

## Diseño de un sistema para la desinfección de sustrato utilizado en la producción de micorrizas

Marco Antonio Audelo Benítez<sup>1§</sup> y Martha Blanca Irízar Garza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA)- INIFAP. Carretera Los Reyes- Lechería, km 18.5. Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

<sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México- INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250. Tel: 12657 irizar.martha@inifap.gob.mx. §Autor para correspondencia: audelo.marco@inifap.gob.mx.

### Resumen

El aumento de la necesidad de maximizar la producción de alimentos de origen agrícola ha ocasionado que se tenga un uso indiscriminado de fertilizantes químicos, a su vez esto trae como consecuencia un aumento en los costos de producción y daños al medio ambiente. Una alternativa es el uso de biofertilizantes en lugar de los fertilizantes químicos. En este sentido, el INIFAP ha identificado diversos microorganismos que han demostrado inducir el desarrollo vegetal de las plantas, y además ha desarrollado el método para su multiplicación masiva. Uno de estos productos es la micorriza INIFAP<sup>MR</sup>. Un paso importante dentro de la producción de micorriza es la desinfección del sustrato, actualmente se utiliza bromuro de metilo como desinfectante, desafortunadamente el uso de este producto trae fuertes problemas ambientales. Por lo anterior y con el objetivo de encontrar alternativas de producción amigables con el medio ambiente se propone la generación de una propuesta a base de vapor de agua, que no sea contaminante y que asegure un sustrato libre de patógenos y herbáceas para obtener un producto a base de micorriza de calidad. La metodología utilizada para el cumplimiento del objetivo es la usual en los proyectos de diseño: definición de los requerimientos de los usuarios -clientes-, diseño conceptual, diseño de detalle, construcción y evaluación del prototipo. Se presentan los resultados de cada uno de los pasos establecidos en la metodología mencionada.

**Palabras clave:** diseño, producción de micorrizas, vapor de agua.

### Introducción

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos y su proceso de obtención y aplicación ha incrementado los costos de producción agrícola y los problemas ambientales debido a la contaminación del aire, el suelo y las aguas. Se ha planteado como alternativa la aplicación de fertilizantes biológicos como una herramienta económica y limpia para el manejo sostenible de los ecosistemas.

La importancia que tienen los microorganismos en la naturaleza y en sus relaciones con el hombre es cada día más evidente. Cuando la agricultura tiene la necesidad de adoptar medidas conservacionistas, los microorganismos utilizados como biofertilizantes tienen un papel sustancial. El desarrollo y uso de los biofertilizantes se contempla como una importante alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales (Kennedy y Smith, 1995; Shah *et al.*, 2006).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través de su programa de investigación en biofertilizantes, ha identificado diversos microorganismos que han demostrado inducir el desarrollo vegetal de las plantas. Así mismo, se ha desarrollado el método para su multiplicación masiva. Entre éstos productos se encuentra la micorriza INIFAP<sup>MR</sup>, consta de una bolsa con 1 kg de suelo (con esporas, hifas y raíces colonizadas por el hongo endomicorrícico *Glomus intraradices*) y adherente.

Actualmente, en la producción de micorriza el método de desinfección de sustrato utilizado es con base al bromuro de metilo (Duran *et al.*, 2000) o metam sodio. Éste producto se ha utilizado ampliamente para el control de patógenos, como hongos, bacterias, nemátodos, e insectos, además de malezas, siendo considerado uno de los mejores fumigantes en la desinfección de suelos, para la producción de hortalizas en invernaderos. Sin embargo, se ha demostrado que, junto a otras sustancias, es un destructor de la capa de ozono que cubre al planeta, lo cual representa un serio problema para la supervivencia de los seres vivo en la tierra.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) y los gobiernos de los principales países han promovido medidas que permitan reducir la producción y uso del bromuro de metilo, estableciendo un programa de retiro gradual del mercado de manera que se llegue a prohibir totalmente su uso a partir del año 2015. Un método más amigable es el uso de vapor de agua para la desinfección de sustrato el cual resulta igual de efectivo pero con menor impacto ambiental.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un sistema de desinfección de sustrato por medio de vapor de agua que no fuera contaminante y que asegure su sustrato libre de patógenos y herbáceas para obtener un producto a base de micorriza de calidad.

## Materiales y métodos

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se propuso la utilización de la metodología que comúnmente se usa en los proyectos de diseño mecánico.

Un proyecto de este tipo comprende:

- La detección de una necesidad;
- La conceptualización de las soluciones;
- La selección de la mejor solución;
- El desarrollo del diseño de detalle;
- La construcción y prueba evaluación del prototipo.

