

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**UTILIZACION DE VAPOR AIREADO PARA ELIMINACION DE MICROORGANISMOS
PATÓGENOS EN DIFERENTES SUSTRATOS QUE CONTIENEN SUELO, PARA
PRODUCCION DE ORNAMENTALES
EN FINCA SANTA CLARA, ALDEA LOS ACHIOTES JUMAY,
DEPARTAMENTO DE JALAPA**

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MARIO GONZALO MARIN CARDONA

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO

EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

Guatemala, enero de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing.Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing.Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	MSc. Danilo Ernesto Dardón Avila
VOCAL CUARTO	Br. Rigoberto Morales Ventura
VOCAL QUINTO	Br. Miguel Armando Salazar Donis
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, enero de 2009

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos Miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a consideración de ustedes, el trabajo de tesis titulado:

**UTILIZACIÓN DE VAPOR AIREADO PARA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS
PATÓGENOS, EN DIFERENTES SUSTRATOS QUE CONTIENEN SUELO, PARA
PRODUCCIÓN DE ORNAMENTALES, EN LA FINCA SANTA CLARA, ALDEA LOS
ACHIOTES JUMAY, DEPARTAMENTO DE JALAPA**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para la aprobación, me suscribo de ustedes,

Deferentemente,

Mario Gonzalo Marín Cardona

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS

Padre misericordioso que me ha orientado en el difícil camino de la vida y por brindarme la sabiduría.

MIS PADRES

Francisco Mario Marín (Q.E.P.D.), mi agradecimiento eterno y flores sobre su tumba.

Mi madre Elcira Cardona, motivo de inspiración, fuente de amor y lucha.

MI ESPOSA

Cristina Isabel, gracias por tu amor y comprensión.

MIS HIJOS

Stephanie Mariet, Brian Daniel y Dulce María, el gran tesoro que Dios me ha enviado y quienes son mi fuente de inspiración.

MIS HERMANOS

Jusvin Ariel, Orlin Arturo y Cristian Slim, quienes forman parte de éste triunfo. Gracias Cristian por tu asesoría.

MIS TIOS, PRIMOS, SOBRINOS, CUÑADOS Y CUÑADAS Gracias por su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores Ing.Agr. M.S.c. Gregorio Amilcar Sánchez e Ing. Agr. Guillermo Ravina Cabrera, por su valiosa colaboración, confianza y orientación en la realización de ésta tesis.

Ing. Agr. Roberto Lara Castillo por permitir el inicio y culminación de éste trabajo.

Ing.Rolando Barrios por su atinada colaboración.

La empresa Floricultura & Cía.Ltda. por brindarme la oportunidad.

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	v
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1 Marco Conceptual	4
3.1.1 Aplicación de vapor	4
3.1.2 Beneficios en la aplicación de vapor	4
3.1.3 Selección del método de pasteurización	6
3.1.4 Vapor aireado	7
3.1.5 Aplicación de vapor con presión negativa	8
3.1.6 Uso global de bromuro de metilo	10
3.1.7 Aplicación de vapor para control de nemátodos	12
3.1.8 Alternativas para sustituir al bromuro de metilo	13
3.1.8.1 Tratamiento con agua caliente	13
3.1.8.2 Solarización	14
3.1.8.3 Basamid	14
3.1.8.4 Metam sodio	15
3.1.8.5 Vapor	15
3.1.8.6 Telone C-17 y Tillam	16
3.1.9 Medio de cultivo	16
3.1.9.1 Características de algunos sustratos	17

A. Productos orgánicos	17
B. Productos inorgánicos	19
C. Productos sintéticos	20
Tabla 1. Clasificación de suelos según el pH	21
3.2 Marco Referencial	23
3.2.1 Geografía	23
3.2.2 Hidrografía	23
3.2.3 Orografía	24
3.2.4 Zonas de vida vegetal	24
3.2.5 Información General del proyecto	25
3.2.6 Condiciones para producción de ornamentales	25
3.2.7 Descripción de la componente física de la finca	26
3.2.7.1 Topografía	26
3.2.7.2 Uso actual del suelo	26
3.2.7.3 Uso potencial del suelo	26
3.2.7.4 Calidad del suelo	27
3.2.7.5 Susceptibilidad a la erosión	27
3.2.7.6 Hidrogeología	27
3.2.7.7 Flora de la zona	27
Tabla 2. Vegetación típica de Jalapa	28
3.2.7.8 Sustratos utilizados en diferentes fórmulas	29
4. OBJETIVOS	30
4.1 General	30
4.2 Específicos	30

