varía en el rango de 1.5 a 2.4 metros<sup>28</sup>, disminuyendo para valores más altos.

Por otro lado, la velocidad de consumo de sustrato presenta una pequeña variación para el rango de 385 a 450 Kg/m<sup>3</sup>.<sup>29</sup>

En base al análisis presentado se considera adecuado el tamaño de la pila propuesto en bibliografía, de 2 metros a ancho por 1.8 de alto, con una densidad para este caso de 450 kg/m<sup>3</sup>.<sup>29</sup>

Figura 5.1 Perfiles de temperatura y concentración de oxígeno en la pila de compost.



### 5.1.2 DISEÑO DE LA CANCHA DE COMPOSTACIÓN.

Los 24667 kg. de materia prima a compostar corresponden a 55 m<sup>3</sup>, los que ordenados en pilas de 2 metros de ancho por 1.8 metros de altura, darían un largo total de 15.5 m. de pila.

Formando una pila con las dimensiones ya citadas, se tiene que la superficie cubierta por la pila es de: 31 m<sup>2</sup>, dejando un pasillo externo de 2.5 metros, el área total será de 143.5 m<sup>2</sup>.

Luego, las dimensiones para la cancha de compostación son:

Ancho: 7 m.

Largo: 21 m

Con lo que la superficie será de 147 m<sup>2</sup>.

Es recomendable que la cancha de compostación posea un piso asfaltado, para así evitar el escurrido de nutrientes y poder efectuar las tareas de removido con mayor facilidad; esto también permite la limpieza y desinfección de la superficie después de cada



preparación de compost. El lugar debe estar techado, de manera que la tasa de humedad y temperatura del compost no resulten influidas por el sol o la lluvia.

### **5.1.3 VOLTEO DE LAS PILAS.**

El volteo de las pilas será realizado en forma manual, para lo cual se requerirá de 15 operarios los que utilizarán palas para remover, cada uno, una superficie de aproximadamente 4 m<sup>2</sup>.

El volteo de las pilas es realizado cada dos días, en cada uno de éstos volteos se pondrá cuidado en mover el sustrato del centro del montón hacia fuera y desde los lados hacia dentro<sup>30</sup>, además de suministrar la cantidad de agua de riego requerida en cada volteo, la que es calculada en la sección 4.1.3

### **5.1.4 DISEÑO DE LA CÁMARA DE PASTEURIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL COMPOST.**

La cámara de pasteurización y acondicionamiento del compost debe cumplir con las condiciones necesarias para tratar el volumen de materia prima que es preparada en la etapa de compostación y cuya finalidad es disminuir la carga microbiana de ésta y obtener un sustrato selectivo para el crecimiento de la especie seleccionada (*Pleurotus ostreatus*).

La altura recomendada del lecho del compost dentro de la cámara es de 2 metros<sup>28</sup>. El ancho de la cámara es de 3 metros, por lo que el largo del lecho será:

$$L = \frac{M}{\rho \cdot h \cdot a}$$

**Ecuación 5.9**

Donde:

L: largo del lecho.

M: masa de compost a tratar (17267 kg).

$\rho$ : densidad del compost ( $450 \text{ kg/m}^3$ ).

h: altura del lecho (2 m.)

a: ancho del lecho (4 m.)

Reemplazando en la ecuación 5.9, se obtiene que el largo es de:

$L = 6.4 \text{ m.}$

Por lo tanto, las dimensiones de la cámara de pasteurización y acondicionamiento son:

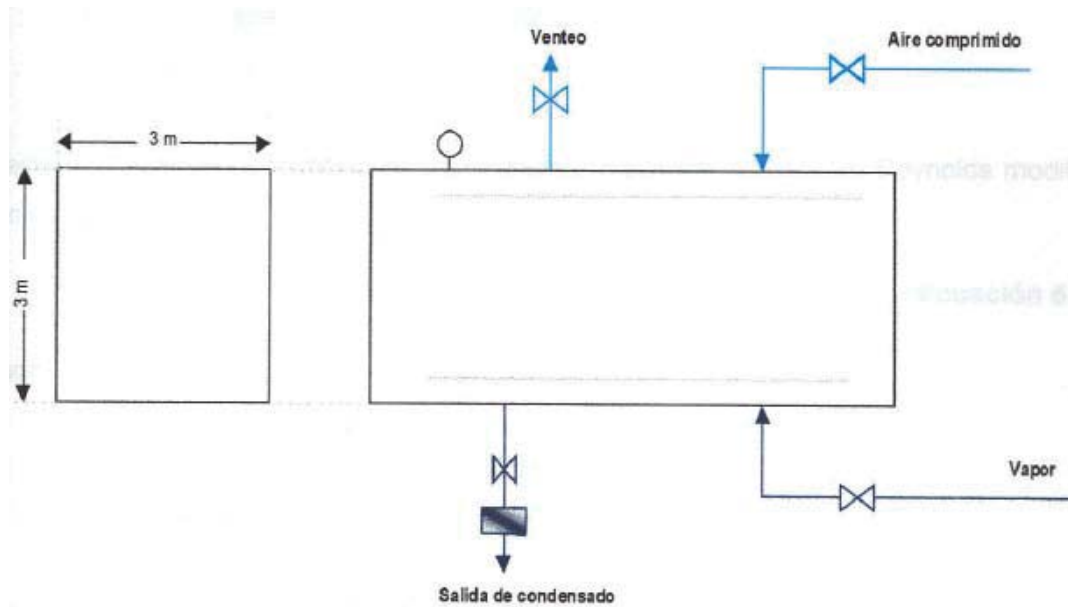
Largo = 7 m

Alto = 3m.

Ancho = 3 m.

En la Figura 5.2 se puede apreciar en forma esquemática las características de la cámara de pasteurización.

Figura 5.2 Esquema de la Cámara de Pasteurización.



### CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DEL COMPOST

La caída de presión a través del lecho de compost se puede evaluar por medio de la correlación de Leva<sup>32</sup> para fluidos en lechos sólidos.

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \tau \cdot G^2 \cdot L \cdot (1 - \varepsilon)^{(3-n)}}{D_p \cdot \rho \cdot \theta^{(3-n)} \cdot \varepsilon^3}$$

**Ecuación 5.10**

Donde:

$\Delta P$ : Caída de presión Pa

$\tau$ : Factor de fricción

$G$ : Velocidad superficial del aire  $\text{Kg/m}^2\text{s}$

$L$ : Profundidad del lecho m

$\varepsilon$ : Fracción de volumen libre

$n$ : Exponente adimensional

$D_p$ : Diámetro de la partícula m

$\rho$ : Densidad del aire  $\text{Kg/m}^3$

$\theta$ : Factor de forma

El factor de fricción y el exponente dependen del valor del número de Reynolds modificado definido como:

$$NRe' = \frac{D_p \cdot G}{\mu}$$

**Ecuación 5.11**

Para un flujo de aire de 200  $\text{m}^3/\text{ton h}$ , una masa de compost de 17267 Kg, un área transversal de 21  $\text{m}^2$  y una densidad del aire de 1.073  $\text{Kg/m}^3$ , se tiene una velocidad superficial de:

$$G = 4.9 \cdot 10^{-2} \text{Kg/m}^2\text{s}$$

Dado un  $D_p = 0.01$  m y una viscosidad de  $1.8 \cdot 10^{-5}$   $\text{Kg/ms}$ :

$$NRe' = 27.2$$

Con el Reynold modificado se obtiene de la Figura 5.69 de Perry<sup>32</sup> los valores de:

$$\tau = 5$$

$$n = 1.3$$

En la Tabla 5.1 se presentan los datos para calcular la caída de presión del lecho de compost, la que se encuentra representada en la ecuación 5.10.

Tabla 5.1 Datos para el cálculo de la caída de presión del lecho.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$\tau$	5	
L	7	m
$\rho$	1.073	Kg/m <sup>3</sup>
$\theta$	0.69	
n	1.3	
Dp	0.01	m
G	4.9 310 <sup>-2</sup>	Kg/ms <sup>2</sup>

Para una fracción de hueco  $\varepsilon = 0.4$ , la caída de presión resulta:

$$\Delta P = 0.193 \text{ kPa}$$

Para una fracción de hueco pequeña, suponiendo problemas de humedad u otros, el valor de AP aumentará, como se aprecia en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Cálculo de la caída de presión v/s fracción de hueco.

$\varepsilon$	$\Delta P$ (Kpa)
0.3	0.592
0.2	2.517
0.1	24.6

Para efectos de diseño de los ventiladores se considerará un factor de sobredimensionamiento alto, ya que no se conocen claramente las características del sistema en cuestión.

### **DIMENSIONAMIENTO CAÑERÍA DE VAPOR**

El flujo másico máximo a alimentar de vapor corresponde al calculado en la sección 4.2.4 y asciende a 1491 Kg/h. El volumen específico del vapor a las condiciones de entrada (2 atm) es 0.743 m<sup>3</sup>/kg. Luego el flujo volumétrico es 0.308 m<sup>3</sup>/s. Ocupando dos cañerías de entrada de 5 cm (2 pulg tamaño nominal), se obtiene una velocidad del vapor dentro del rango recomendado.

### **CONDUCTO DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE**

Para que exista una distribución uniforme del aire a través de todo el largo del lecho, la diferencia de presión debe ser igual en todos los puntos. Esta diferencia de presión, para un determinado lecho dependerá sólo de la velocidad de flujo de aire G, como se puede ver en la ecuación 5.10, ya que todos los otros valores se mantienen constantes. El número de Reynold modificado, del cual dependen los valores del factor de fricción y el exponente n, también depende de la velocidad del aire. Para mantener constante el valor de ΔP se debe mantener constante G. Por su parte, el flujo de aire va disminuyendo a medida que el aire avanza a través del conducto, por lo que el área del conducto debe ir disminuyendo para que la velocidad sea constante.

La velocidad del aire en el conducto tendrá la siguiente expresión:

$$v = \frac{F \cdot M}{a \cdot h}$$

**Ecuación 5.12**

Donde:

v	: Velocidad del aire	m/s
F	: Flujo de aire	m <sup>3</sup> /ton h
M	: Masa de compost	ton
a	: Ancho del conducto	m
h	: Alto del conducto	m

El conducto se encuentra bajo todo el piso de la cámara, con lo que el ancho del dudo es:

$$a = 3\text{m}$$

Por su parte la masa de compost es:

$$M = \rho \cdot a \cdot H \cdot L \quad \text{Ecuación 5.13}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del compost	ton/m <sup>3</sup>	0.07
$H$ : Altura del lecho	m	0.06
$L$ : Largo del lecho	m	0.05
$a$ : Ancho del lecho	m	0.04

Reemplazando en la ecuación 5.12 y despejando la altura del conducto tendrá la siguiente expresión:

$$h = \frac{F \cdot \rho \cdot H \cdot (L_T - L)}{3600 \cdot v} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

Donde:

$L_T$ : Largo total del lecho	m
$L$ : Largo del lecho medido desde la entrada del conducto	m

Para un valor de  $v$  deseado es posible calcular el valor de  $h$  5.3 se presentan los datos para determinar  $h$

Tabla 5.3 Datos para calcular la altura del ducto.

Símbolo	Valor	Unidades
F	200	m <sup>3</sup> /ton h
H	2	m
L <sub>T</sub>	7	m
ρ	0.45	ton/m <sup>3</sup>

Para un valor de  $v$  y recomendado se obtiene el valor de  $h$  según la posición  $L$ . Por ejemplo, para velocidad  $v= 5$  m/s, se logran los resultados que se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resultados de  $L$  y  $h$  para  $v= 5$  m/s

L (m)	h (m)
0	0.07
1	0.06
2	0.05
3	0.04
4	0.03
5	0.02
6	0.01
7	0.00

Esto muestra la pendiente que debe tener la altura del conducto para esta condición dada.

### **DISEÑO DE FILTROS DE AIRE PARA EL ACONDICIONAMIENTO.**

Los filtros seleccionados para realizar la esterilización del aire corresponden a los de lecho fibroso (fibra de vidrio). El diseño se realiza por el método de Aiba<sup>22</sup>. Se asume un diámetro de partícula de 1  $\mu$ .

- **ÁREA DEL FILTRO DE AIRE.**



El área del filtro de aire está determinado por la expresión:

$$A = \frac{F}{v_s} \quad \text{Ecuación 5.15}$$

Donde:

F: Flujo de aire  $\text{m}^3/\text{s}$

$v_s$ : Velocidad superficial  $\text{m}^3/\text{s}$

El método de Aiba está restringido a condiciones de operación en que la velocidad superficial inferior a la velocidad crítica.

Para un diámetro de fibra de  $19 \mu$  y con el diámetro de partícula ( $d_p$ ) de  $1\mu.$ , se puede determinar la velocidad crítica de la figura 10.4 de Aiba<sup>22</sup>, la que entrega un valor de:

$$v_c = 0.39 \text{ m/s.}$$

Luego, la velocidad superficial a utilizar es de:

$$v_s = 0.35 \text{ m/s}$$

El flujo de aire para esta etapa es de  $200 \text{ m}^3/\text{ton h}$  y la masa a tratar es de  $17267 \text{ kg}$ . Por lo tanto el flujo total es de:

$$F = 0.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

Reemplazando en la ecuación 5.15 se obtiene un área de filtración igual a:

$$A = 2.74 \text{ m}^2$$

Para obtener una distribución uniforme del flujo de aire éste es dividido en 10 partes, obteniendo un área para cada filtro de:

$$A_F = 0.274 \text{ m}^2$$

Por lo que considerando una sección circular se obtiene un diámetro de 0.6 m.

- **LONGITUD DEL FILTRO.**

Para determinar el largo del filtro, se requiere la eficiencia del filtro, la cual se determina a partir de la carga inicial y final de partículas en el aire. Para esto se estimó  $10^4$  partícula/m<sup>3</sup> en el aire de entrada y una eficiencia del filtro de 99.9%. En la determinación de la longitud del filtro es necesario además, conocer los valores de los siguientes números adimensionales<sup>22,23</sup>:

$$NRe = \frac{df \cdot \rho_a \cdot v_s}{\mu_a \cdot (1 - \alpha)}$$

**Ecuación 5.16**

$$Nr = \frac{dp}{df}$$

**Ecuación 5.17**

$$NSc = \frac{\mu_a}{\rho_a \cdot D}$$

**Ecuación 5.18**

En que:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \mu_a \cdot dp}$$

**Ecuación 5.19**

$$NPe = NRe \cdot NSc$$

**Ecuación 5.20**

Donde:

df	Diámetro de la fibra	m
$\rho_a$	Densidad del aire	Kg/m <sup>3</sup>
$\mu_a$	Viscosidad del aire	Kg/m s
$\alpha$	Fracción de volumen	
d <sub>p</sub>	Diámetro de la partícula	m
C	Factor de corrección	
k	constante de Boltzmann	m <sup>2</sup> Kg/s <sup>2</sup> K
T	Temperatura	K
D	Coefficiente de difusividad	m <sup>2</sup> /s

En la Tabla 5.5 se presentan los valores de cada una de las variables involucradas en el cálculo de los números adimensionales, necesarios para ser reemplazados en la ecuación

Tabla 5.5 Datos para el cálculo de números adimensionales.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
df	$1.9 \cdot 10^{-5}$ m
$\rho_a$	1.293 kg/m <sup>3</sup>
$\alpha$	0.033
$\mu_a$	$1.8 \cdot 10^{-5}$ Kg/m s
d <sub>p</sub>	$1 \cdot 10^{-6}$ m
C	1.16
k	$1.38 \cdot 10^{-23}$ m <sup>2</sup> Kg/s <sup>2</sup> K
T	323 K
D	$3.05 \cdot 10^{-11}$ m <sup>2</sup> /s

Por lo tanto, el valor de los números adimensionales es:

$$NRe = 0.494$$

$$Nr = 5.26 \cdot 10^{-2}$$

$$NSc = 4.57 \cdot 10^5$$

$$NPe = 2.26 \cdot 10^5$$

Luego se obtiene que:

$$Nr \cdot NPe^{1/3} \cdot NRe^{1/18} = 3.08$$

**Ecuación 5.21**

Con este valor en la figura 10.5 del Aiba, se puede determinar la eficiencia de colección de una fibra expresada por:

$$n_0 \cdot Nr \cdot NPe = 99.9$$

**Ecuación 5.22**

Donde la eficiencia de colección ( $n_0$ ) de una fibra es:

$$n_0 = 0.0076$$

La eficiencia global de colección ( $n_a$ ) se obtiene de la expresión:

$$n_a = n_0 \cdot (1 + 4.5 \cdot \alpha)$$

**Ecuación 5.23**

Luego la eficiencia global de colección es:

$$n_a = 0.0088$$

La carga total por operación corresponde al producto del flujo de aire por la carga de microorganismos en el aire y por el tiempo de operación.