Se utilizó el modelo sinérgico de desarrollo de productos en donde se consideran todas las aportaciones de las personas involucradas en el proyecto, directa o indirectamente, y en

donde los detalles del diseño se especifican en las primeras etapas de éste ahorrando tiempo en las modificaciones que pudieran hacerse incluso en el proceso de fabricación (Watanabe, 2002).

En este modelo, una vez ya identificada la necesidad se procede a formar el equipo de trabajo, se comprende a fondo el problema, pudiéndolo descomponer a su vez en subsistemas; se hace una revisión del proyecto para determinar si tiene una solución factible y continuar o finalizar; si se decide continuar se generan conceptos que pueden dar solución al problema y se evalúan. Una vez más se revisa el proyecto y se determina si se continúa o se termina el proceso; si se continúa se realiza el diseño a detalle y se vuelve a revisar para determinar si es factible su producción (Watanabe, 2002).

Para el desarrollo del proyecto, en la etapa de comprensión del problema, aplicaremos una herramienta desarrollada en Japón en la época de los 60's conocida como "despliegue de las funciones de calidad" (Quality Function Deployment QFD, por sus siglas en inglés), consiste en determinar sistemáticamente todos los requerimientos del cliente para después traducirlos a requerimientos técnicamente mensurables con el objetivo de saber las características con que el producto debe contar (Watanabe, 2002).

El QFD contempla lo siguiente:

- Identificación del cliente;
- Determinación de los requerimientos del cliente;
- Clasificación de los requerimientos del cliente;
- Ponderación de los requerimientos del cliente;
- Estudio comparativo (BenchMarking);
- Traducción de los requisitos del cliente en términos mensurables.

Para el desarrollo del diseño conceptual se siguieron los siguientes pasos:

- Delimitación de la función global con los factores a los que afecta y que lo afectan;
- Establecimiento de la descomposición funcional;
- Generación el árbol de funciones correspondiente;
- Elaboración la tabla morfológica del diseño;
- Evaluación de conceptos;
- Selección de la mejor opción.

El diseño de detalle consiste en definir las especificaciones de los equipos a construir, esto quiere decir que como resultado de esta etapa, se debe disponer de dimensiones, materiales y los medios de accionamiento de los equipos. Esta etapa consta de los siguientes pasos:

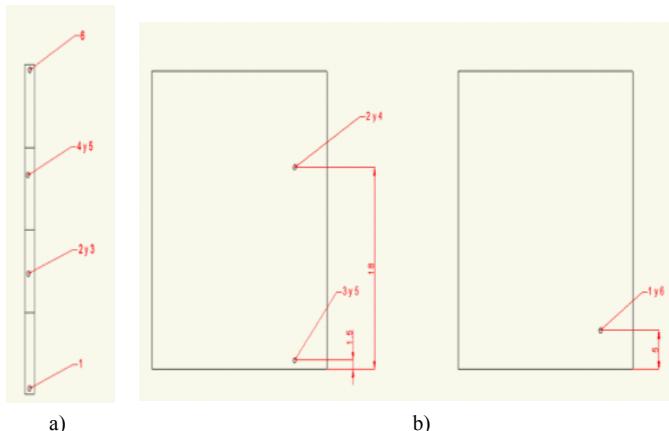
Memoria de cálculo;

Dibujo de detalle o construcción;

El siguiente paso es la construcción y evaluación del equipo diseñado;

Para la evaluación del equipo se hicieron dos tipos de pruebas, uno fue para determinar el tiempo requerido para alcanzar la temperatura requerida, el otro fue para verificar que se cumple con la desinfección del sustrato.

Para la realización del primer tipo de prueba se preparó un cantero de la misma forma que se hace en la producción normal de micorrizas. Para el monitoreo de las temperaturas se utilizaron seis termopares tipo K en diferentes puntos del cantero, los cuales se ubicaron en el plano horizontal como se muestra en la Figura 1a. En los extremos se colocó solo un termopar a 5 cm del suelo, mientras que para los puntos intermedios se colocaron 2 a diferentes profundidades, los termopares 3 y 5 a 1.5 cm y los termopares 2 y 4 a 18 cm (Figura 1b).



**Figura 1. Distribución de los termopares para el monitoreo de temperatura: a) plano horizontal; y b) plano vertical.**

Los termopares utilizados se calibraron y, en general, presentaron una variación de 0.5 grados, lo que representa menos de 1% de las magnitudes medidas. El cantero se cubrió con plástico con el fin de mantener el mayor tiempo posible el vapor de agua sobre la tierra (Figura 2).