5. METODOLOGIA	30
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1 Evaluación de diferentes rangos de temperatura en pasteurización	35
6.2 Análisis biológico después de pasteurizar a 82°C	36
6.3 Análisis biológico después de pasteurizar a 75°C	36
6.4 Análisis biológico después de pasteurizar a 70°C	36
6.5 Análisis químico de nutrientes después de pasteurizar a 70°C	37
6.6 Análisis químico de nutrientes después de pasteurizar a 75°C	37
6.7 Análisis químico de nutrientes después de pasteurizar a 82°C	38
7. CONCLUSIONES	39
8. RECOMENDACIONES	40
9. BIBLIOGRAFIA	42
10. ANEXOS	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso mundial del bromuro de metilo	10
Figura 2. Distribución global de bromuro en diferentes aplicaciones	11
Figura 3. Temperaturas para control de microorganismos y malezas	13
Figura 4. Vista superior de carretón para pasteurización	32
Figura 5. Diagrama de tuberías de distribución de vapor	32
Figura 6. Llenado de carretón con cargador frontal	33
Figura 7. Ingreso de carretón al área de calderas	33
Figura 8. Carretón con sustrato después de pasteurizar	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 A. Resultados de análisis microbiológicos después de pasteurizar	44
Cuadro 2 A. Resultado de análisis químico de micro y macro nutrientes	45

**UTILIZACIÓN DE VAPOR AIREADO PARA ELIMINACION DE
MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN DIFERENTES SUSTRATOS
QUE CONTIENEN SUELO, PARA PRODUCCIÓN DE ORNAMENTALES,
EN LA FINCA SANTA CLARA, ALDEA LOS ACHIOTES JUMAY,
DEPARTAMENTO DE JALAPA**

**USE OF AERATED STEAM FOR THE CONTROL OF SOIL-BORNE PATHOGENS
MICROORGANISMS IN DIFFERENT SUBSTRATES FOR
ORNAMENTALS PRODUCTION
AT SANTA CLARA'S FARM, ALDEA LOS ACHIOTES JUMAY,
JALAPA'S DEPARTMENT**

RESUMEN

El tema bajo estudio se hace necesario básicamente por la falta de un compendio bibliográfico, que reúna la calidad y cantidad de información, acerca del uso del vapor aireado para el correcto tratamiento de nuestros suelos, previo al establecimiento de un cultivo en particular, que sirva además de consulta a estudiantes, profesionales y personas interesadas en tal actividad.

Diversas organizaciones e instituciones, actualmente están implementando normas, leyes y reglamentos para poder llevar a cabo un manejo sostenible de los recursos naturales que nos permita trabajar en forma amigable con nuestro medio ambiente.

La Finca Santa Clara perteneciente al grupo Bäll Horticultural Company con casa matriz ubicada en Chicago Estados Unidos, y la cual se dedica a la producción de semillas de ornamentales; conscientes del deterioro actual de nuestros recursos; agua, suelo, así como de la capa de ozono, se rige actualmente por normas del programa de tipo ambiental MPS y continúa trabajando para optar al nivel MPS GAP (Good Agricultural Practices) por sus siglas en inglés, que no son más que las buenas prácticas agrícolas. Es por ello que desde el inicio del proceso de producción, como lo es la preparación del

sustrato para llenado de bolsas de almácigo, se utiliza el vapor aireado como medida sustitutiva al bromuro de metilo. El proceso de eliminación de microorganismos patógenos y no patógenos se lleva a cabo por la elevación de la temperatura a punto de pasteurización.

El vapor aireado es aplicado a carretones con capacidad de 4 metros cúbicos, en los cuales el sustrato al alcanzar una temperatura de 75 grados Celsius en todos sus puntos de monitoreo, se mantiene dicha temperatura por un período adicional de 45 minutos con el fin de garantizar la eliminación principalmente de bacterias, hongos, nemátodos y la mayoría de semillas de malezas.

El costo actual de pasteurización con vapor aireado es bastante alto comparado con la aplicación de productos químicos, ya que para tratar 1 metro cúbico con vapor se invierten Q.83.85 vrs. Q.55.00 al utilizar bromuro de metilo.

Cabe mencionar que sería de gran utilidad continuar con estudios relacionados al uso de vapor aireado en la desinfección de suelos para cultivos bajo invernadero y porqué no a campo abierto, previendo la prohibición del uso de algunos químicos altamente tóxicos que aún se encuentran en el mercado pero que muy pronto tenderán a desaparecer.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de productos químicos altamente tóxicos, para el control de plagas y enfermedades en diversos sustratos, provoca que constantemente se contaminen los recursos naturales suelo, agua y también con el uso de gasificantes como el bromuro de metilo se deteriore nuestra capa de ozono.