El flujo de aire es:

$$F = 0.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

La carga de microorganismo se estimó en:

$$N' = 10^4 \text{ partículas/m}^3$$

Y el tiempo de operación es de:

$$t = 144 \text{ horas}$$

Siendo la carga total de microorganismos por operación de:

$$N_0 = 4.97 * 10^9 \text{ partículas/operación.}$$

Como criterio de reducción se fija un número de partículas o microorganismos finales de:

$$N = 10^{-3} \text{ part/op}$$

Por medio de la ley de Penetración Logarítmica<sup>23</sup> se determina la longitud del filtro:

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \frac{4 \cdot n_a \cdot \alpha \cdot L}{\pi \cdot df \cdot (1 - \alpha)}$$

**Ecuación 5.24**

Despejando se obtiene:

$$L = \frac{\pi \cdot df \cdot (1 - \alpha)}{4 \cdot n_a \cdot \alpha} \cdot \ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

**Ecuación 5.25**

Por lo tanto el largo del filtro es:

$$L = 1.45 \text{ m.}$$

- **CAÍDA DE PRESIÓN DEL FILTRO.**

La caída de presión del filtro se obtiene a través del coeficiente modificado de arrastre y la figura 10.11 de Aiba<sup>22</sup>. La expresión del coeficiente modificado de arrastre es:

$$C_d = \frac{\pi \cdot df \cdot P}{2 \cdot \rho_a \cdot L \cdot v^2 \cdot \alpha^m}$$

**Ecuación 5.26**

Despejando se obtiene la expresión para determinar la caída de presión:

$$P = \frac{2 \cdot C_d \cdot \rho_a \cdot \alpha^m \cdot v^2 \cdot L}{\pi \cdot d_f} = 18.2 \text{ HP}$$

**Ecuación 5.27**

Donde:

$$v = \frac{v_s}{(1 - \alpha)}$$

**Ecuación 5.28**

m	Exponente empírico	
v	Velocidad del aire	m/s
C <sub>d</sub>	Coefficiente de arrastre	
P	Caída de presión	Pa
ρ <sub>a</sub>	Densidad del aire	Kg/m <sup>3</sup>

El coeficiente de arrastre se obtiene con el número de Reynolds y la figura 10.11 de Aiba. Para NRe= 0.494, se tiene que el coeficiente de arrastre es:

$$C_d = 100$$

Y el exponente empírico (m), para un diámetro de fibra de  $1.9 \cdot 10^{-5}$  m. es:

$$m = 1.35$$

Reemplazando en la expresión de la caída de presión (ecuación 5.27) se obtiene:

$$P = 8.230 \text{ KPa (0.0812 atm)}$$

### SELECCIÓN DE VENTILADORES PARA LA CÁMARA DE PASTEURIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO.

Para seleccionar los ventiladores es necesario conocer la potencia necesaria. La ecuación a utilizar para estimar la potencia<sup>32</sup> es:

$$P_{ot} = \frac{F \cdot P}{229.3 \cdot E}$$

de trigo **Ecuación 5.29**  
de trigo, la que es

El Flujo de aire (F), corresponde al aire total destinado al acondicionador el cual es de 2032 (pie<sup>3</sup> /min). La caída de presión es de 1.2 (lbf/plg<sup>2</sup>) y E es la eficiencia del motor (0.7). Reemplazando estos datos en la ecuación 5.29, se obtiene que la potencia requerida es:

$$P_{ot} = 15.2 \text{ HP.}$$

Por lo que se selecciona un ventilador de 16 HP equivalentes a 11.5 KW.

### **5.1.5 DISEÑO DE LA SALA DE INOCULACIÓN.**

La inoculación del compost previamente acondicionado es realizada en una sala especial destinada para este fin y no en el interior de la mina.

Esta etapa consiste en poner en contacto el inóculo (semilla de trigo colonizada por el micelio) con el compost por medio de una mezcla íntima entre ambos, la que es realizada en forma manual por el personal a cargo de la inoculación, en bandejas especialmente diseñadas para esta operación.

#### **DISEÑO DE LAS BANDEJAS DE INOCULACIÓN**

Las bandejas donde es realizada la inoculación del compost, tienen una capacidad para tratar una masa de 450 Kg. y sus dimensiones son: (ver Figura 5.3)

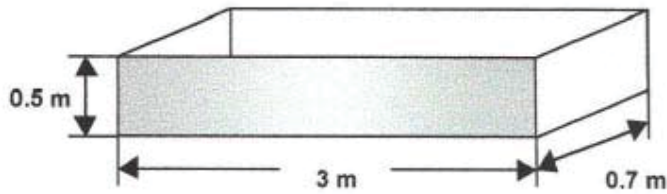
Largo = 3.0 m

Ancho = 0.7 m

Alto = 0.5 m



Figura 5.3 Esquema de bandeja de inoculación.



La masa de compost a tratar es de 12234 Kg y la cantidad de inóculo es de 247 Kg.. Luego la masa total (M) es de 12581 Kg.

El número de bandejas en la sala de inoculación asciende a 10. Por cada bandeja de inoculación trabajan 2 operarios, por lo que el número total asciende a 20 operarios en el interior de la sala, los que además de realizar la mezcla del inóculo con el compost, deben envasar el compost ya inoculado en las bolsas de cultivo, que serán instaladas en las minas.

### **DISEÑO DE BOLSAS DE CULTIVO**

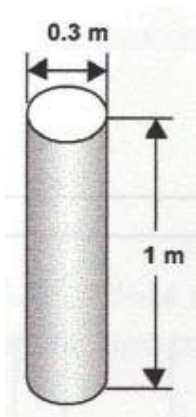
Una vez, que se ha realizado la mezcla del inóculo con el compost acondicionado se procede al llenado de las bolsas de polipropileno para su posterior incubación.

Las dimensiones de las bolsas que serán instaladas en el interior de la minas son: (ver Figura 5.3)

Largo= 1.0 m

Diámetro= 0.3 m

Figura 5.4. Esquema bolsa de cultivo.



Si se considera que la densidad del compost inoculado que es introducido bolsas es de  $450 \text{ Kg/m}^3$  se tiene que la masa (Kg) que puede contener determinarse por medio de la siguiente expresión:

$$M_B = V_B \cdot \rho$$

**Ecuación 5.30**

Donde:

$$V_B = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

**Ecuación 5.31**

Reemplazando los datos en la ecuación 5.31 y 5.30 se obtiene:

$$M_B = 32 \text{ Kg.}$$

Como estas no son llenadas hasta el tope, se estima que la masa contenida en cada bolsa es de 30Kg.

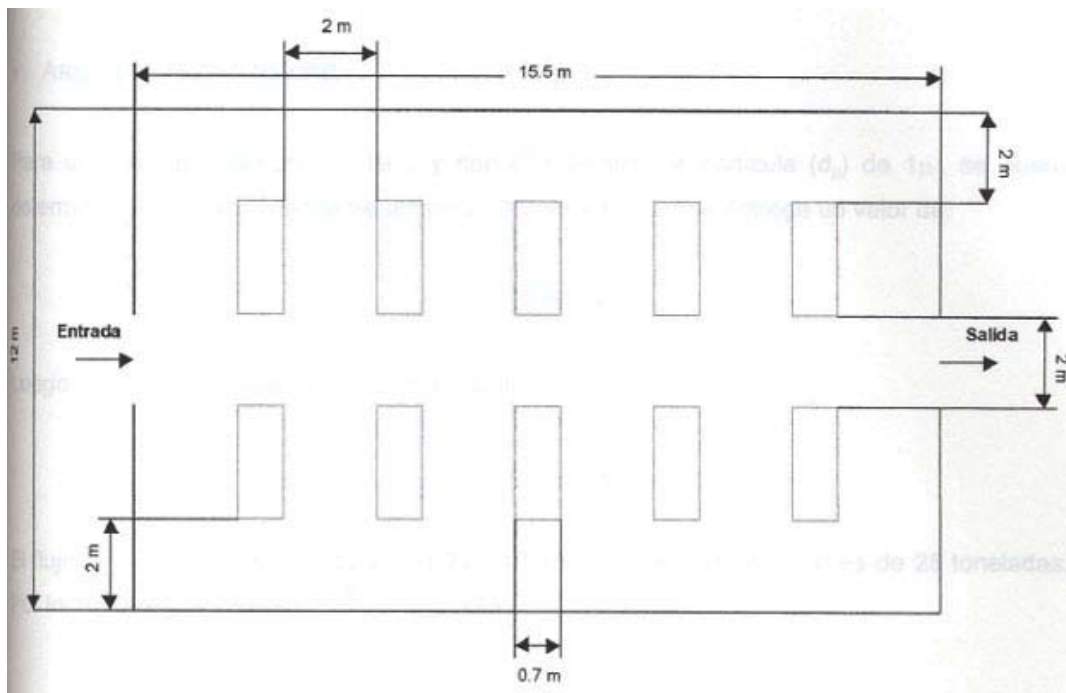
### **DIMENSIONAMIENTO SALA DE INOCULACIÓN**

La sala de inoculación debe permitir el desarrollo en forma espaciada de las actividades que se deben realizar en su interior, las que corresponden a la inoculación del compost y

el envasado de éste ya inoculado en las bolsas de cultivo. Para determinar las dimensiones de a sala, es necesario conocer el área ocupada por cada bandeja, a la cual hay que agregar el espacio de los pasillos, por donde debe transitar el personal.

Cada bandeja, en donde se realiza la inoculación ocupa un área de  $2.1 \text{ m}^2$ , luego el área total ocupada sólo por las bandejas es de  $21 \text{ m}^2$ , la distribución de éstas y las dimensiones de la sala de inoculación se muestran en la Figura 5.5.

Figura 5.5. Dimensionamiento de la Sala de Inoculación.



El ancho de los pasillos para un desempeño óptimo de los operarios es de 2 metros, como es posible observar en la Figura 5.5.

Luego las dimensiones de la Sala de Inoculación son:

Largo = 15.5 m

Ancho= 12 m

Alto = 2.5 m

Por lo tanto, el área ocupada por la sala corresponde a:

$$A = 186 \text{ m}^2$$

### **DISEÑO FILTROS DE AIRE PARA SALA DE INOCULACIÓN.**

Para el diseño de los filtros de aire de la sala de inoculación se utilizó el mismo método presentado en la sección 5.1.4.

- **ÁREA DEL FILTRO DE AIRE.**

Para un diámetro de fibra de  $19 \mu$  y con el diámetro de partícula ( $d_p$ ) de  $1\mu$ , se puede determinar la velocidad crítica de la figura 10.4 de Aiba, la que entrega un valor de:

$$v_c = 0.39 \text{ m/s.}$$

Luego, la velocidad superficial a utilizar es de:

$$v_s = 0.35 \text{ m/s}$$

El flujo de aire para esta etapa es de  $200 \text{ m}^3/\text{ton h}$  y la masa a tratar es de 25 toneladas.

Por lo tanto el flujo total es de:

$$F = 5000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reemplazando en la ecuación 5,15 se obtiene un área de filtración igual a:

$$A = 0.76 \text{ m}^2$$

- **LONGITUD DEL FILTRO.**

Se utilizarán los mismos parámetros y ecuaciones que en la sección 5.1.4, salvo la temperatura de operación que corresponde a 18°C (291 K). Como puede apreciarse en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Datos para el cálculo de números adimensionales.

Símbolo	Valor
df	$1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
$\rho_a$	$1.293 \text{ kg/m}^3$
$\alpha$	0.033
$\mu_a$	$1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m s}$
dp	$10^{-5} \text{ m}$
C	1.16
k	$1.38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}^2 \text{ K}$
T	291 K
D	$2.74 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Por lo tanto, el valor de los números adimensionales es:

$$NRe = 0.494$$

$$Nr = 5.26 \cdot 10^{-2}$$

$$NSc = 4.57 \cdot 10^5$$

$$NPe = 2.26 \cdot 10^5$$

Luego se obtiene que:

$$Nr \cdot NPe^{1/3} \cdot NRe^{1/18} = 3.183$$

Con este valor en la figura 10.5 del Aiba, se puede determinar la eficiencia de colección de una fibra expresada por:

$$n_0 * N_r * N_{Pe} = 99.9$$

Donde la eficiencia de colección ( $n_0$ ) de una fibra es:

$$n_0 = 0.0076$$

Luego la eficiencia global de colección es:

$$n_a = 0.0088$$

La carga total por operación corresponde al producto del flujo de aire por la carga de microorganismos en el aire y por el tiempo de operación.

El flujo de aire es:

$$F = 5000 \text{ m}^3/\text{h}$$

La carga de microorganismo se estimó en:

$$N = 10^4 \text{ partículas/m}^3$$

Y el tiempo de operación es de:

$$t = 24 \text{ horas}$$

Siendo la carga total de microorganismos por operación de:

$N_0 = 1.29 \cdot 10^{10}$  partículas/operación.

Como criterio de reducción se fija un número de partículas o microorganismos finales de:

$N = 10^{-3}$  part/op.

Por medio de la ley de Penetración Logarítmica (ecuación 5.25) se determina la longitud del filtro que corresponde a:

$L = 1.45$  m.

- **CAÍDA DE PRESIÓN.**

Se determinó utilizando el procedimiento de la sección 5.1.4.

Para  $NRe = 0.494$ , se tiene que el coeficiente de arrastre es:

$C_d = 100$

Y el exponente empírico ( $m$ ), para un diámetro de fibra de  $1.9 \cdot 10^{-5}$  m. es:

$m = 1.35$

Reemplazando en la expresión de la caída de presión (ecuación 5.27) se obtiene:

$P = 8.493$  KPa (0.0838 atm)

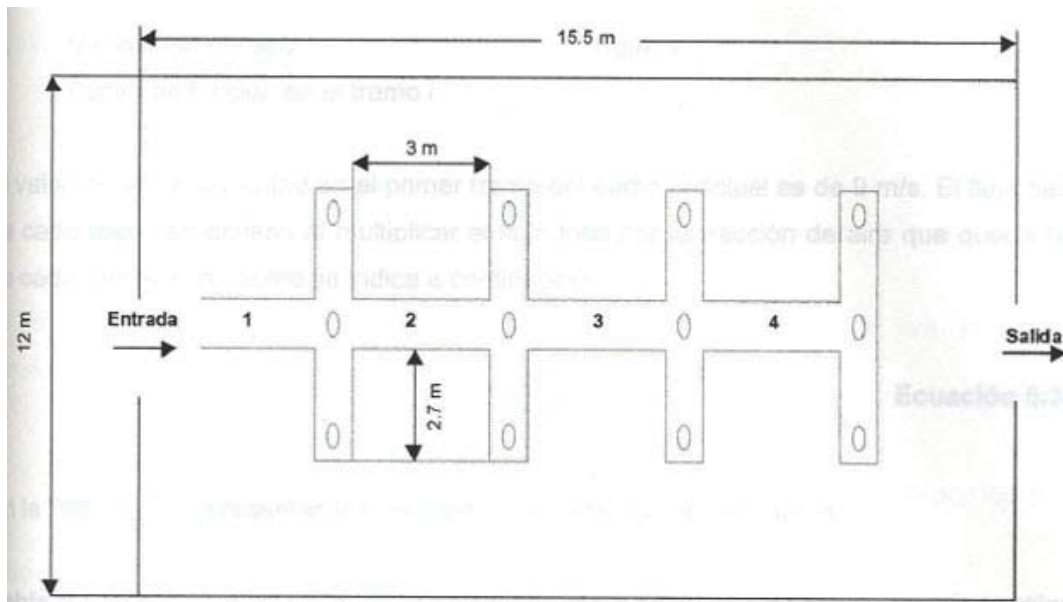
## DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA LA SALA DE INOCULACIÓN.