**Figura 2. Cubierta de plástico de la columna de sustrato.**

La caldera trabajó en un intervalo de presión de 2.5 a 3 kg cm<sup>-2</sup>. El monitoreo se realizó cada 30 min durante las 5.5 h que duró la prueba (Figura 3).



**Figura 3. Monitoreo de las temperaturas.**

## Resultados y discusión

### Determinación de los requerimientos del cliente

Como resultado de esta etapa se obtuvieron los siguientes requerimientos, a los cuales llamaremos “requerimientos de calidad”:

#### 1. Económicos

a) **Precio competitivo.** El equipo debe tener un precio que no supere el precio de los equipos de características similares ya existentes en el mercado.

b) **Bajo costo de refacciones.** Las refacciones utilizadas para la reparación de los equipos deben ser de costo razonable y que se encuentren disponibles en la región en donde se va a instalar el equipo.

c) **Bajo costo de fabricación.** El costo de fabricación de los equipos no debe superar al precio de fabricación de los equipos existentes.

## 2. Funcionales

a) El método para desinfectar debe ser a base de vapor de agua.

b) **Facilidad de instalación.** El equipo no debe presentar problemas para su instalación.

c) **Fácil operación.** La operación del equipo debe ser de manera sencilla, no debe presentar ningún tipo de problema para el operador u operadores. La capacitación para esta persona no debe ser muy especializada y la cantidad de personas para operarlo debe ser de máximo dos personas.

d) **Durabilidad.** La duración de este equipo debe superar a la duración que ofrecen las compañías que fabrican transportadores.

e) **Facilidad de mantenimiento.** El mantenimiento debe realizarse por cualquier persona que tenga conocimiento del funcionamiento del equipo. La preparación de la persona no debe causar una inversión fuerte al productor. La realización del mantenimiento debe hacerse en un tiempo corto y el número de personas para realizarse debe ser el mínimo.

f) **Facilidad de accionamiento.** El accionamiento debe hacerse de manera sencilla y en un tiempo mínimo.

g) **Facilidad de reparación.** La reparación debe realizarse de manera que sea lo mas rápida posible, teniendo el personal adecuado y una disposición de refacciones.

h) **Facilidad de paro en caso de accidentes.**

i) **Capacidad.** Se deben procesar por lo menos 1 cantero en 8 h de trabajo.

## 3. Necesidades del constructor

a) Tiempo de construcción e instalación.

b) Utilización de maquinaria no especializada.

c) Disponibilidad de materia prima para su fabricación.

d) Facilidad de fabricación.

## 4. Seguridad

a) Su funcionamiento debe garantizar la integridad del operador y de personas que laboren en sus alrededores.

b) Colocación de señalamientos de zonas de riesgo.

c) Seguridad en la fabricación.

d) Utilización de protectores por los empleados.

## 5. Del producto obtenido

a) La presencia de patógenos (hongos, bacterias, nemátodos e insectos), además malezas con igual o menor al producto obtenido cuando se usa bromuro de metilo como desinfectante.

## Clasificación de los requerimientos del cliente

La clasificación de los requerimientos del cliente se hace considerando si son mensurables y si son obligatorios (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Clasificación de los requerimientos del cliente.**

Ref.	Requerimientos	Valor	Unidad	Mesurable	Obligatorio
1.	<b>Económicos</b>				
a.	Precio competitivo	\$		✓	✓
b.	Bajo costo de refacciones	\$		✓	✓
c.	Bajo costo de fabricación	\$		✓	✓
2.	<b>Funcionales</b>				
a.	El método para desinfectar debe ser a base de vapor de agua			X	✓
b.	Facilidad de instalación			X	X
c.	Fácil operación			X	✓
d.	Durabilidad	10	años	✓	✓
e.	Facilidad de mantenimiento			X	✓
f.	Facilidad de accionamiento			X	✓
g.	Facilidad de reparación			X	✓
h.	Facilidad de paro en caso de accidentes			X	✓
i.	Capacidad	≥1	Cantero/día	✓	✓

**Cuadro 1. Clasificación de los requerimientos del cliente (Continuación).**

Ref.	Requerimientos	Valor	Unidad	Mesurable	Obligatorio
3.	<b>Necesidades del constructor</b>				
a.	Tiempo de construcción e instalación	≤3	meses	✓	✗
b.	Utilización de maquinaria no especializada			✗	✗
c.	Disponibilidad de materia prima para su fabricación			✗	✗
d.	Facilidad de fabricación			✗	✗
4.	<b>Seguridad</b>				
a.	Su funcionamiento debe garantizar la integridad del operador y de personas que laboren en sus alrededores			✗	✓
b.	Colocación de señalamientos de zonas de riesgo			✗	✓
c.	Seguridad en la fabricación			✗	✗
d.	Utilización de protectores por los operadores	Los mínimos requeridos	Pza	✓	✓
5.	<b>Del producto obtenido</b>				
a.	La presencia de patógenos, como hongos, bacterias, nemátodos, e insectos, además de malezas sea igual o menor al producto obtenido cuando se usa bromuro de metilo como desinfectante, en todo el sustrato			✗	✓