La aireación de la sala de inoculación se realiza a través de un ducto principal el cual tendrá ocho líneas de salida de aire y cuatro salidas directas del tubo principal, tal como se indica la Figura 5.6. El largo de cada tramo del dudo principal es de 3 metros y el de las ramificaciones de 2.7 m.

Estas se diseñaron en base a que el nivel de ruido en el dudo principal no fuese mayor a 15 mis y en las ramificaciones de a  $11.7 \text{ m/s}^{33}$ . Definiendo finalmente una velocidad de 9 m/s el inicio del dudo principal y de 5 m/s en las ramificaciones.

Los diámetros del dudo principal, se obtienen mediante la aplicación del método de igualación de fricciones. Este se basa en el principio de que la fricción a través del ducto principal debe ser constante quedando así determinado el diámetro del dudo cada vez que ocurre una ramificación.

Figura 5.6. Esquema del Sistema de Ventilación Sala de Inoculación.



Las ecuaciones involucradas en la determinación del diámetro de los ductos son las siguientes:



$$Re_i = \frac{d_i \cdot \rho_a \cdot v_i}{\mu_a}$$

**Ecuación 5.32**

$$v_i = \frac{F_i}{\pi \cdot d_i^2 / 4}$$

**Ecuación 5.33**

$$hf_i = \frac{f_i \cdot L_i \cdot F_i^2}{\pi^2 \cdot g_c \cdot d_i^5}$$

**Ecuación 5.34**

Donde:

$Re_i$	Número de Reynolds	
$F_i$	Flujo de aire por el tramo i	m <sup>3</sup> /h
$hf_i$	Pérdida producida en el ducto de tramo i	Kgf m/Kg
$L_i$	Largo del ducto de tramo i	m
$g_c$	Factor de conversión	Kg m/s <sup>2</sup> Kgf
$d_i$	Diámetro del ducto de tramo i	m
$\rho_a$	Densidad del aire	Kg/m <sup>3</sup>
$\mu_a$	Viscosidad del aire	Kg/m s
$f_i$	Factor de fricción en el tramo i	

El valor inicial de velocidad en el primer tramo del ducto principal es de 9 m/s. El flujo de aire de cada tramo se obtiene al multiplicar el flujo total por la fracción de aire que queda luego de cada ramificación como se indica a continuación:

$$F_2 = F_T \cdot \frac{9}{12}$$

**Ecuación 5.35**

En la Tabla 5.7 se presentan los resultados de cada uno de los tramos.

Tabla 5.7 Resultados de Flujo, velocidad y diámetros de los ductos principales de ventilación de la sala de Inoculación.

Variables		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
Flujo	m <sup>3</sup> /s	2.12	1.59	1.06	0.53
Velocidad	m/s	9.0	8.4	7.5	6.3
Diámetro	m	0.54	0.49	0.42	0.32

El diámetro de las ramificaciones (todas tienen igual diámetro) se obtienen despejando el diámetro de la ecuación 5.33, siendo la velocidad 5 m/s. El Flujo de la línea se despeja de la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{F_T}{N}$$

**Ecuación 5.36**

Donde:

$F_T$	Flujo de aire total	m <sup>3</sup> /s
$F_r$	Flujo de aire que pasa por cada ramificación	m <sup>3</sup> /s
$N$	Número de salidas de aire en la sala	
$d_r$	Diámetro de la ramificación	m

El flujo de aire total corresponde a 1.39 m<sup>3</sup>/s y el número de salidas de aire en la sala es de 12, a partir de estos datos es posible determinar el flujo de aire y diámetro de cada ramificación.

Obteniendo:

$$F_r = 0.115 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d_r = 0.171 \text{ m}$$

• **CALCULO DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR DE LA SALA DE INOCULACIÓN.**

El cálculo de las pérdidas por el ducto principal y líneas de entrega de aire, se obtiene a través de la siguiente expresión<sup>33</sup>:

$$F_i = \frac{2 \cdot f_i \cdot L_i \cdot Fa_i^2}{D_i^3 \cdot \pi^2 \cdot g_c}$$

**Ecuación 5.37**

Donde:

$F_i$	Fricción del tramo i del ducto principal	Kgf m/kg
$f_i$	Factor de fanning del tramo i	
$Fa_i$	Flujo de aire que pasa por el tramo i	m <sup>3</sup> /s
$D_i$	Diámetro del ducto de tramo i	m
$g_c$	Factor de conversión	Kg m/Kgf s <sup>2</sup>
$L_i$	Largo del ducto de tramo i	m

para codos se utiliza la misma ecuación sólo que  $L_i$ , corresponde al largo equivalente de un codo de 90°:

$L_c$  Largo de codo equivalente, 10.05 m

Los valores del resto de los datos están entregados en la sección de diseño del sistema de ventilación. En la tabla 5.8 se entregan los valores de las fricciones obtenidas.

Tabla 5.8 Pérdidas de ductos y codos del sistema de ventilación.

	Fricción del ducto	Fricción del codo
Tramo 1	0.105	0.17
Tramo 2	0.105	0.18
Tramo 3	0.105	0.19
Tramo 4	0.105	0.22
Línea de entrega de aire	0.12	

Luego:

$$P_{eri} = F_i \cdot Fa_i \cdot \rho_a \quad \text{Ecuación 5.38}$$

$$P_{erT1} = \sum P_{eri} \quad \text{Ecuación 5.39}$$

Donde:

$P_{erT1}$	Pérdidas totales del ducto principal	Kgf m/s
$P_{eri}$	Pérdidas en tramo i	Kgf m/s
$\rho_a$	Densidad del aire a temperatura ambiente.	Kg/m <sup>3</sup>

Obteniendo para una densidad del aire de 1.18 Kg/m<sup>3</sup>:

$$P_{erT1} = 0.65 \text{ Kgf m/s}$$

Las pérdidas por codo y líneas de aire se obtienen de:

$$P_{erT2} = Fa_L \cdot \rho_a \cdot (F_L \cdot n_L + 2 \cdot \sum Fc_i) \quad \text{Ecuación 5.40}$$

Donde:

$P_{erT2}$	Pérdidas totales de codos y líneas de entrega de aire	Kgf m/s
$n_L$	Número del líneas	
$F_c$	Fricción de codos	Kgf m/Kg
$F_L$	Fricción de líneas de entrega de aire	Kgf m/Kg
$Fa_L$	Flujo de aire en líneas de entrega	m <sup>3</sup> /s

Obteniendo para un número de 8 líneas y un flujo de aire en líneas de 0.115 m<sup>3</sup>/s:

$$P_{erT2} = 0.5 \text{ Kgf m/s}$$

Las pérdidas por contracción- expansión de aire se toman como:

$$P_{erT3} = 1.5 \cdot \rho_a \cdot Fa \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g_c} \quad \text{Ecuación 5.41}$$

Donde:

$P_{erT3}$  Pérdidas por expansión-contracción de aire Kgf m/s

$Fa$  Flujo de aire total utilizado  $\text{m}^3/\text{s}$

$v$  Velocidad de aire promedio m/s

Para un flujo de aire de  $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$  y una velocidad promedio de  $7 \text{ m/s}$  se obtiene:

$$P_{erT3} = 6.15 \text{ Kgf m/s}$$

La pérdida de la caída de presión de los filtros es:

$$P_{erT4} = \frac{\Delta P}{L} \cdot L_f \cdot (8 \cdot Fa_L + \sum Fa_i) \quad \text{Ecuación 5.42}$$

Donde:

$P_{erT4}$  Pérdidas por caída de presión en el filtro Kgf m/s

$L_f$  Largo de cada filtro m

$\Delta P/L$  Caída de presión por longitud de cada filtro  $\text{Kgf/m}^3$

Se obtiene:

$$P_{erT4} = 1565.6 \text{ Kgf m/s}$$

Las pérdidas por cambio de velocidad del aire:

$$P_{erT5} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g_c} \cdot Fa \cdot \rho_a$$

**Ecuación 5.43**

Donde:

$P_{erT5}$	Pérdidas por cambio de velocidad del aire	Kgf m/s
$v_1$	Velocidad del aire de salida del ventilador	m/s
$v_2$	Velocidad de entrada del ventilador	m/s

Para una velocidad de salida de 9 m/s y de entrada de 6 m/s se obtiene:

$$P_{erT5} = 3.78 \text{ Kgf m/s}$$

Luego la potencia requerida por el ventilador viene dada por:

$$Pot = \frac{0.013 \cdot \sum PerTi}{E}$$

**Ecuación 5.44**

Para una eficiencia del ventilador (E) de 0.7 se obtiene:

$$Pot = 29.3 \text{ HP}$$

La potencia del ventilador es de 29.3 HP, equivalentes a 21.8 KW.

Luego se selecciona un ventilador de 22 KW.

### **5.1.6 DISEÑO DE LA SALA DE CULTIVO.**

En este caso, la etapa de cultivo del Champiñón Ostra incluye tanto la fase de incubación como de fructificación, ya que, ambas se llevan a cabo en el interior de las minas. Por tal motivo, el diseño de la sala de cultivo, como tal, está condicionada a las características que las minas poseen y que son detalladas en el Apéndice 1. De la información que allí se presenta, se puede apreciar que todas las minas poseen características diferentes, principalmente en cuanto a sus tamaños. No obstante, del total de minas seleccionadas, aproximadamente el 80% tiene dimensiones relativamente similares. A partir de éstas, se determinó un tamaño de mina promedio que fuese representativo del total y que permitiera tener una noción del área disponible para la realización del cultivo.

Las dimensiones de la sala de cultivo (mina) son:

Largo= 40 m.

Ancho = 2 m.

Alto= 2 m.

Para realizar un óptimo aprovechamiento del área disponible para el cultivo, este es realizado en bolsas de polipropileno cuyas dimensiones son detalladas en la sección 5.1.5.

Estas son colgadas en unos ganchos dispuestos en el techo de la mina. La distancia entre uno y otro gancho es de 0.5 m. Y la distancia entre la pared de la mina y el gancho es de 0.45 m. Las bolsas son ubicadas a ambos costados de la mina dejando un pasillo de 0.8 m (ver Figura 5.7)

La distancia que separa el tope de la bolsa del techo de la mina es de 0.3 m.

El número total de bolsas que es posible instalar en una mina de las dimensiones, anteriormente citada, es:

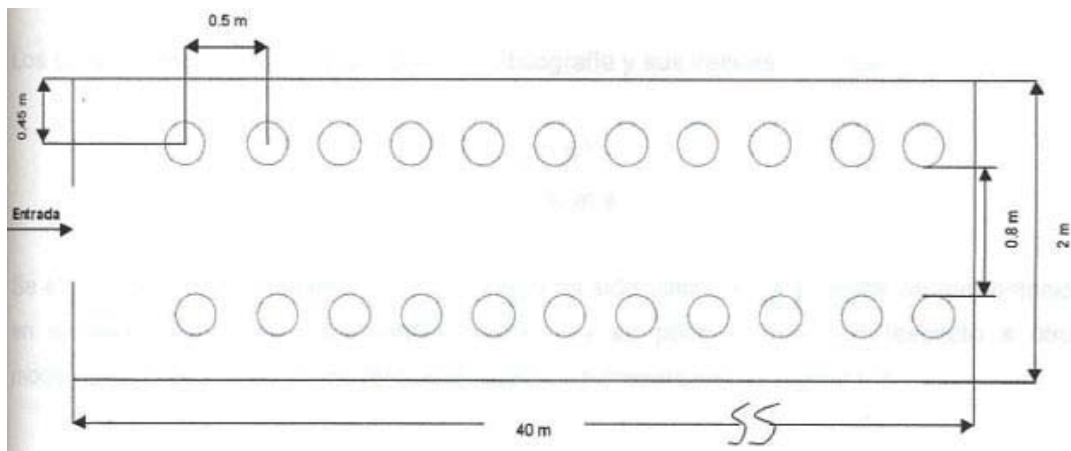
$N_B = 160$  bolsas/mina.

Y teniendo en cuenta además, que cada bolsa contiene una masa igual a 30 Kg. la masa total que es instalada en cada mina corresponde a:

$$M_M = 4800 \text{ Kg/mina.}$$

Por lo que el número de minas que deberían ser implementadas para obtener la producción deseada asciende a tres.

Figura 5.7 Vista superior de la ubicación de las bolsas de cultivo en el interior de las minas.



### ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN

El proceso de incubación termina cuando el micelio inoculado ha invadido el compost, alcanzando el valor de concentración de biomasa necesario para pasar a la etapa de cultivo.

Por ello, el tiempo del proceso se estima por medio de un modelo cinético de crecimiento del micelio. El modelo utilizado es el siguiente<sup>5</sup>:



$$\frac{dx}{dt} = \mu_m \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{x_{max}}\right)$$

Ecuación 5.45

Para:

$$t = 0, x = 0$$

Donde:

$x$  : concentración de biomasa a  $t = t$  (% m.s) (g. de micelio seco/100 g de masa seca).

$\mu_m$  : velocidad específica de crecimiento máxima. (1/h)

$x_{max}$  : concentración máxima de biomasa (% m.s)

$t$  : tiempo (h).

Los parámetros  $\mu_m$  y  $x_{max}$  se obtienen de bibliografía y sus valores son, respectivamente<sup>5,31</sup>:

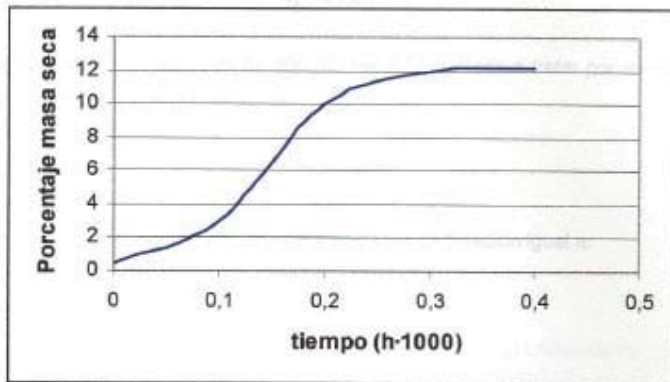
$$\mu_m = 0.03h^{-1}$$

$$x_{max} = 13\% \text{ m.s.}$$

Se eligió este modelo teniendo en cuenta que ha sido utilizado en estudios de fermentación en sustrato sólido con crecimiento micelial<sup>5</sup> y su poca complejidad respecto a otros modelos.<sup>17</sup> La curva de crecimiento del micelio, se presenta en la Figura 5.8.

En la Figura 5.8 se puede ver que el tiempo de incubación es de aproximadamente 300 horas, lo que correspondería a un lapso de 12 - 13 días. Por lo anterior se considera adecuado el tiempo que se entrega en bibliografía de 14 días para este proceso<sup>30</sup>.

Figura 5.8 Cinética de crecimiento del micelio.



### **DISEÑO FILTROS DE AIRE PARA ETAPA DE CULTIVO.**

La etapa de cultivo, que comprende las fases de incubación y fructificación se desarrolla en el interior de la mine, por lo que el cálculo de diseño de los filtros de esterilización de aire son realizados en base a las dimensiones de una mine, que representan las características promedio de las demás que se localizan en el sector, cuyas dimensiones ya han sido detalladas.