**Ponderación de los requerimientos del cliente**

Para la ponderación de los requerimientos deseables se analizó la tabla anterior y se tomaron sólo los requerimientos que son deseables para evaluar la importancia de los mismos. Esto para saber en cuál o cuáles requerimientos es necesario poner más atención durante el diseño y cumplir mejor nuestros objetivos. Como resultados de este análisis se generó el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Ponderación de los requerimientos deseables.**

Req. deseables	2b	3a	3b	3c	3d	4c	No de +	Peso relativo (%)
2b	+	+	+	-	-	-	3	20
3a	-		+	+	+	-	3	20
3b	-	-	-	-	-	-	0	0.00
3c	-	-	+	-	-	-	1	6.67
3d	+	-	+	+	-	-	3	20
4c	+	+	+	+	+	+	5	33.33
Total							15	100

Para obtenerlo se consideró lo siguiente: + = requisito más importante; - = requisito menos importante; con esto se utilizó la siguiente relación:

$$\text{No. de combinaciones} = \frac{N(N-1)}{2} = \text{Total}$$

Donde: N= número de requisitos deseables

Para calcular el peso relativo se utilizó la siguiente relación:

$$\text{Peso relativo} = \left[ \frac{\text{Número de +}}{\text{Total}} \right] \times 100$$

**Estudio comparativo (BenchMarking)**

El siguiente paso fue el estudio comparativo o Benchmarking, el propósito de este estudio entre diversos productos que satisfagan de igual manera una necesidad, es el de analizar y evaluar la forma en que cada producto cumple con los requerimientos de calidad, y así conocer las fortalezas y debilidades de cada uno.

Desafortunadamente no se encontraron equipos en el mercado nacional y la información disponible de otros equipos a nivel internacional no fue suficiente para poder realizar este análisis.

### **Traducción de los requisitos del cliente en términos mensurables**

La traducción de los requerimientos del cliente en términos mensurables, permite procesar dos tipos de información; por una parte, el estudio comparativo entre productos de la competencia puede adquirir un nivel objetivo, en tanto la comparación deja de ser relativa para convertirse en una comparación metrológica. Por otro lado, se pre establecen las principales especificaciones del producto. Esto es, cada

requerimiento mensurable relacionado a una unidad de medida se convierte en una meta de diseño al asociarse a una cifra.

La traducción se puede observar en el Cuadro 3.

### **Conceptualización de las soluciones**

#### **Delimitación de la función global con los factores a los que afecta y que lo afectan**

La función global es la desinfección del sustrato y para poder realizarla es necesario contar con tres operaciones primarias: controlar el proceso ( $R_a$ ), abastecer de desinfectante ( $R_b$ ) y suministrar el sustrato.

**Cuadro 3. Traducción de los requerimientos en términos mensurables.**

Ref.	Requerimientos	Traducción	Valor	Unidad
<b>2 Funcionales</b>				
A	El método para desinfectar debe ser a base de vapor de agua	Se debe utilizar vapor para desinfectar el sustrato	El requerido	Adimensional
B	Facilidad de instalación	Tiempo necesario de adiestramiento Escolaridad mínima necesaria Cantidad de personas necesarias para instalar	16 Primaria 2	Horas Grado escolar Personas
C	Fácil operación	Tiempo necesario de adiestramiento Escolaridad mínima necesaria Cantidad de personas necesarias para operar	8 Primaria 2	Horas Grado escolar Personas
E	Facilidad de mantenimiento	Tiempo necesario de adiestramiento Escolaridad mínima necesaria Cantidad de personas necesarias para dar mantenimiento Tiempo de mantenimiento	8 Primaria 2 6	Horas Grado escolar Personas Horas
F	Facilidad de accionamiento	No. de personas máximo para accionar el sistema	1	Persona
G	Facilidad de reparación	Tiempo máximo para accionar el sistema Tiempo de adiestramiento Escolaridad mínima Cantidad mínima de personas para reparar	≤ 10 20 Primaria 3	Minutos Horas Grado escolar Personas
H	Facilidad de paro en caso de accidentes	No. de personas máxima para detener el sistema Tiempo máximo para detener el sistema	1 < 5	Personas Segundos
<b>3 Necesidades del constructor</b>				
B	Utilización de maquinaria no especializada	No. de máquinas especializadas	< 5	Máquinas