Para el diseño de los filtros de aire se utilizó el mismo método presentado en la sección 5.1.4.

- **ÁREA DEL FILTRO DE AIRE.**

Para un diámetro de fibra de  $19 \mu$  y con el diámetro de partícula ( $d_p$ ) de  $1\mu$ , se puede determinar la velocidad crítica de la figura 10.4 de Aiba, la que entrega un valor de:

$$v_c = 0.39 \text{ m/s.}$$

Luego, la velocidad superficial a utilizar es de:

$$v_s = 0.35 \text{ m/s}$$

El flujo de aire para esta etapa es de  $200 \text{ m}^3/\text{ton h}$  y a masa a tratar por mina es de 4.8 toneladas. Por lo tanto el flujo total es de:

$$F = 960 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reemplazando en la ecuación 5.15 se obtiene un área de filtración igual a:

$$A = 0.76 \text{ m}^2$$

- **LONGITUD DEL FILTRO.**

Se utilizarán los mismos parámetros y ecuaciones que en la sección 5.1.4, salvo la temperatura de operación que corresponde a  $22^\circ\text{C}$  (298 K). Como puede apreciarse en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Datos para el cálculo de números adimensionales.

Símbolo	Valor
df	$1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
$\rho_a$	$1.293 \text{ kg/m}^3$
$\alpha$	0.033
$\mu_a$	$1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m s}$
dp	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
C	1.16
k	$1.38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}^2 \text{ K}$
T	293 K
D	$2.76 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Por lo tanto, el valor de los números adimensionales es:

$$NRe = 0.494$$

$$Nr = 5.26 \cdot 10^{-2}$$

$$NSc = 4.573 \cdot 10^5$$

$$NPe = 2.26 \cdot 10^5$$

Luego se obtiene que:

$$Nr \cdot NPe^{1/3} \cdot NRe^{1/18} = 3.183$$

Con este valor en la figura 10.5 del Aiba, se puede determinar la eficiencia de colección de una fibra expresada por:

$$n_0 \cdot Nr \cdot NPe = 99.9$$

Donde la eficiencia de colección ( $n_0$ ) de una fibra es:

$$n_0 = 0.0076$$

Luego la eficiencia global de colección es:

$$n_a = 0.0088$$

La carga total por operación corresponde al producto del flujo de aire por la carga de microorganismos en el aire y por el tiempo de operación.

El flujo de aire es:

$$F = 960 \text{ m}^3/\text{h}$$

La carga de microorganismo se estimó en:

$$N^{\wedge} = 1 \cdot 10^4 \text{ partículas/m}^3$$

Y el tiempo de operación es de:

$$t = 1344 \text{ horas}$$

Siendo la carga total de microorganismos por operación de:

$$N_0 = 1.29 \cdot 10^{10} \text{ partículas/operación.}$$

Como criterio de reducción se fija un número de partículas o microorganismos finales de:

$$N = 1 \cdot 10^{-3} \text{ part/op.}$$

Por medio de la ley de Penetración Logarítmica (ecuación 5.25) se determina la longitud del filtro que corresponde a:

$$L = 1.5 \text{ m.}$$

- **CAÍDA DE PRESIÓN.**

Se determinó utilizando el procedimiento de la sección 5.1.4.

Para  $NRe = 0.494$ , se tiene que el coeficiente de arrastre es:

$$C_d = 100$$

Y el exponente empírico ( $m$ ), para un diámetro de fibra de  $1.93 \cdot 10^{-5}$  m. es:

$$m = 1.35$$

Reemplazando en la expresión de la caída de presión (ecuación 5.27) se obtiene:

$$P = 8.493 \text{ KPa (0.0838 atm)}$$

### **ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA LA SALA DE CULTIVO.**

En el capítulo de Balance de Masa y Energía se determinó las Condiciones de entrada y salida del aire para las distintas etapas del cultivo del Champiñón Ostra (sección 4.1.10 y 4.1.12). En base a los resultados allí obtenidos, es posible seleccionar algún mecanismo para calentar el aire que debe ingresar durante la incubación y enfriarlo durante la fructificación.

Para lograr calentar el aire, resulta bastante práctico, utilizar el sistema que se emplea en los invernaderos, los que disponen de un calefactor a gas y un soplador, donde el flujo de aire pasa a través de un sistema de mangas conectadas a lo largo de toda la sala de cultivo.

- **CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL SOPLADOR**

La potencia es calculada a través de la ecuación 5.46, donde el flujo de aire (F), corresponde al aire total destinado la sala de cultivo (mina) el cual es de 565 (pie<sup>3</sup>/min). La caída de presión es de 1.2 (lbf/plg<sup>2</sup>) y E es la eficiencia del motor (0.7).

$$Pot = \frac{F \cdot P}{229.3 \cdot E}$$

**Ecuación 5.46**

Reemplazando en la ecuación 5.46, se obtiene:

$$P_{ot} = 4.22 \text{ HP.}$$

La potencia requerida por el soplador equivale a 3.15 KW, por lo tanto se selecciona un soplador de 3.7 KW (5 HP).

### **DISEÑO DE BOMBA DE RIEGO.**

El diseño de bombas involucradas en el proceso, esté determinado por la ecuación 5.47, la cual expresa el trabajo que debe proporcionar una bomba, con el objetivo de transportar un fluido desde un punto A hacia un punto B<sup>20</sup>.

$$W_e = B_b - B_a$$

**Ecuación 5.47**

La energía en un punto cualquiera, sobre un plano de referencia, es igual a la suma de la altura de elevación, la altura de presión y la altura de velocidad.

La expresión para Bernoulli en cada punto está dada por<sup>20</sup>:

$$B = \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2g_c} + \frac{zg}{g_c} + h_f$$

**Ecuación 5.48**

Además el factor de pérdidas por fricción puede ser calculado mediante la ecuación de Fanning:

$$h_f = 4 \cdot f \cdot \frac{(L + \sum L_e) \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g_c}$$

**Ecuación 5.49**

De la expresión anterior el factor de fricción (f) se lee de gráficas que correlacionan éste, con el número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad<sup>21</sup>.

Para un sistema de cañerías el número Reynolds queda definido por la ecuación:

$$R_e = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

**Ecuación 5.50**

El largo equivalente se calcula mediante la ecuación:

$$\frac{L_e}{D} = 45 \cdot \sum K$$

**Ecuación 5.51**

El parámetro K es constante para cada tipo de fitting.

El diámetro interno de la cañería se calcula en función del flujo y de las velocidades recomendadas para fluidos en cañerías. Mediante la expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi v}}$$

**Ecuación 5.52**

Luego, debe ser corregido por las normas de cañerías estándar, eligiendo una cañería existente de diámetro similar al calculado. Con este diámetro de cañería se recalcula la



velocidad del fluido por las cañerías y se aplican las demás ecuaciones para calcular el trabajo realizado por la bomba<sup>20,21</sup>.

Los resultados obtenidos mediante estas ecuaciones deben ser multiplicados por el flujo másico del fluido que pasa por la bomba y dividirse por mil, para obtener la potencia de la bomba en KW. Luego, si se supone la eficiencia global del sistema (motor y bomba) en un 70% entonces la potencia requerida por el motor, estará dada por la expresión:

$$P_M = \left( \frac{W_e \cdot F_M \cdot \rho}{746} \right) \frac{1}{0.7} \quad \text{Ecuación 5.53}$$

Un último punto importante a considerar en el diseño, es la relación entre la velocidad de succión y descarga de la bomba. Normalmente se utiliza la relación presentada por la ecuación:

$$v_s = \frac{2}{3} v_d \quad \text{Ecuación 5.54}$$

La selección de la bomba comercial se hace en base a la curva característica de ésta, la que entrega información del caudal bombeado en función de la caída de presión total.

Donde:

$\mu$	Viscosidad	Kg/m s
$\rho$	Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
P	Caida de Presión	KPa
$B_s$	Bernoulli en la succión	Nm/Kg
$B_o$	Bernoulli en la descarga	Nm/kg
D	Diámetro interno de la cañería	M
f	Factor de fricción	Adimensional

$F_v$	Flujo volumétrico	$m^3/h$
$g_c$	Factor de conversión gravitacional	$Kgm/N s^2$
$h_f$	Pérdidas por fricción	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$K$	Nº equivalente de carga de velocidad	6 pieg.
$L$	Largo del camino recorrido por el fluido	m 8.407 pie
$P_M$	Potencia de agitación	W 5.9 pie/s
$Re$	Número de Reynolds	Adimensional
$t$	Tiempo	h
$v_d$	Velocidad de descarga	m/s
$v_s$	Velocidad de succión	m/s
$Z$	Altura de descarga	M los longitud
$W_e$	Trabajo realizado por la bomba.	Nm/kg

- **CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA CAÑERÍA.**

Este se puede calcular con la ecuación 5.52, donde<sup>20</sup>:

$v = 5 \text{ pie/s}$  (velocidad recomendada en la descarga)

El flujo de agua (F) se puede determinar como:

$$F = L * A_c = 62 \text{ GPM}$$

Reemplazando en la ecuación 5.52 se obtiene el diámetro, que corresponde a:

$$D_d = 0.05 \text{ pie.}$$

En la Tabla 5.10 y 5.11 se resumen las características de la cañería succión y descarga.

Tabla 5.10. Características cañería de descarga.

Símbolo	Definición	Valor
$D_N$	Diámetro nominal	5 pulg.
$D_i$	Diámetro interno	5.345 pulg
$V_d$	Velocidad de descarga real	8.4 pie/s

Tabla 5.11. Características cañería de succión.

Símbolo	Definición	Valor
$D_N$	Diámetro nominal	6 pulg.
$D_i$	Diámetro interno	6.407 pulg
$V_d$	Velocidad de descarga real	5.9 pie/s

- **CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR SUCCIÓN Y DESCARGA.**

Para el caso de las pérdidas por succión, con el  $D_N$  se calcula las longitudes equivalentes, a partir de la ecuación 5.51 y que se resume en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Largo equivalente para la succión.

	L (pie)
Cañería recta	10
1 te standard	14
1 codo	3
1 válvula compuerta	6
1 entrada ordinaria	12
<b>Total</b>	<b>45</b>

El número de Reynolds se calcula con la ecuación 5.50, y corresponde a:

$$Re = 2.95 \cdot 10^5$$

Luego el factor de fricción es:

$$f=0.015$$

Reemplazando en la ecuación 5.49 se obtiene que las pérdidas por succión son:

$$hf_s=3.5 \text{ pie lbf/lbm}$$

En cuanto a la descarga, en la Tabla 5.13 se tienen los siguientes largos equivalentes:

Tabla 5.13. Largo equivalente para la descarga.

	L (pie)
1 válvula de compuerta	3
1 válvula check	30
3 codos standard	25
Cañería recta	15
<b>Total</b>	<b>78</b>

Usando el mismo procedimiento anterior se obtiene:

$$Re = 3.1 \cdot 10^5$$

$$f = 0.016$$

$$hf_d = 13 \text{ pie lbf/lbm}$$

Por lo que las pérdidas totales son:

$$hf_T = 16.6 \text{ pie lbf/lbm}$$

- **CÁLCULO DE LA ALTURA DE PRESIÓN.**

La caída de presión viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{P}{\rho} = \frac{11.7(\text{lbf} / \text{pie}^2)}{62.4(\text{lbm} / \text{pie}^3)} = 0.19(\text{pie} \cdot \text{lbf} / \text{lbm})$$

- **CÁLCULO DE LA ALTURA DE VELOCIDAD.**

El cálculo de la altura de velocidad está dado por:

$$\frac{v_d^2 - v_s^2}{2 \cdot g_c} = 0.55(\text{pie} \cdot \text{lbf} / \text{lbm})$$

- **CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA.**

La potencia de la bomba es calculada con la ecuación 5.53, donde  $\rho$  es la densidad del agua. Reemplazando los valores obtenidos en los puntos anteriores en la ecuación 5.53 se obtiene que la potencia de la bomba es de 4 HP, equivalentes a 3 KW.

### 5.1.7 SELECCIÓN DE LA CALDERA.

La estimación de la masa de vapor requerida para las distintas etapas del proceso es calculada en las secciones 4.1.5 y 4.2.3, de donde se obtiene que el flujo máximo de vapor que se requiere corresponde a 1491 Kg/h.

El balance de energía se realiza mediante la siguiente ecuación 5.55<sup>2</sup>.

$$Q_c \cdot F_c = F_v \cdot \Omega_v$$

**Ecuación 5.55**

- $Q_c$  Calor de combustión del Combustible.
- $F_c$  Flujo de combustible requerido para la combustión.
- $F_v$  Flujo de vapor requerido.
- $\Omega_v$  Calor latente del vapor.

Reemplazando los datos que se presentan en la Tabla 5.14 en la ecuación 5.55, se obtiene el flujo de combustible requerido<sup>4</sup>.

Tabla 5.14. Datos para el cálculo de  $F_c$

Datos	Cantidad
$F_v$	1491 Kg/h
$Q_c$	10000 Kcal/ kg calor de combustión del Fuel Oil N°5. <sup>4</sup>
$\Omega_v$	522 Kcal/kg vapor saturado a 30 psia

Luego,

$$F_c = 77.3 \text{ Kg Fuel oil N°5/h}$$

El flujo volumétrico del Fuel oil N°5 es calculada a partir de la ecuación 5.56, donde la densidad del combustible es:  $770 \text{ Kg/m}^3$ .

$$F = \frac{F_c}{\rho_c} \quad \text{Ecuación 5.56}$$

Evaluando se obtiene:

$$F = 0.1 \text{ m}^3 \text{ Fuel oil N}^\circ 5/\text{h}$$

### **CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA CALDERA**

Para una caldera la potencia se obtiene de la razón entre la demanda máxima de vapor y la capacidad que tiene 1 HP para evaporar agua, esto es<sup>4</sup>:

$$C = 15.7 \text{ Kg/HP h}$$

La demanda máxima de vapor se requiere cuando todos los equipos estén funcionando. De esta manera se puede calcular la potencia de la caldera como:

$$P_0 = \frac{M_v}{C}$$

**Ecuación 5.57**

Luego la Potencia requerida es:

$$P_0 = 95 \text{ HP (71 KW)}$$

### **5.1.8 DISEÑO DE CÁMARA DE REFRIGERACIÓN.**

Se considera como base de diseño, la producción de champiñón Ostra acumulada en un lote productivo, equivalente a 7400 kg.

Las dimensiones de la cámara de refrigeración seleccionada son:

$$\text{Largo} = 4.4 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 3.28 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 2.16 \text{ m}$$

## MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En la consideración de los materiales de construcción de la cámara, se comprende que ésta se constituye por un piso, paredes y techo. Dentro de las alternativas existentes de materiales aislantes! que se ofrece en el mercado, se seleccionaron paneles modulares para construcción de cámaras, de la empresa HUSSMANN, la unión de los paneles es realizada rápidamente con broches de acero<sup>33</sup>. En la construcción del piso, se siguen las recomendaciones del fabricante de los paneles, utilizando sólo concreto, En la Tabla 5.15, se detallan los materiales de construcción de la cámara, ya sea distribución! espesor  $L_i$  y conductividad térmica  $k_i$ .

Tabla 5.15. Materiales de construcción seleccionados para la Cámara de Refrigeración.

Sección	Material	$L_i$	$k_i$
Paredes	Acero galvanizado	0.003	50
	Poliestireno expandido	0.096	$3.32 \cdot 10^{-2}$
Techo	Acero galvanizado	0.003	50
	Poliestireno expandido	0.096	$3.32 \cdot 10^{-2}$
Suelo	Concreto	0.2	1.73

## CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA.

El flujo de calor por las superficies aisladas<sup>4</sup>, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{sup. ais} = Q_{pared} + Q_{techo} + Q_{suelo} \quad \text{Ecuación 5.58}$$

A su vez cada calor se representa por:

$$Q_i = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T \quad \text{Calor para la Cámara de refrigeración} \quad \text{Ecuación 5.59}$$



Donde el subíndice i representa las paredes, techo y suelo.

Ecuación 5.59

El coeficiente global de transferencia de calor U se obtiene por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n}$$

**Ecuación 5.60**

Evaluando la ecuación 5.60 con los valores de espesor y conductividad térmica<sup>3,4</sup> de Tabla 5.15, más los datos de la Tabla 5.16, se obtienen los valores para los distintos U<sub>i</sub>.

Tabla 5.16 Coeficientes de convección para Cámara de Refrigeración.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Coefficiente de convección interno (aire quieto)	h <sub>i</sub>	9.37	W/m <sup>2</sup> K
Coefficiente de convección externo (aire a 24 (Km/h))	h <sub>o</sub>	34.1	W/m <sup>2</sup> K

Luego, los coeficientes globales de transferencia son:

$$U_{\text{pared}} = 0.332 \text{ W/m}^2\text{h}$$

$$U_{\text{techo}} = 0.332 \text{ W/m}^2\text{h}$$

$$U_{\text{suelo}} = 3.039 \text{ W/m}^2\text{h}$$

Las áreas de cada superficie se presentan en la Tabla 5.17. Considerando que la temperatura exterior es de 30°C y la interior de 4°C, se obtiene un ΔT= 26°C. Evaluando los valores en la ecuación 5.59, y luego en la ecuación 5.58, se calcula el calor perdido por las superficies aisladas. El detalle del calor perdido para cada superficie y el total se presentan en la Tabla 5.18.

Tabla 5.17 Área de transferencia de Calor para la Cámara de refrigeración.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Área de paredes	$A_{\text{pared}}$	43.0	$m^2$
Área de techo	$A_{\text{techo}}$	14.4	$m^2$
Área de suelo	$A_{\text{suelo}}$	14.4	$m^2$

Tabla 5.18. Calor perdido por las superficies aisladas.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Calor perdido por las paredes	$Q_{\text{pared}}$	711.7	W
Calor perdido por el techo	$Q_{\text{techo}}$	235.2	W
Calor perdido por el suelo	$Q_{\text{suelo}}$	2151.6	W
<b>Calor perdido total (sup. aislada)</b>	<b><math>Q_{\text{sup.ais.}}</math></b>	<b>3098.6</b>	<b>W</b>

Luego,

$$Q_{\text{sup.ais.}} = 2864.3 \text{ Kcal/h.}$$

### CALOR ENTREGADO POR EL PERSONAL DENTRO DE LA CÁMARA.

A  $4^{\circ}\text{C}$  una persona entrega  $213.9 \text{ (Kcal/h)}^3$ . Si se considera que sólo una persona ingresará a la cámara, el calor entregado por el personal es:

$$Q_{\text{per.}} = 213.9 \text{ Kcal/h}$$

### CALOR GENERADO POR LAS LUCES.

Las luces generan  $0.86 \text{ Kcal/W h}^{2,3}$ . Se recomienda que la iluminación no sea inferior a 9.5 por lo que para iluminar una superficie como el área del suelo de la cámara ( $14.4 \text{ m}^2$ ), se requieren:

$$Q_{\text{luz}} = 117.6 \text{ Kcal/h}$$

### CALOR GENERADO POR EL PRODUCTO

Este calor esta dado por la siguiente ecuación<sup>3</sup>:

$$Q_{\text{prod}} = M_{\text{prod}} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

**Ecuación 5.61**

Considerando que los champiñones ingresan a la cámara a 18°C, se tiene un  $\Delta T = 14^\circ\text{C}$ , la masa de producto usada corresponde a la masa promedio que ingresa en un día de producción. El Cp de los champiñones es de 0.93 Kcal/kg °C.

Evaluando todo lo anterior en la ecuación 5.61, el calor generado por los champiñones es:

$$Q_{\text{prod}} = 83.5 \text{ Kcal/h.}$$

### CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN EN UN DÍA DE OPERACIÓN

El tiempo de operación de la cámara es de 24 h al día y considerando que el tiempo de carga del producto en la cámara es de 20 min. y se realiza una vez al día, se obtiene finalmente 0.33 h/día. Con todo esto y llevando los resultados anteriores a un día de operación, se presenta en la Tabla 5.19 el flujo de calor para la cámara.

Tabla 5.19. Pérdidas de calor en la Cámara de Refrigeración.

<b>Flujo de calor por:</b>	<b>Calor (Kcal/día)</b>
Superficies aisladas	63943
Personal	70.5
Iluminación	38.8
Producto	2005
<b>Total</b>	<b>66057</b>

Como un factor de seguridad se agrega un 10%, con lo que se obtiene una carga de enfriamiento de:

$$CE = 72663 \text{ Kcal/día}$$

Las toneladas de refrigeración obtenidas se calculan con la siguiente expresión:

$$N = \frac{CE}{12000} \quad \text{Ecuación 5.62}$$

Donde CE debe estar en Btu/h, por lo tanto,

$$N = 0.91 \text{ toneladas.}$$

### CICLO DE REFRIGERACIÓN

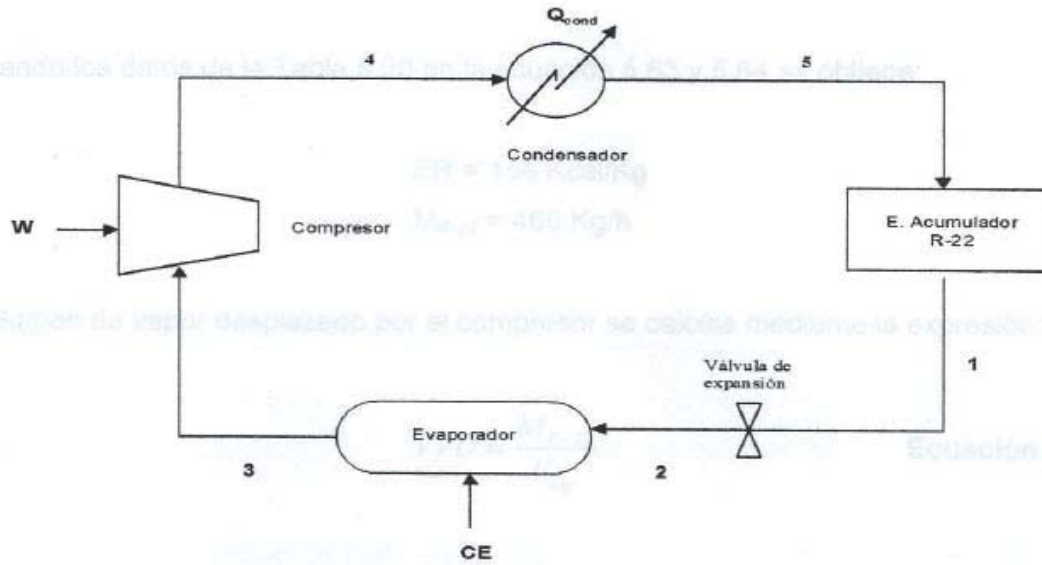
Se considera utilizar el refrigerante R-22 por ser el de mayor uso en el mercado<sup>1,3</sup>. La temperatura de evaporación del refrigerante se establece, como medida de seguridad, 5°C por debajo de la temperatura deseada en el interior de la cámara, por lo que se tienen las siguientes condiciones de operación:

Temperatura de evaporación: -1 °C a 479 Kpa

Temperatura de condensación: 39.25 °C a 155 Kpa

Se utiliza un ciclo de refrigeración mecánica por compresión<sup>1</sup>, cuyo esquema se presenta en la Figura 5.9.

Figura 5.9 Ciclo de Refrigeración.



En la Tabla 5.20. Se detallan las propiedades y el estado de los distintos puntos mostrados en la Figura 5.9.

Tabla 5.20 Condiciones de operación de R-22

Punto	Estado	Presión (Kpa)	Tª (°C)	Entalpía (KJ/Kg)	Entropía (KJ/Kg K)
1	Líquido saturado	1500	39.25	466.6	-
2	Mezcla líquido-vapor	479	-1	466.6	-
3	Vapor saturado	479	-1	622.6	4.935
4	Vapor recalentado	1500	62	655.0	4.935
5	Líquido saturado	1500	39.25	466.6	-

El efecto refrigerante neto logrado en el evaporador se calcula por:

$$ER = h_3 - h_2$$

**Ecuación 5.63**

La masa de refrigerante circulando por el sistema se obtiene mediante la expresión:

$$M_{R-22} = \frac{CE}{ER}$$

**Ecuación 5.64**

Utilizando los datos de la Tabla 5.20 en la ecuación 5.63 y 5.64 se obtiene:

$$ER = 156 \text{ Kcal/Kg}$$

$$M_{R-22} = 466 \text{ Kg/h}$$

El volumen de vapor desplazado por el compresor se calcula mediante la expresión:

$$VVD = \frac{M_{R-22}}{V_{esp}}$$

**Ecuación 5.65**

La razón de compresión del ciclo se expresa por:

$$RC = \frac{P_4}{P_3}$$

**Ecuación 5.66**

El calor por compresión se obtiene por:

$$Q_c = H_4 - H_3$$

**Ecuación 5.67**

Considerando que el refrigerante tiene a las condiciones de operación del punto 3, un volumen específico de 0.04874 (m<sup>3</sup>/kg), y utilizando nuevamente los datos de la Tabla 5.20, se obtiene que:

$$WD = 9.56 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RC = 3.13$$

$$Q_c = 7.74 \text{ Kcal/kg}$$

De esta forma el trabajo requerido por el compresor para cumplir el ciclo de refrigeración esta dado por la siguiente expresión:

$$W = \frac{Q_c \cdot M_{R-22}}{\eta} \quad \text{Ecuación 5.68}$$

Considerando una eficiencia  $\eta = 0.8$ , finalmente a partir de la ecuación 5.68, se tiene:

$$W = 5.63 \text{ HP.}$$

Evaporador
------------

El equipo de evaporación a utilizar es de ventilación forzada de aire, consistiendo básicamente en serpentines de tubo descubierto o de tubo aleteado, colocados en una carcasa metálica y equipados con un ventilador para proporcionar la circulación del aire.

La cantidad de aire requerida para una capacidad evaporada dada, se obtiene mediante la expresión:

$$C_{\text{aire}} = \frac{CE \cdot r_s}{C_{t_{\text{aire}}} \cdot 1.08} \quad \text{Ecuación 5.69}$$

Generalmente la relación de calor sensible  $r_s = 0.85$ , mientras que la caída de temperatura del aire se puede estimar como  $C_{t_{\text{aire}}} = 10.8^\circ\text{F}$ . Con estos valores más la CE en (Btu/h), y evaluando en la ecuación 5.69, se obtiene:

$$C_{\text{aire}} = 796 \text{ pie}^3/\text{min} \text{ (} 22.5 \text{ m}^3/\text{min)}$$

El área del evaporador requerida es función de la cantidad de aire y la velocidad con que ésta enfrenta al equipo:

$$A_{\text{evap}} = \frac{C_{\text{aire}}}{v_{\text{aire}}} \quad \text{Ecuación 5.70}$$

La velocidad del aire que enfrenta al evaporador, para unidades de velocidad baja, varia en un rango de 0.05 a 0.1 m/s. Como consideración de diseño se toma el valor más bajo del rango, es decir  $v_{\text{aire}} = 0.05$  m/s, por lo que usando la ecuación 5.70 se obtiene un área de:

$$A_{\text{evap}} = 7.5 \text{ m}^2$$

- Condensador

El equipo de condensación a utilizar es de ventilación forzada de aire. Este equipo consiste básicamente en serpentines de tubo descubierto o de tubo aleteado, colocados en un ventilador para proporcionar la circulación del aire y así realizar el enfriamiento.

Luego el calor a retirar por el equipo condensador se obtiene por:

$$Q_{\text{cond}} = M_{R-22} \cdot (H_5 - H_4) \quad \text{Ecuación 5.71}$$

Luego,

$$Q_{\text{cond}} = -87794 \text{ Kcal/h.}$$



## **5.2 DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL CULTIVO DEL SHIITAKE.**

El cultivo del Shiitake, al igual que el del Champiñón ostra, se realiza en el interior de las minas.

En lo que respecta a la preparación del sustrato, su acondicionamiento y posterior inoculación, estas se llevan a cabo fuera de la mina, en recintos aptos para desarrollar estos procesos.

Por tal motivo, se ha determinado ejecutar las operaciones de preparación de materias primas, esterilización e inoculación, en los mismos recintos que son utilizados para el cultivo del champiñón ostra, lo que permite tener un mayor aprovechamiento de los equipos e instalaciones diseñadas en la sección 5.1.

Esta decisión, permite tener una adecuada planificación de la producción para que no se produzcan inconvenientes ni retrasos en las faenas productivas de ambas especies seleccionadas.

### **5.2.1 DISEÑO DE LA SALA DE CULTIVO.**

En cuanto al diseño de la sala de cultivo, se consideran las mismas condiciones que para el caso del Champiñón Ostra.

Las dimensiones de la sala de cultivo (mina) son: 40 x 2 x 2 m.

Para realizar un óptimo aprovechamiento del área disponible para el cultivo, este es realizado en bolsas de polipropileno cuyas dimensiones son detalladas en la sección 5.1.5. Estas son colgadas en unos ganchos dispuestos en el techo de la mina. La distancia entre uno y otro gancho es de 0.5 m. Y la distancia entre la pared de la mina y el gancho es de 0.45 m. Las bolsas son ubicadas a ambos costados de la mina dejando un pasillo de 0.8 m. La distancia que separa el tope de la bolsa del techo de la mina es de 0.3 m.

El número total de bolsas que es posible instalar en una mina de las dimensiones, anteriormente citada, es:

$N_B=160$  bolsas/mina.

Y teniendo en cuenta además, que cada bolsa contiene una masa igual a 35 Kg. la masa total que es instalada en cada mina corresponde a:

$M_M = 5600$  Kg/mina.

Por lo que el número de minas que deberían ser implementadas para obtener la producción deseada asciende a nueve.

### **DISEÑO FILTROS DE AIRE PARA ETAPA DE CULTIVO.**

La etapa de cultivo, que comprende las fases de incubación y fructificación se desarrolla en el interior de la mina, por lo que el cálculo de diseño de los filtros de esterilización de aire son realizados en base a las dimensiones de una mina, que representan las características promedio de las demás que se localizan en el sector, cuyas dimensiones ya han sido detalladas.

Para el diseño de los filtros de aire se utilizó el mismo método presentado en la sección 5.1.4.

- **ÁREA DEL FILTRO DE AIRE.**

Para un diámetro de fibra de  $19 \mu$  y con el diámetro de partícula ( $d_p$ ) de  $1\mu.$ , se puede determinar la velocidad crítica de la figura 10.4 de Aiba, la que entrega un valor de:

$v_c= 0.39$  m/s.

Luego, la velocidad superficial a utilizar es de:

$$v_s = 0.35 \text{ m/s}$$

El flujo de aire para esta etapa es de  $200 \text{ m}^3/\text{ton h}$  y la masa a tratar por mina es de 5.6 toneladas. Por lo tanto el flujo total es de:

$$F = 1318 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reemplazando en la ecuación 5.15 se obtiene un área de filtración igual a:

$$A = 1.05 \text{ m}^2$$

- **LONGITUD DEL FILTRO.**

Se utilizarán los mismos parámetros y ecuaciones que en la sección 5.1.4, salvo la temperatura de operación que corresponde a  $25^\circ\text{C}$  (298 K) por 14 días y  $10^\circ\text{C}$  por 42 días. Como puede apreciarse en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21 Datos para el cálculo de números adimensionales.