**Cuadro 3. Traducción de los requerimientos en términos mensurables (Continuación).**

Ref.	Requerimientos	Traducción	Valor	Unidad
C	Disponibilidad de materia prima para su fabricación	Tiempo de adquisición de materia prima	< 5	Días
D	Facilidad de fabricación	Tiempo de fabricación	≤ 3	meses
<b>4 Seguridad</b>				
A	Su funcionamiento debe garantizar la integridad del operador y de personas que laboren en sus alrededores	Número de accidentes durante su operación	0	Accidentes
B	Colocación de señalamientos de zonas de riesgo	Núm. de señalamientos colocados	Los necesarios	Señalamientos
C	Seguridad en la fabricación	Núm. de accidentes durante su fabricación	0	Accidentes
<b>5 Del producto obtenido</b>				
A	La presencia de patógenos, como hongos, bacterias, nemátodos, e insectos, además de malezas sea igual o menor al producto obtenido cuando se usa bromuro de metilo como desinfectante	Presencia de hongos Presencia de bacterias Presencia de nematodos	Análisis negativo a bacterias fitopatógenas Análisis negativo	UFC/g de suelo

**Descomposición funcional**

Función global: desinfectar sustrato

Funciones primarias:

Ra: controlar el proceso

Rb: abastecer de desinfectante

Rc: suministrar sustrato

Funciones secundarias:

Ra: controlar el proceso

Ra<sub>1</sub>: accionar el suministro de desinfectanteRa<sub>11</sub>: accionar la fuente de desinfectanteRa<sub>2</sub>: asegurar el buen funcionamiento del equipoRa<sub>21</sub>: verificar que los componentes se encuentran en buen estadoRa<sub>22</sub>: verificar el buen funcionamiento del equipoRa<sub>3</sub>: Realizar el mantenimiento del equipoRa<sub>31</sub>: realizar el mantenimiento correctivoRa<sub>32</sub>: determinar el mantenimiento preventivoRa<sub>33</sub>: realizar el mantenimiento preventivoRa<sub>4</sub>: detener el suministro de desinfectanteRa<sub>41</sub>: detener la fuente de desinfectante

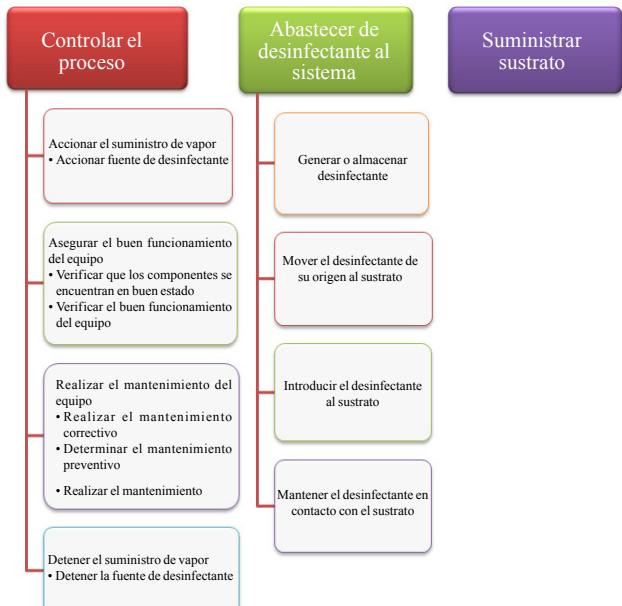
Rb: abastecer de desinfectante al sistema

Rb<sub>1</sub>: generar o almacenar desinfectanteRb<sub>2</sub>: mover el desinfectante de su origen al sustratoRb<sub>3</sub>: introducir el desinfectante al sustratoRb<sub>4</sub>: mantener el desinfectante en contacto con el sustrato

Rc: suministrar el sustrato

**Árbol de funciones**

Desinfectar sustrato con vapor de agua



### Tabla morfológica del diseño

Una vez realizado el árbol de funciones se puede pasar a la generación de conceptos. Para esto se utiliza la herramienta denominada “tabla morfológica del diseño” la cual, para este caso, se presenta a continuación.

Para las funciones primarias se tiene el Cuadro 4.

Con esto se realiza una segunda tabla morfológica pero ahora con las funciones secundarias (Cuadro 5).