Símbolo	Valor
df	$1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
$\rho_a$	$1.293 \text{ kg/m}^3$
$\alpha$	0.033
$\mu_a$	$1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m s}$
dp	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
C	1.16
k	$1.38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}^2 \text{ K}$
T	293 K
D	$2.76 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Por lo tanto, el valor de los números adimensionales es:

$$N_{re} = 0.494$$

$$N_r = 5.26 \cdot 10^{-2}$$

$$N_{Sc} = 4.573 \cdot 10^5$$

$$N_{Pe} = 2.26 \cdot 10^5$$

Luego se obtiene que:

$$N_r \cdot N_{Pe}^{1/3} \cdot N_{re}^{1/18} = 3.183$$

Con este valor en la figura 10.5 del Aiba, se puede determinar la eficiencia de colección de una fibra expresada por:

$$n_0 \cdot N_r \cdot N_{Pe} = 99.9$$

Donde la eficiencia de colección ( $n_0$ ) de una fibra es:

$$n_0 = 0.0076$$

Luego la eficiencia global de colección es:

$$n_a = 0.0088$$

La carga total por operación corresponde al producto del flujo de aire por la carga de microorganismos en el aire y por el tiempo de operación.

El flujo de aire es:

$$F = 1318 \text{ m}^3/\text{h}$$

La carga de microorganismo se estimó en:

$$N' = 1 \cdot 10^4 \text{ partículas/m}^3$$

Y el tiempo de operación es de:

$$t = 1344 \text{ horas}$$

Siendo la carga total de microorganismos por operación de:

$$N_0 = 1.29 \cdot 10^{10} \text{ partículas/operación.}$$

Como criterio de reducción se fija un número de partículas o microorganismos finales de:

$$N = 1 \cdot 10^{-3} \text{ part/op.}$$

Por medio de la ley de Penetración Logarítmica (ecuación 5.25) se determina la longitud del filtro que corresponde a:

$$L = 1.5 \text{ m.}$$

- **CAÍDA DE PRESIÓN.**

Se determinó utilizando el procedimiento de la sección 5.1.4.

Para  $NRe = 0.494$ , se tiene que el coeficiente de arrastre es:

$$C_d = 100$$

Y el exponente empírico ( $m$ ), para un diámetro de fibra de  $1.93 \cdot 10^{-5}$  m. es:

$$m = 1.35$$

Reemplazando en la expresión de la caída de presión (ecuación 5.27) se obtiene:

$$P = 8.493 \text{ KPa (0.0838 atm)}$$

### **5.3 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 5**

1. Smith, J. M., Van Ness, H.C. 1992. **Introducción a la Termodinámica en la Ingeniería Química**. México: McGraw-Hill. pp.664.
2. McCabe, L. 1991. **Operaciones Básicas de Ingeniería Química**, 4ª Ed. España. McGraw-Hill. pp. 905.
3. Dossat, R. 1978. **Principles of Refrigeration**. 2<sup>nd</sup> Ed. USA: John Wiley & Sons, Inc. pp.192.
4. Kern, D. 1995. **Procesos de Transferencia de Calor**. 1ª Ed. México: McGraw-Hill. pp.927.
5. Saucedo G. Heat Transfer Simulation in Solid Substrate Fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol. 35. pp. 802-808. 1990.
6. Tautorus, I. 1985. Mushrooms Fermentation. In: a.R.Liss, Inc. **Advances in Biotechnological Processes**, Vol.5 pp. 227-273. New York.
7. Ibid, p 236.
8. Ibid, p. 253.

9. Royse, D,J. 1997. **Cultivation of Shiitake on Natural and Synthetic Logs.** 10 pp. College of Sciences Cooperative Extension The Pennsylvania State University.
10. Ibid, p.7.
11. Zadrazil, F. and K. Grabbe. 1983. Edible Mushrooms. In: H.Dellweg. **Biotechnology**, Vol 3 pp.146-187. Florida.
12. Ibid, p 157.
13. Ibid, p. 203.
14. Gray,W. 1970. **The use Fungi as Food and in Food Processing.** pp-225-327. Illinois.
15. Ibid, p.245.
16. Potter, N. 1978. **Food Science.** Tercera edición. Ed. Avi. Pub. pp.216-221.
17. Bruce,E et.al. 1987. **Desing, Modeling and Operation of Solid Sustrate Fermentation.** II Simposio Latinoamericano Biotecnología para la producción de biomasa y tratamiento de desperdicios. Antigua. Guatemala. pp.89-1 07.
18. Aislación Catálogo. Aislantes Nacionales. SA.
19. Jones, K.Amos A. 1976. **Química Moderna de los Cereales.** Ed. Aguilar. p.1 15.
20. Treybal, R. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda edición. Mc Graw Hill. pp. 260-261.
21. Severn.1975. **Procesos de Conversión de Energía.** Ed. Reverte. Quinta edición p.99.
22. Aiba, 5. **Biochemical Engineering.** 2ªEd. Academic Press. pp.278-284. 1973.
23. Gentina, J. 1986. **Esterilización.** Actas del Segundo Curso Latinoamericano de Biotecnología. Ediciones Universitarias de Valparaíso, p. 180.

24. Finger s. Aerobic Microbial Growth in Semisolid Matrices. **Biotechnology and Bioengineering** .Vol.18. pp. 1193-1218. 1976.
25. Ibid, p. 1197.
26. Ibid, p. 1199.
27. Ibid, p. 1201.
28. Ibid, p. 1213.
29. Ibid, p. 1215.
30. Vedder, F. 1982. **Cultivo Moderno del Champiñón**. Ed. MundiPrensa, España. pp.289-343.
31. Narahara H. et. al. 1984. **Control of Water Content in Solid-State Culture of Aspergillus Orizae**. Journal of Fermentation Technology. Vol. 62. pp.453-459.
32. Perry R. op.cit. Vol.2. p. 59-60.
33. Air Conditioning Institute, **Refrigeración y Aire Acondicionado**. Cap. 13, Ed. PrenticeHall Hispano Americana, México. 1981.



# CAPÍTULO 6 ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA

## 6.1 INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo tiene como finalidad organizar la producción de las dos especies de hongos comestibles seleccionadas para ser cultivadas en el interior de las minas, ubicadas en la Provincia de Petorca.

Considerando el hecho, que son las minas el lugar físico donde se desarrolla el proceso de cultivo, se presenta el inconveniente, de que hay que adecuarse a las características y ubicación que estas poseen.

Como ya fue mencionado en los capítulos anteriores, el proceso de preparación de sustrato e inoculación se realizarán fuera de la mina en un sitio que permita la realización de estas operaciones.

Para tal efecto, se ha considerado instalar esta sección en la comuna de Cabildo, puesto que permite tener una mejor comunicación con los diferentes puntos de la Provincia.

## 6.2 REQUERIMIENTOS DE TERRENO.

En esta ocasión los requerimientos de terreno son los contemplados para la instalación de:

- Cancha de compostación,
- Sala de inoculación,
- Cámara de Pasteurización y Acondicionamiento,
- Bodega de materias primas,
- Cámara de Refrigeración,
- Laboratorio y

- Oficinas.

En la Tabla 6.1 se presentan los requerimientos de terreno para cada una de las dependencias mencionadas y en el plano adjunto el Lay-out correspondiente la distribución de estas instalaciones.

Tabla 6.1 Área ocupada por las dependencias anexas a la mina

Dependencias	Área (m <sup>2</sup> )
Cancha de Compostación	147
Sala de Inoculación	186
Cámara de Pasteurización	21
Bodega de Materias primas	30
Cámara de Refrigeración	14.5
Laboratorio	12
Oficinas	9

### 6.3 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.

La empresa, constituida por el conjunto de minas en donde se desarrolla la etapa de cultivo del proceso, se divide en dos áreas principales: Producción y Administración.

El **Departamento de Producción**, estará básicamente encargado del proceso 1.3 productivo, en sus áreas:

- **INGENIERÍA:** Investigación, diseño, preparación de normas y organización de la producción.
- **PLANEAMIENTO DE LAS ÓRDENES:** Control de inventado, programación, preparación de presupuestos de producción.

- **OPERACIONES:** Generación y distribución de fuerza motriz, transporte en planta, mantención de equipos y herramientas. Inspecciones de materiales, equipos, cumplimiento de normas de seguridad en el trabajo y control de calidad del producto.

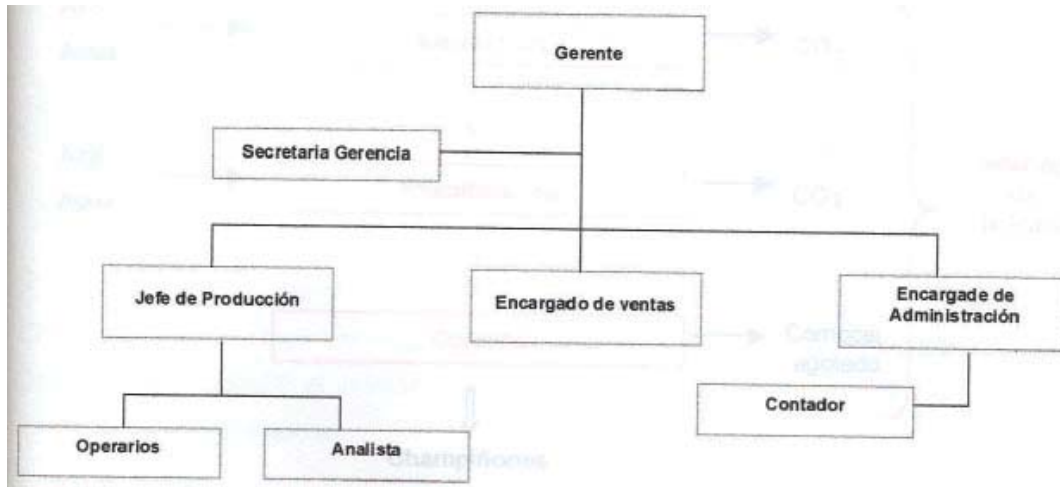
Para coordinar todas estas actividades, este departamento, estará bajo las órdenes del Jefe de producción, una persona con experiencia en el área y con la capacidad de dirigir la acción de subordinados. Deberá ser un profesional con fuerte formación en el área de Procesos biotecnológicos. Este puesto podrá ser ocupado preferentemente por un Ingeniero de Ejecución en Bioprocesos. Estará bajo supervisión directa del Gerente.

El **Departamento Administrativo** llevará un registro de todas las operaciones comerciales realizadas por la empresa, junto a estadísticas de producción y registros laborales de sus empleados. Será el encargado de la dirección y organización del personal en sus tareas de empleo, capacitación, despido, seguros sociales, remuneraciones, beneficios y otros. Este departamento estará bajo la dirección directa del gerente en su cargo de administrador.

Considerando la ubicación rural de las instalaciones productivas (minas), es factible pensar en la poca conveniencia de ubicar las oficinas de gestión comercial en este lugar. En consecuencia, el Departamento de ventas y Administrativo, compartirán oficinas en la capital. Este lugar será el centro comercial de operaciones, donde trabajará la secretaria que atenderá ambos departamentos. El puesto de mayor jerarquía dentro de la empresa, será ocupado por el Gerente. Deberá ser sin duda la persona con mayor dominio del tema y con claro conocimiento de las funciones de las áreas que están bajo su gestión. Deberá ser capaz de tomar rápidas decisiones y dimensionar las consecuencias de éstas, junto con la capacidad de integrar las diversas ramas de la ciencia en la solución de un determinado conflicto. Una gran capacidad de síntesis, una sólida formación administrativa con eficiente ejercicio de la autoridad, deben ser cualidades fundamentales al definir la personalidad de este líder. Se considera que el profesional más capacitado para el ejercicio de estas funciones es el Ingeniero Civil Bioquímico.

El organigrama de la empresa es representado en la Figura 6.1, conforme a la departamentalización antes señalada.

Figura 6.1 Organigrama de la Empresa.



## 6.4 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.

La planificación de la producción es un punto de gran relevancia, debido a que se ha determinado utilizar las mismas instalaciones, que fueron diseñadas para la preparación del sustrato e inoculación del Champiñón Ostra, en la del Shiitake. En la Figura 6.2 y 6.3 se puede apreciar en forma esquemática las etapas involucradas en el proceso productivo de cada una de las especies a cultivar.

Figura 6.2 Esquema de las Etapas involucradas en el Cultivo del Champiñón Ostra.

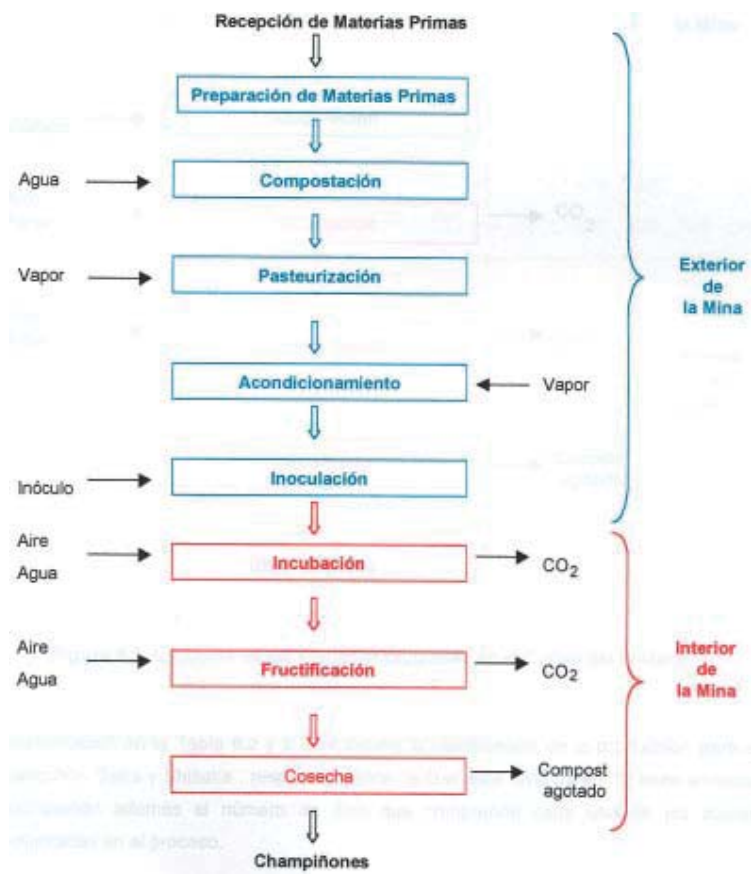
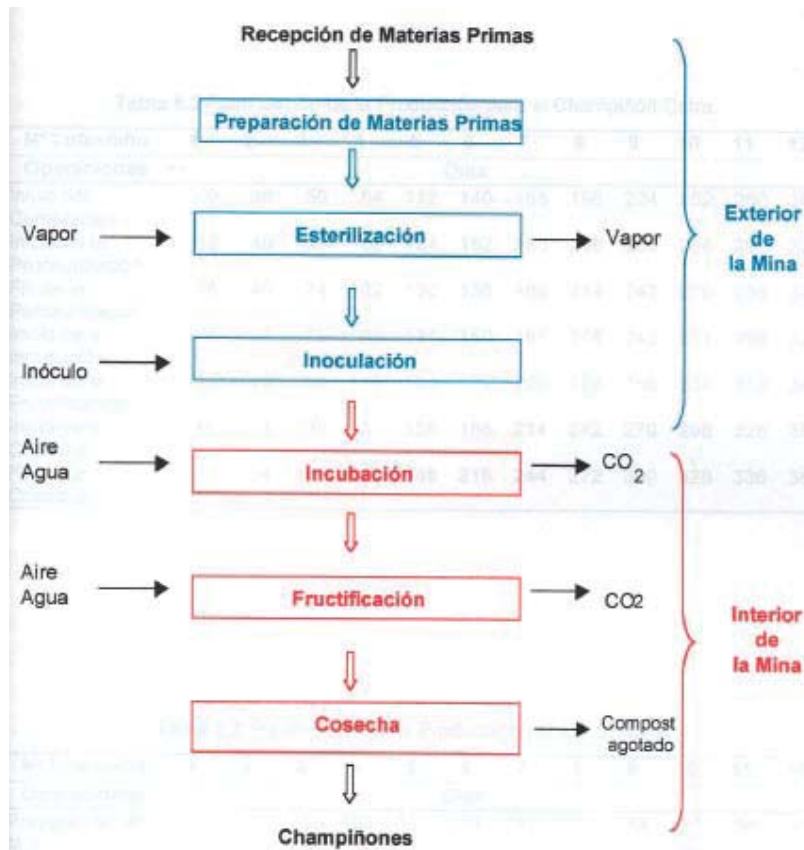


Figura 6.3 Esquema de las Etapas involucradas en el Cultivo del Shiitake.