**Cuadro 4. Generación de conceptos a partir de las funciones primarias.**

Funciones	Conceptos			
	I	II	III	IV
Ra	Manual	Automático	Semi automático	
Rb	Físico	Químico		
Rc	Manual	Mecánico		

— = opción 1; y — = opción 2.

**Cuadro 5. Generación de conceptos a partir de las funciones secundarias.**

Funciones	Conceptos			
	I	II	III	IV
Ra <sub>1</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Ra <sub>2</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Ra <sub>3</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Ra <sub>4</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Rb <sub>1</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Rb <sub>2</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Rb <sub>3</sub>	Manual	Automático	Semi automático	
Rb <sub>4</sub>	Manual	Automático	Semi automático	

— = opción 1; — = opción 2; — = opción 3.

Como resultado de los dos primeros pasos se obtuvieron las opciones siguientes:

Las opciones que quedarían viables serían las opciones en las que se utiliza un desinfectante físico, ya que de entrada es un requerimiento del cliente. La opción tres también se descarta debido a que si se va a utilizar vapor de agua resulta inviable la aplicación manual.

La opción uno y dos se pueden dividir en dos variantes, una la aplicación directa del vapor sobre el suelo o la utilización de un dispositivo a que vaya inyectando el vapor desde la parte inferior.

Después de este análisis se generaron tres conceptos, aunque habría que considerar el primer análisis, por que pudieran ser en realidad seis opciones, las tres mencionadas pero con dos variantes de desinfectante, uno químico y otro físico.

### Evaluación de conceptos

La toma de decisiones se puede dividir en cuatro pasos:  
Juicio de fiabilidad;  
Estado de arte;  
Contra los requerimientos del cliente;  
Comparación relativa.

Entonces las opciones quedan como sigue:

- i. Combinación entre manual y automática, con la aplicación del vapor de agua en la parte superior.
- ii. Combinación entre manual y automática, con la aplicación de vapor en la parte inferior.
- iii. Aplicación completamente automática, con la aplicación del vapor de agua en la parte superior.
- iv. Aplicación completamente automática, con la aplicación del vapor de agua en la parte inferior.

El tercer paso consiste en comparar los conceptos existentes contra los requerimientos del cliente. Teniendo los resultados del Cuadro 6.

**Cuadro 6. Evaluación de conceptos con base a los requerimientos del cliente.**

Ref.	Requerimientos	Conceptos			
		1	2	3	4
<b>1</b>	<b>Económicos</b>				
A	Precio competitivo	✓	✓	✗	✗
B	Bajo costo de refacciones	✓	✓	✗	✗
C	Bajo costo de fabricación	✓	✓	✗	✗
<b>2</b>	<b>Funcionales</b>				
A	El método para desinfectar debe ser a base de vapor de agua	✓	✓	✓	✓
B	Facilidad de instalación	✓	✗	✗	✗
C	Fácil operación	✓	✗	✓	✓
D	Durabilidad	✓	✓	✓	✓
E	Facilidad de mantenimiento	✓	✓	✓	✓
F	Facilidad de accionamiento	✓	✓	✓	✓
G	Facilidad de reparación	✓	✓	✓	✓
H	Facilidad de detención en caso de accidentes	✓	✗	✓	✓
I	Capacidad	✓	✓	✓	✓
<b>3</b>	<b>Necesidades del constructor</b>				
A	Tiempo de construcción e instalación	✓	✓	✗	✗
B	Utilización de maquinaria no especializada	✓	✓	✓	✓
C	Disponibilidad de materia prima para su fabricación	✓	✓	✓	✓
D	Facilidad de fabricación	✓	✓	✗	✗
<b>4</b>	<b>Seguridad</b>				
A	Su funcionamiento debe garantizar la integridad del operador y de personas que laboren en sus alrededores	✓	✓	✓	✓
B	Colocación de señalamientos de zonas de riesgo	✓	✓	✓	✓
C	Seguridad en la fabricación	✓	✓	✓	✓
D	Utilización de protectores por los operadores	✓	✓	✓	✓
<b>5</b>	<b>Del producto obtenido</b>				
A	La presencia de patógenos, como hongos, bacterias, nemátodos, e insectos, además de malezas sea igual o menor al producto obtenido cuando se usa bromuro de metilo como desinfectante en todo el sustrato	✓	✗	✓	✗

Como último filtro se tiene la comparación relativa. Para esto se utiliza el Método Pough, el cual consiste en comparar las diferentes opciones que se tienen contra los requerimientos opcionales del cliente tomando como base una de las opciones, obteniendo los resultados del Cuadro 7.

Para todos los casos la opción de referencia es la opción 1.