A continuación en la Tabla 6.2 y 6.3 se detalla la planificación de la producción para el Champiñón Ostra y Shiitake respectivamente, la cual está dividida en 12 lotes anuales. Describiendo además el número de días que comprende cada una de las etapas involucradas en el proceso.

Tabla 6.2 Planificación de la Producción para el Champiñón Ostra.

Nº Lotes/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Operaciones</b>	<b>Días</b>											
Inicio del Compostaje	0	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280	308
Inicio de la Pasteurización	12	40	68	96	124	152	180	208	236	264	292	320
Fin de la Pasteurización	18	46	74	102	130	158	186	214	242	270	298	326
Inicio de la Incubación	19	47	75	103	131	159	187	215	243	271	299	327
Inicio de la Fructificación	32	60	88	116	144	172	200	228	256	284	312	340
Inicio de la Cosecha	46	74	102	130	158	186	214	242	270	298	326	354
Fin de la Cosecha	76	104	132	160	188	216	244	272	300	328	336	384

Tabla 6.3 Planificación de la Producción para el Shiitake.

Nº Lotes/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Operaciones</b>	<b>Días</b>											
Preparación de M.P	19	47	75	103	131	159	187	215	243	271	299	327
Inicio de la Esterilización	20	48	76	104	132	160	188	216	244	272	300	328
Inicio de la Incubación	21	49	77	105	133	161	189	217	245	273	301	329
Inicio de la Fructificación	34	62	90	118	146	174	202	230	258	286	314	342
Inicio de la Cosecha	49	77	105	133	161	189	217	245	273	301	329	357
Fin de la Cosecha	79	107	135	163	191	219	247	275	303	331	359	387

## 6.5 JORNADA DE TRABAJO.

La estimación del número de operarios se hace en base a las tareas que se deben desempeñar en el proceso productivo.

El personal será distribuido de tal manera que se optimice el tiempo, ya que al quedar tiempo de sobra en cada etapa, los operarios deben estar facultados para desempeñar cualquiera de las otras faenas.

En cuanto a las tareas a ejecutar estas son:

1. Recepción de materias primas.

2. Preparación del Sustrato
3. Pasteurización.
4. Acondicionamiento.
5. Inoculación.
6. Incubación,
7. Fructificación.
8. Cosecha.
9. Mantenimiento de equipos.
10. Control de Calidad.
11. Embarque y despacho.
12. Limpieza.

Las etapas de cultivo que comprenden la incubación, fructificación y cosecha, son desarrolladas en el interior de la mina, el número de minas estimado para desarrollar la producción de 89 ton/año de Champiñón Ostra y 55 ton/año de Shiitake asciende aproximadamente a 18, esto es, asumiendo las dimensiones promedio que éstas presentan de 2 x 2 x 40 m, como ha sido mencionado en el capítulo anterior.

Es necesario tener por cada mina una persona a cargo del riego y mantenimiento de las condiciones de cultivo, por lo tanto, se requiere de 18 personas sólo para desempeñar estas tareas. En cuanto a la preparación del sustrato y posterior inoculación, faenas que son realizadas en forma manual como se cita en la sección 5.1.3 y 5.1.5 respectivamente, el número de operados que se requiere es de 15.

Estas tareas junto con la cosecha, son las que concentran la mayor cantidad de mano de obra. A continuación, en la Tabla 6.4 se presenta un resumen de la cantidad de personal requerido para cada etapa.



Tabla 6.4. Personal requerido en la Planta.

<b>Cargo</b>	<b>Nº de personas</b>
Gerente	1
Encargado de ventas	2
Jefe de producción	2
Secretaria	2
Contador	1
Analista de Laboratorio	1
Operarios de Mantenición	2
Operarios	33
Junior	1
<b>Total</b>	<b>45</b>

## **6.6 BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 6**

1. Robbins,S. 1996.**Comportamiento Organizacional**. aEd MéxicoPrenticeHall Hispano Americana SA. pp. 250-292.
2. Peters and Timerhaus. **Plant Design and Economics for Chemical and Engineers**, 3ªEdición Mc Graw Hill. p. 937.

# CAPÍTULO 7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

## **7.1 INTRODUCCIÓN.**

El objetivo del presente capítulo es determinar la factibilidad económica del proyecto en estudio. Para determinar su rentabilidad es necesario conocer el capital total de la inversión, el costo de operación y los ingresos anuales de la planta por conceptos de venta del producto, mantención, consumo de materias primas, etc.

La estimación de los capitales involucrados se basa en predios obtenidos mediante Cotizaciones a proveedores nacionales e internacionales y estimaciones matemáticas, siendo presentados en Unidades de Fomento (UF), moneda de origen y moneda nacional, facilitando de esta forma la relación con los préstamos bancarios. La inversión se estudiará para el caso de contar con capitales propios y para el caso de requerir financiamiento externo.

## **7.2. INVERSIONES DEL PROYECTO.**

Las inversiones del proyecto comprenden el Capital Fijo y Capital de Trabajo y puesta en marcha. En cuanto al Capital Fijo este se divide en aquellos Costos directos (depreciables) e indirectos (no depreciables).

### **7.2.1. INVERSIONES EN CAPITAL FIJO.**

Comprende el valor monetario del conjunto de bienes que no son motivo de transacciones corrientes por parte de la empresa. Son depreciables, excepto la compra de terreno. Incluyen costos de construcción, costos de infraestructura, equipos, maquinarias, repuestos, instalaciones auxiliares, mobiliario de oficina, medios de transporte etc.<sup>1</sup>

Los valores que a continuación se presentan, se encuentran expresados en UF, cuyo valor para el día 31 de Diciembre de 1999 corresponde a \$15066.96.

## COSTOS DIRECTOS

Comprende todos aquellos costos depreciables, entre los que destacan: el costo de edificación, equipamiento e implementación, equipos, instrumentación e instalaciones.

Tabla 7.1. Costo de Edificación.

Descripción	Sup. (m <sup>2</sup> )	UF/m <sup>2</sup>	Total UF
Bodega	100	2.4	240
Sala de Inoculación	186	3.5	651
Cancha de Compostación	147	0.7	102.9
Oficinas y dependencias	15	7.3	109.5
<b>Total</b>			<b>1103.4</b>

Tabla 7.2. Costo de Equipamiento e implementación de la mina.

Descripción	Unidades	Valor UF	Total UF
Limpieza y emparejamiento de la mina	18	20	2400
Pozo de Riego	50 <sup>a</sup>	3.48 <sup>b</sup>	174
Ganchos	1860	0.035	61.7
<b>Total</b>			<b>2635.7</b>

<sup>a</sup> 50 metros lineales de profundidad.

<sup>b</sup> UF/m lineal construido

Tabla 7.3. Costo de equipamiento de sala de inoculación y dependencias.

Descripción	Unidades	Valor UF	Total UF
Estanterías bodegas	6	3.8	22.8
Bandejas de inoculación	10	6.3	63
<b>Total</b>			<b>85.8</b>

Tabla 7.4. Costo de Equipamiento de oficina.

Descripción	Unidades	Valor UF	Total UF
Escritorio oficina	2	7.0	14
Kardex	2	3.5	7
Fax OFX-Olivetti	1	8.3	8.3
Línea telefónica	1	5.6	5.6
Computador	2	34.8	69.6
Impresora EPSON 800	1	12	12
<b>Total</b>			<b>116.5</b>

### DETERMINACIÓN DE COSTOS DE EQUIPOS

Se considerará el costo de los equipos sin IVA. Para la conversión de monedas extranjeras, se utilizará el valor promedio al mes de Diciembre de 1999, siendo el dólar paralelo \$542 chilenos. El costo de cada uno de los equipos es detallado a continuación:

#### BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Proveedor:  $\alpha$ -Laval Chile

Cantidad: 4

Valor Unitario: Ch\$ 390000

#### CÁMARA DE REFRIGERACIÓN

Proveedor: HECO

Cantidad: 2

Valor Unitario: Ch\$ 3550000

#### CALDERA

Proveedor: SOTRAL SA.

Cantidad: 1

Valor Unitario: Ch\$ 2500000

### CÁMARA DE PASTEURIZACIÓN

Proveedor: SOTRAL SA.

Cantidad: 1

Valor Unitario: Ch\$ 12500000

### VENTILADORES

Proveedor: R.S.V.

Cantidad: 20

Valor Unitario: Ch\$ 98000

Se considera además en este ítem el costo de las herramientas de trabajo de los operarios y el vehículo destinado a la distribución de las bolsas de cultivo, para su incubación en las distintas minas.

### PALAS

Proveedor: DEVA FERRETERÍA

Cantidad: 20

Valor Unitario: Ch\$ 3800

### HORQUETAS

Proveedor: DEVA FERRETERÍA

Cantidad: 20

Valor Unitario: Ch\$ 3200

### CARRETILLAS

Proveedor: DEVA FERRETERÍA

Cantidad: 10

Valor Unitario: Ch\$ 12000

### CAMIONETA

Proveedor: DAVIS AUTOS CHEVROLET

Cantidad: 1

Valor Unitario: Ch\$ 4900000

Tabla 7.5. Costo de Equipos de Producción.

Descripción	Unidades	Valor UF	Total UF
Cámara de Refrigeración	2	236	472
Caldera	1	166	166
Bombas	4	26	104
Ventiladores	20	6.5	130
Cámara de Pasteurización	1	833	833
Vehículo	1	326	326
Herramientas de Trabajo			17
<b>Total</b>			<b>2048</b>

Los costos de cañerías de proceso, son considerados como un 15% de los costos por equipos, lo que implica un costo de 307.2 UF.

Luego,

**COSTOS DIRECTOS = 6296.6 UF**

### **COSTOS INDIRECTOS**

Estos son valores no sujetos a depreciación, entre estos destacan:

- **COSTO DE TERRENO**

Ubicación: Cabildo

Superficie: 2000 m<sup>2</sup>

Valor de m<sup>2</sup>: 0.29 UF

**Total = 580 UF**

- **COSTO DE INGENIERÍA**

Comprende el pago de servicios civiles y técnicos que se precisan para dirigir y supervisar la instalación de la planta e implementación de las minas en salas de cultivo. Se estima como un 10% de los costos directos.

**Total = 629.6 UF**

- **IMPREVISTOS**

Este ítem es estimado como un 15% de los costos directos.

**Total = 944.5 UF**

Luego,

**COSTOS INDIRECTOS = 2154.1 UF**

Por lo tanto, las inversiones en capital fijo, que comprenden los costos directos e indirectos ascienden a:

**CAPITAL FIJO = 8450.7 UF**

### **7.2.2 CAPITAL DE TRABAJO Y PUESTA EN MANCHA**

Es el capital que debe invertirse para la puesta en marcha del proceso. Se utilizará para financiar el funcionamiento de la planta, tanto mantención de inventario de materias primas, materiales de proceso, cuentas por pagar, pago de sueldo, entre otros.

Una estimación aceptable es a partir del supuesto que este concepto corresponde a 6 meses de operación de la planta, los costos de operación son calculados en la sección 7.3.

A partir de los costos de operación, se obtiene que el costo de capital de trabajo y puesta en marcha es:

**CAPITAL DE TRABAJO Y PUESTA EN MARCHA = 7097.4UF**

El Capital total de inversión, corresponde a la suma del Capital fijo y el de Trabajo y puesta en marcha, luego:

**CAPITAL TOTAL DE INVERSIÓN = 15548.2 UF**



### 7.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN Y OPERACIÓN.

Estos costos incluyen los gastos asociados a la producción de hongos comestibles, tanto en insumos, servicios y sueldos

#### 7.3.1 INSUMOS

En insumos se incluyen todos aquellos reactivos, materias primas, envases, etc. que se requieren durante el proceso.

En la Tabla 7.6 y 7.7 se presentan los requerimientos de insumos para un año de producción de Champiñón Ostra y Shiitake, respectivamente.

Tabla 7.6. Requerimientos de insumos para un año de producción de Champiñón Ostra.

Insumo	Cantidad (ton)	UF/ton	Total	Total UF
Inóculo comercial	3	73	45	219
Paja de Trigo	82	1.5	390	123
Estiércol de ave	38	1	1800	38
Yeso	3	1.9	3620	5.7
Desinfectante	1.5	15		22.5
Bolsas de Cultivo				45
<b>Total</b>				<b>453.2</b>

Tabla 7.7. Requerimientos de insumos para un año de producción de Shiitake.

Insumo	Cantidad (ton)	UF/ton	Total UF
Inóculo comercial	10	73	730
Paja de Trigo	43	1.5	64.5
Aserrín de Madera	168	1	168
Carbonato de Calcio	7	10	70
Extracto de Levadura	12	7	84
Desinfectante	2	15	30
Bolsas de Cultivo			105
<b>Total</b>			<b>1251.5</b>

### 7.3.2 SUMINISTROS Y SERVICIOS GENERALES

Los principales suministros necesarios para la producción de hongos comestibles son: agua, combustible para la caldera y costo de energía eléctrica.

En cuanto al agua requerida esta será abastecida de pozos en el lugar de cultivo. Para el caso de la electricidad, se considera un costo de Ch\$ 45/KWh.

En la Tabla 7.8, se resumen los costos anuales de suministros y servicios generales.

Tabla 7.8. Costo anual de Suministros y Servicios generales.

Suministro o Servicio	Total UF
Energía Eléctrica	45
Combustible Fuel oil N°5	980
Fletes	1600
<b>Total</b>	<b>2625</b>

### 7.3.3 REMUNERACIONES

En la Tabla 7.9 se presenta el sueldo que percibirá el personal de la planta.

Tabla 7.9. Sueldos anuales del personal.

Cargo	N°	Sueldo	Sueldo	Total UF
		Ch\$ mes	Ch\$ año	
Gerente	1	980000	11760000	784
Encargado de ventas	2	300000	7200000	480
Jefe de producción	2	400000	9600000	640
Secretaría	2	180000	4320000	288
Contador	1	200000	2400000	160
Analista de Laboratorio	1	200000	2400000	160
Operarios de Mantenición	2	150000	3600000	240
Operarios	33	120000	47520000	3168
Junior	1	100000	1200000	80
<b>Total</b>				<b>6000</b>

### **7.3.4 COSTOS INDIRECTOS.**

Son aquellos que persisten aunque la planta esté detenida.

#### **DEPRECIACIÓN**

Con respecto a la depreciación, para los equipos se utilizará una depreciación lineal con vida útil de 10 años, al cabo de los cuales el valor residual será 0, por lo tanto corresponde al 10% del valor de los equipos, lo que equivale a **260 UF**.

#### **GASTOS GENERALES DE LA PLANTA Y SEGUROS**

Los gastos generales representan un 25% de los costos de operación y mantención. Esto es **3580 UF**. En seguros se gasta un 0.8 % de los costos depreciables, lo que equivale a **25.2 UF**. Luego, los costos indirectos son:

**COSTOS INDIRECTOS = 285.2 UF**

Finalmente, el costo total de operación será la suma de los costos anteriormente calculados:

**COSTO TOTAL DE OPERACIÓN = 14194.9 UF**

Luego, los Costos Totales, que incluyen los de inversión y operación de la Planta ascienden a:

COSTOS TOTALES DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN = **29743.1 UF.**

## **7.4 INGRESO ANUAL POR VENTAS**

En la Tabla 7.10 se muestra el ingreso por concepto de ventas de ambas especies de hongos comestibles seleccionadas.