#### Selección de la mejor opción

Después de haber hecho la evaluación anterior se llegó a la conclusión de que la opción el concepto a desarrollar es la opción 1.

**Cuadro 7. Evaluación de conceptos con base a los requerimientos deseables.**

Req. Deseables	Peso relativo (%)	Conceptos			
		1	2	3	4
2b	20	0	-1	-1	
3a	20	-1	-1	-1	
3b	0	0	0	0	
3c	6.67	0	0	0	
3d	20	0	-1	-1	
4c	33.33	0	0	0	
Total	100	-1	-3	-3	

0=la opción cumple de igual forma con el requerimiento evaluado que la opción de referencia; +1=la opción cumple de mejor manera con el requerimiento evaluado que la opción de referencia; y -1=la opción cumple de menor manera con el requerimiento evaluado que la opción de referencia.

## Diseño de detalle

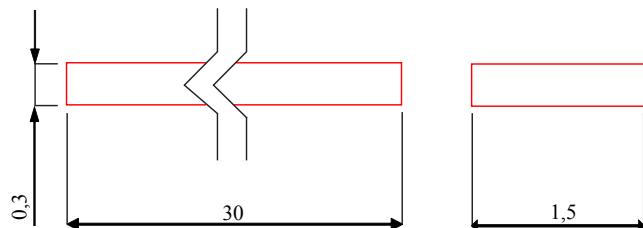
### Memoria de cálculo

El equipo básicamente consiste en un generador de vapor (caldera) las líneas que llevan el vapor desde la caldera hasta el sustrato y la cubierta que mantiene el mayor tiempo posible el vapor en contacto con el sustrato.

### Cálculo de la caldera

Masa del sustrato a desinfectar:

Se considera que la columna de sustrato a desinfectar tiene dimensiones en m de la Figura 4.



**Figura 4. Dimensiones de la columna de sustrato.**

Por lo que el volumen es de  $13.5 \text{ m}^3$ . Si se considera la densidad del sustrato igual a  $1\ 200 \text{ kg m}^{-3}$ , tenemos una masa de  $16\ 200 \text{ kg}$ . Ahora, para calcular la cantidad de vapor requerido se tiene la siguiente relación:

$$CVR = \frac{Q}{CVA}$$

Donde: CVR=cantidad el vapor requerido, kg de vapor por kg de sustrato; Q= calor requerido por el suelo para cambiar su temperatura,  $\text{kJ kg}^{-1}$ .

$$Q_{reqs} = c(T_2 - T_1)$$

Donde: c= calor específico del sustrato,  $\text{kJ (kg }^\circ\text{C)}^{-1} = 1.05 \text{ kJ (kg }^\circ\text{C)}^{-1}$ ;  $T_2, T_1$ = temperaturas inicial y final del suelo,  $^\circ\text{C}$ ; CVA= calor latente de vaporización del agua,  $\text{kJ kg}^{-1} = 2\ 256 \text{ kJ kg}^{-1}$ .

Sustituyendo los datos se tiene:  $Q_{reqs} = 88.2 \text{ kJ kg}^{-1}$  Por lo que:  $CVR = 0.04 \text{ kg de vapor por kg de sustrato}$ . Si se considera la cantidad de sustrato que se requiere desinfectar,  $16\ 200 \text{ kg}$ , se tiene:  $633.16 \text{ kg de vapor de agua}$ . Aquí se deben considerar las pérdidas de propio sistema y se considera 50% más, por lo que tenemos:  $949.74 \text{ kg de vapor}$ .

## Construcción y evaluación

Para la construcción del sistema se utilizó la infraestructura con la que se cuenta en la unidad de producción de micorrizas del Campo Experimental “Valle de México”-INIFAP.

En principio y con objetivo de reducir el mínimo la manipulación del sustrato y su posible contaminación, la desinfección se realiza en el mismo lugar en donde se va a colocar para su utilización en la producción de micorrizas (Figura 6).



**Figura 6. Sustrato utilizado en la producción de micorrizas.**

De acuerdo con los requerimientos de vapor de agua, se seleccionó la caldera de la marca PowerMaster, modelo A2-FD2 con una capacidad de  $469 \text{ kg h}^{-1}$  a una presión de operación de  $3 \text{ kg cm}^{-2}$ .



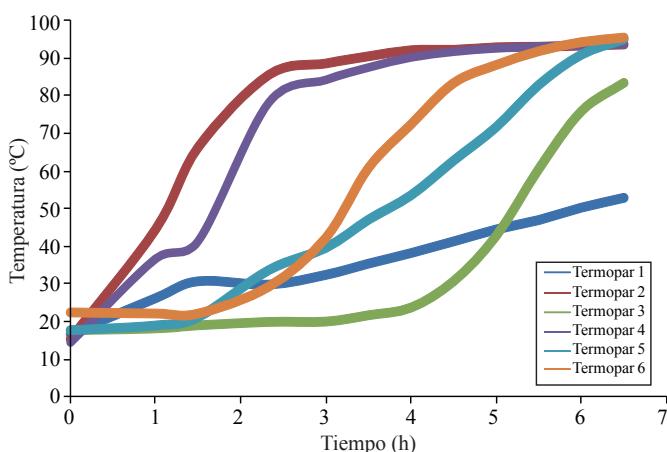
**Figura 7. Caldera utilizada.**

Para mantener el mayor tiempo posible el contacto del vapor de agua con el sustrato se colocó una cubierta de plástico utilizado en la construcción de invernaderos.



**Figura 8. Sustrato cubierto con plástico.**

Una vez instalado el sistema, se obtuvo los resultados de la (Figura 9).



**Figura 9. Temperatura del sustrato durante la evaluación.**

En general, todos los puntos tienen el mismo comportamiento, una vez que llegan a los 40 °C se acelera el aumento de la temperatura, sin embargo en el termopar 1 se observa un comportamiento diferente. Cuando terminó la prueba se destapó el cantero para las condiciones en las que se encontraba y se pudo notar que la parte en donde se encontraba el termopar se había acumulado mucha humedad.

En la segunda prueba se utilizaron las condiciones del último ensayo (tapado con plástico, presión 3 kg cm<sup>-2</sup> por 6 h), se desinfectó un cantero completo y otro con una lata de bromuro de metilo por parcela (2.5 t sustrato). Se tomó una

muestra compuesta de cada cantero con sustrato de las cuatro parcelas y se realizó el análisis de hongos fitopatólogicos. El Cuadro 8 muestra la eficiencia de los tratamientos para desinfectar el sustrato. Se observó que se eliminaron los hongos patógenos *Fusarium* y *Aspergillus* con ambos tratamientos, y aunque con vapor aun se tuvieron conteos de *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp., *Chrysosporium* sp., estos también se tienen en el tratamiento de bromuro de metilo por lo que la metodología sigue siendo eficiente.

**Cuadro 8. Resultados del diagnóstico de suelo antes y después del ensayo.**

Núm. de muestra	Hongos (UFC/g suelo)
Suelo sin tratar 1	<i>Fusarium</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp., <i>Mucor</i> , <i>Aspergillus</i> sp.
Bromuro de metilo	7 000 <i>Rhizopus</i> sp., 7 000 <i>Mucor</i> sp., 3 000 <i>Penicillium</i> sp.
Vapor de agua	13 000 <i>Penicillium</i> sp., 1 000 <i>Cladosporium</i> sp., 66 000 <i>Chrysosporium</i> sp.

Técnicas: diluciones, siembra en diferentes medios, siembra directa, aislamiento, purificación, tamizado, tamizado-centrifugado y observación bajo microscopio LADIFIT-11/270-274.

## Conclusiones

Se cumplió con el objetivo de diseñar un sistema que utiliza vapor de agua para desinfectar sustrato utilizado para la producción de micorrizas, que no sea contaminante y que asegure un sustrato libre de patógenos y herbáceas para obtener un producto a base de micorrizas de calidad.

El sistema diseñado cumple con los requerimientos establecidos por los usuarios de este sistema, incluyendo el de la presencia de patógenos, como hongos, bacterias, nemátodos, e insectos, además de malezas que se requiere que sea igual o menor al producto obtenido (sustrato) cuando se usa bromuro de metilo como desinfectante.

## Literatura citada

- Kennedy, A. C. and Smith, K. L. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. Plant Soil. 170:75-86 pp.

- Shah, S. K.; Shah, R. P.; Xu, H. L. and Aryal, U. K. 2006. Biofertilizers: an alternative source of nutrients for sustainable production of tree crops. *J. Sust. Agric.* 29:85-95.
- Durán, P. A.; Aguirre, M. J. F.; González, C. G.; Peña del Río, M. A. y Schonhoven, C. E. 2001. Producción in vivo de micorriza-arbuscular *Glomus intraradix* con *Brachiaria brizantha* como hospedero en camas reproductoras. Campo Experimental Cotaxtla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico Núm. 29. 27p.
- Watanabe, J. 2002. *Curso de diseño mecánico 1. Sección de Estudios de Posgrado*. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional (IPN). México, D. F. Libro. 10-11 pp.