Tabla 7.10. Ingreso anual por ventas

<b>Especie</b>	<b>Cantidad Kg</b>	<b>UF/Kg</b>	<b>Ingreso UF</b>
<i>Pleurotus ostreatus</i>	89000	0.12	10680
<i>Lentinula edodes</i>	55000	0.20	11000
<b>Total</b>			<b>21680</b>

El ingreso por concepto de ventas asciende a 21680 UF anuales, siendo la utilidad neta ( $U_N$ ) igual a las utilidades por concepto de ventas menos el costo de operación de la planta, sin considerar la depreciación. Por lo tanto la utilidad neta es:

**UTILIDAD NETA = 11065 UF**

## **7.5 RENTABILIDAD DEL PROYECTO.**

### **7.5.1 FLUJO DE CAJA**

Para llevar a cabo el estudio de la rentabilidad del proyecto se presenta un flujo de caja ; construido a partir de los datos presentes en el análisis económico anterior.

El flujo de caja antes de impuestos (FCAI) es igual a la renta bruta menos los gastos. Éste flujo de caja menos la depreciación de la renta imponible (RI), la que multiplicada por la tasa tributaria, 15%, da los impuestos.

El flujo de caja después de impuesto, que es al cual se le hará el análisis económico será igual el flujo de caja antes de impuesto menos los impuestos. Esto se resume en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11. Flujo de Caja después de impuestos.

Año	Ingresos	Egresos	FCAI	Deprec.	RI	Impuesto	FCDI
2000		15548,2	-15548,2	260,0			-15548,2
2001	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2002	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2003	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2004	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2005	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2006	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2007	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2008	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2009	21680	14194,9	7485,1	260,0	7225,1	2167,5	5317,6
2010	22811,7	14194,9	8616,8	260,0	8356,8	2507,1	6109,8

### 7.5.2 VALOR ACTUAL NETO.

El valor actual neto (VAN) son los flujos de caja futuros llevados a un tiempo presente descontado a una tasa de costo de capital. Para esto se usa una tasa de interés de acuerdo a la rentabilidad de los activos hoy, en este caso será de un 10%. Utilizando el FCDI se obtiene un VAN de **15846.7 UF**.

### 7.5.3 TASA INTERNA DE RETORNO

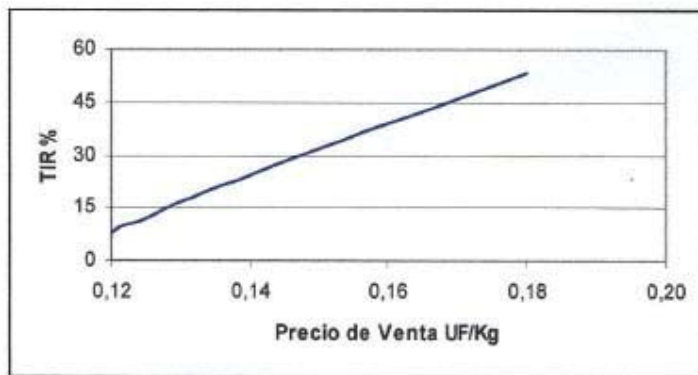
La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa que hace cero el VAN, esto es la tasa para la cual el proyecto deja de tener pérdidas y empieza a obtener utilidades. En el caso de este proyecto se considerará apropiado una tasa de retorno mínima aceptable (TRMA) de un 15%.

Utilizando los datos del flujo de caja se obtiene un TIR de **32%**, por lo que es aceptado como rentable por las políticas recomendadas para la empresa.

## 7.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

Para ver como varis la rentabilidad con las variaciones del mercado que influyen en el flujo de caja. Se cree que la variable más significativa en la rentabilidad del proyecto es el precio de venta de las especies de hongos comestibles seleccionados, por lo que la Figura 7.1 muestra la variación debida a variaciones del precio.

Figura 7.1 Variación del TIR debido al precio de venta.



De lo que se muestra en la Figura 7.1 se determina que el precio de venta debe ser igual a 0.135 UF/kg. promedio obtenido entre el valor del Champiñón ostra que representa el 62 % de la producción total y el Shiitake que comprende el 38 %. Además se puede observar que la tasa interna de retorno es muy sensible al precio de venta, tanto del Champiñón Ostra como la del Shiitake.

## 7.7 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 7

1. Sepúlveda, 3. 1992. **Ingeniería Económica**. 1ªEd. México: McGraw- Hill.
2. Zomosa, A. 1983. **Manual de Proyecto de Ingeniería Química**. 1ªEdición.

# CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES

## 8.1 CONCLUSIONES

Desde el punto de vista económico el cultivo de especies de hongos comestibles como el *Pleurotus ostreatus* y *Lentinula edodes* resulta ser muy interesante, debido a que en la actualidad se han desarrollado modernas técnicas de cultivo que permiten aprovechar mejor las áreas disponibles, así como también disminuir en forma ostensible los tiempos de fructificación, refiriéndonos con ello principalmente al Shiitake (*Lentinula edodes*). Además estas especies no son comercializadas en Chile, por lo que se podría generar una demanda bastante interesante del producto.

No es de extrañar entonces, que al realizar la evaluación económica del proyecto, esta haya resultado rentable, no obstante, es necesario evaluar con mayor detención las ventajas comparativas que se presentan al querer implementar minas abandonadas para realizar una actividad que requiere que se cumplan ciertas condiciones ambientales, principalmente de temperatura y humedad relativa constantes en ciertas etapas del proceso y que son vitales para poder tener una producción adecuada durante todo el año.

Por tal motivo, para poder determinar si realmente las minas son lugares aptos para el cultivo comercial de hongos comestibles, es de vital importancia desarrollar una experiencia a nivel piloto que permita evaluar las condiciones durante todo el día, tanto en la etapa de incubación como de fructificación, así como también los rendimientos bajo condiciones que no serían las óptimas y que son las que poseen las minas en forma natural sin tener que implementar equipamiento que implique un costo adicional, que estaría de cierta forma atentando con la posibilidad de hacer atractivo el uso de las minas como sala de cultivo.

Resulta necesario mencionar en este punto, que fuera de lo netamente económico, que sin lugar a dudas es un factor importantísimo a la hora de llevar o no a cabo un proyecto, el aspecto social, juega aquí un papel de gran trascendencia, debido a que el proyecto es gestado con el fin de poder generar nuevas fuentes de empleo en una Provincia que presenta uno de los índices de cesantía más altos a nivel nacional.

## APÉNDICES

### APÉNDICE CATASTRO DE MINAS ABANDONADAS EN LA PROVINCIA

A continuación, se presentan las características que fueron evaluadas a las minas visitadas en la Provincia de Petorca, a partir, de la información aquí obtenida, se pudo establecer cuales eran las principales condiciones que debían cumplir as minas que se abandonadas para ser implementadas en centros productores de hongos comestibles.

Nombre de la mina: **La Escapada**

Fecha de la visita: 29 de Abril de 1999

hora: 15:00 h.



Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra ubicada inmediatamente al norte del sector urbano de la ciudad de Cabildo. En un cordón de cerros que limita el valle del río La Ligua con el valle del río Petorca. El sector se denomina la Grupa. Las pertenencias que albergan la mina, se encuentran en terrenos del Polvorín de SADEMI.
2. Área disponible	Esta mina es pequeña, tiene aproximadamente 1.8 m. de ancho por 50 m. De largo y 1.5 a 2 m de altura.
3. Acceso a las minas	Por la ubicación, cercana con respecto a Cabildo, esta mina cuenta con un muy buen acceso. Desde Cabildo se toma el camino asfaltado hacia Petorca, por aproximadamente 2 km, en el sector cuesta La Grupa hay un desvío, un camino de tierra, que lleva hasta el Polvorín y las inmediaciones de la mina.
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina no presenta servicios de agua y luz eléctrica.
5. Disponibilidad y calidad de agua	-
6. Temperatura	23 a 19.8°C (variación entre la entrada y final de la mina)
7. Humedad relativa	55 a 62,5% (variación entre la entrada y final de la mina)
8. Ventilación	Buena.

### **Fotos de la Mina la Escapada.**

Foto 1. Vista exterior de la mina.



Foto 2. Vista interior de la mina.



Nombre de la mina: **Rafaela**

Fecha de la visita: 29 de Abril de 1999.

hora: 16:30 h.

Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra ubicada en la comuna de Cabildo, en el cordón de serranía donde se ubica la mina Peumo, Chancleta; a aproximadamente 20 km al sudoeste de Cabildo. En la mina existen tres labores principales y los rajos de explotación superiores, actualmente agotados.
2. Área disponible	Este es un conjunto de 4 minas, disponiéndose de un área bastante amplia, la altura de una de ellas es de aproximadamente 2m.
3. Acceso a las minas	El acceso a la mina es por el camino de Cabildo unido a esta localidad por un camino de tierra de 2ª clase que remonta desde la cota 300 hasta la cota 760, debiendo primero sobrepasar la cota 1000 que constituye la divisoria del drenaje. El camino de tierra es compartido con la mina Peumo, correspondiente al sector de Peñablanca.
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina no presenta servicios de agua y luz eléctrica.
5. Disponibilidad y calidad de agua	-
6. Temperatura	26 a 23°C (variación entre la entrada y final de la mina)
7. Humedad relativa	40 a 52% (variación entre la entrada y final de la mina)
8. Ventilación	Buena.

### **Fotos Mina Rafaela**

Foto 1. Vía de acceso a la mina.



Foto 2. Vía de acceso a la mina.



Foto 3. Camino para llegar a la mina



Nombre de la mina: **Delirio**

Fecha de la visita: 6 de Mayo de 1999.

hora: 14:30 h.

Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra en Chincolco próximo al camino principal.
2. Área disponible	Es una mina que presenta una longitud de aproximadamente 100 m por 1.5 m de ancho
3. Acceso a las minas	El camino para llegar a la mina es bastante accesible, puesto que se localiza muy cerca del camino principal
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina no presenta servicios de agua y luz eléctrica, pero se encuentra muy próxima a un poblado que dispone de estos servicios.
5. Disponibilidad y calidad de agua	
6. Temperatura	20 a 18°C (variación entre la entrada y final de la mina)
7. Humedad relativa	48 a 50% (variación entre la entrada y final de la mina)
8. Ventilación	Buena.

Nombre de la mina: **Río Tinto**

Fecha de la visita: 6 de Mayo de 1999.

hora: 16:00 h.

Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra ubicada en la ladera oriental del Cerro Negro, en la ribera norte del río Petorca, a una altitud de alrededor de 640 m.s.n.m, de manera que sus coordenadas UTM de referencia quedan indicadas por N 6433275 m y E 322790 m.
2. Área disponible	Este es un conjunto de 3 minas, dos de las cuales están aterradas (cerradas), encontrándose la última de ellas en condiciones no aptas para ser habilitada.
3. Acceso a las minas	Se llega a la mina a través de un desvío, hacia el norte, del camino que lleva de Petorca a Chincolco, frente a la quebrada de La Polcura. A través de este camino, que vadea el río Petorca, la mina dista 2 km de la planta de lixiviación de La Polcura, donde se encontraba el antiguo poder de compra de minerales de ENAMI, a unos 8 km al oriente de Petorca.
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina no presenta servicios de agua y luz eléctrica.
5. Disponibilidad y calidad de agua	
6. Temperatura	25°C (Tª ambiente) 23°C (interior de la mina)
7. Humedad relativa	42% (interior de la mina)
8. Ventilación	Buena.

Nombre de la mina: **La Canela**

Fecha de la visita: 12 de Mayo de 1999.

hora: 11:30 h.

Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra ubicada en el sector denominado Los Molinos a unos 9 km de la ciudad de Cabildo. Sus coordenadas son: N 6413650 m., E 310975 m., Cota 410 m.s.n.m.
2. Área disponible	Este es un conjunto de aproximadamente 10 minas, cada una de las cuales es bastante pequeña, con una altura no superior a 1.7 m, una longitud de 42 m y ancho 1.5 m.
3. Acceso a las minas	El camino para llegar a la mina es de fácil acceso, localizándose cerca de una población.
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina presenta servicios de agua subterránea y luz eléctrica.
5. Disponibilidad y calidad de agua	Se dispone de una gran cantidad de agua subterránea. Los análisis de calidad de agua se presentan en la Tabla 2.2.
6. Temperatura	16 – 18°C (variación entre la entrada e interior de la mina)
7. Humedad relativa	54 – 55% (variación entre la entrada e interior de la mina)
8. Ventilación	Escasa

Tabla A.1 Resultados análisis de calidad de agua.

Parámetro	Concentración
Cenizas	332.0 ppm
Dureza temporal	18.16 ppm eq.CaCO <sub>3</sub>
Dureza permanente	12.86 ppm eq.CaCO <sub>3</sub>
Dureza total	31.02 ppm eq.CaCO <sub>3</sub>

Nombre de la mina: **Elsa Montoya**

Fecha de la visita: 12 de Mayo de 1999.

Hora: 13:30 h.

Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra ubicada a 20 km al N.E. de la ciudad de Cabildo, a 1300 m.s.n.m.
2. Área disponible	Esta mina se caracteriza por disponer de una extensa área que se distribuye en una galería principal de unos 120 m de longitud y después se ramifica en dos brazos principales de unos 100 m de longitud cada uno. La altura promedio es de 2.5 m y 2.0 a 2.5 m de ancho.
3. Acceso a las minas	El acceso a la mina desde Cabildo, se realiza por un camino no pavimentado, cuyo desarrollo, en gran parte, va emplazado en la Quebrada Las Chacrilas. El camino, en general, presenta pendientes longitudinales menores a 3% y curvas horizontales suaves, se exceptúan los últimos 4 km los cuales presentan pendientes fuertes y numerosas curvas de radio reducido. El desarrollo del camino desde Cabildo a la mina Elsa Montoya comprende un total de 20 km.
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina no presenta servicios de agua y luz eléctrica.
5. Disponibilidad y calidad de agua	Se dispone de agua subterránea.
6. Temperatura	15 – 17°C (variación entre la entrada e interior de la mina)
7. Humedad relativa	50 – 62.5% (variación entre la entrada e interior de la mina)
8. Ventilación	Buena.

### **Fotos Mina Elsa Montoya.**

Foto 1. Camino de acceso





Foto 2. Interior de la mina.



Foto 3. Labores interiores de la mira



Foto 4. Labores interiores de la mira



Nombre de la mina: **Dulcinea**

Fecha de la visita: 9 de Junio de 1999.

hora:13:30 h.

Parámetros	Observaciones
1. Ubicación de las minas	Se encuentra ubicada a unos 65 km al Noreste de la ciudad de Cabildo, en la sierra Chalaco. La ubicación geográfica es la siguiente: coordenadas N 6443700 m E 329200 m. Cota 1200 m.s.n.m.
2. Área disponible	Esta mina si bien presenta una amplia área, gran parte de esta no tiene las condiciones de seguridad necesarias como para poder ser implementada.
3. Acceso a las minas	Para acceder a ella se debe tomar el camino que lleva a la ciudad de Petorca para luego internarse por el camino que lleva a Chicolco desde donde se interna hacia el sector de El Chalaco.
4. Disponibilidad de servicios energéticos	La mina no presenta servicios de agua y luz eléctrica.
5. Disponibilidad y calidad de agua	Se dispone de agua subterránea.
6. Temperatura	17 - 19°C (variación entre la entrada e interior de la mina)
7. Humedad relativa	
8. Ventilación	Buena.