Es por ello que tenemos la obligación de buscar alternativas viables que eviten el deterioro de nuestro medio ambiente. Una de ellas que efectivamente elimina patógenos a través del calentamiento del sustrato, no deja residuos tóxicos y que requiere de poco tiempo de ventilación después del tratamiento es la utilización de vapor aireado, el cual se obtiene a través del uso de calderas y turbinas que forzan el aire para que éste ingrese a un equipo de distribución adecuado para tratar el sustrato.

La limitante de utilizar vapor para desinfección de suelos, es su alto costo de aplicación a campo abierto y su uso ha sido con mayor frecuencia en producción de semillas de cultivos ornamentales y vegetales bajo invernadero. (2).

Para el caso específico de finca Santa Clara, es indispensable el uso de vapor aireado para el tratamiento de diferentes sustratos en la producción de cultivos ornamentales, ya que se encuentra inscrita en el programa de medio ambiente MPS con el objeto de exportar sus productos a Estados Unidos de Norte América y Europa. El programa MPS no permite el uso del bromuro de metilo para la desinfección de sustratos como materia prima en el llenado de bolsas, las cuales posteriormente son utilizadas para el crecimiento de cultivos de tipo ornamental. El cultivo de geranio *Pelargonium hortorum* en nuestro caso no requiere de suelo, pero sí utiliza escoria volcánica esterilizada con vapor a 95°Celsius.

Dentro de las especies ornamentales que actualmente se cultivan en Finca Santa Clara y que requieren suelo están: chatía o vinca *Catharantus roseus*, girasol *Helianthus sp.*, zinnia *Zinia elegans L.* y marigold o flor de muerto *Tagetes erecta Cav.*

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La exigencia de los consumidores tanto nacionales como internacionales en cuanto a la obtención de productos agrícolas de alta calidad, ha generado la necesidad de utilizar más productos químicos que logren mantener bajas las poblaciones de microorganismos y organismos dañinos, que puedan afectar un cultivo en particular.

Para el comienzo de una producción exitosa, es necesario realizar el tratamiento del suelo o medio a utilizar, ya que con ello garantizamos el sano crecimiento de las plántulas que aunado a adecuadas prácticas culturales nos brindarán un alto rendimiento y una mejor calidad al momento de realizar la cosecha.

La exportación de semillas y esquejes de ornamentales principalmente a Estados Unidos de Norte América, se ha complicado durante los últimos 5 años debido básicamente al estricto control (cero tolerancia) de algunas plagas o enfermedades que no pueden ingresar a ese país por estar contempladas en el listado de bio-terrorismo por el USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). Tal es el caso de la bacteria *Ralstonia solanacearum* de la raza 3 biovar 2, que puede ser diseminada por esquejes de geranio y podría además afectar los cultivos de solanáceas en dicho país. Cabe mencionar también que para los cultivos de marigold y zinnia se limita la exportación por los patógenos *alternaria patogénica* y *xantomonas*. Aunado a lo anterior, el programa MPS prohíbe el uso de bromuro de metilo para la desinfección de suelos o sustratos para el llenado de bolsa, por la contaminación ambiental que este provoca. Por lo anterior expuesto se hace necesario utilizar vapor aireado para el tratamiento de sustratos, que contengan suelo y determinar además el tiempo y temperatura adecuados, para llevar a cabo el proceso de pasteurización. Dicha pasteurización debe de eliminar todos los microorganismos patógenos que sean de importancia económica para el cultivo, sin que exista un deterioro en la estructura y elementos nutricionales del suelo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Aplicación de vapor

Antes de que los químicos fueran utilizados, el vapor era una forma natural para desinfectar los suelos. Debido a que los viejos métodos de aplicación de vapor eran laboriosos, los cultivadores encontraron en los químicos una forma más rápida y fácil de tratar sus suelos. (7, 24)

En la actualidad, nos hemos convertido más en ambientalistas y hemos querido eliminar el peligro que representa agregar químicos altamente tóxicos al suelo y luego cosechar productos que tengan que ser consumidos.

Debido a la resistencia que se ha incrementado hacia algunos químicos, se han tenido que utilizar dosis aún más fuertes. (4,24).

La aplicación de vapor puede ser considerada como una alternativa viable para sustituir al bromuro de metilo, para la desinfección de suelos o medio de cultivo de invernaderos y también aunque en pequeña escala a campo abierto. El vapor efectivamente mata a los patógenos a través del calentamiento del suelo a niveles que causan la coagulación de las proteínas o la inactivación de las enzimas (Langhans 1990). La esterilización del suelo a través del uso de vapor fue descubierta en 1,888 (por Frank en Alemania) y fue comercialmente utilizada en los Estados Unidos (por Rudd) en 1893. (4, 24).

3.1.2 Cuáles son los beneficios de aplicar vapor?

Los antiguos egipcios, después de que el Nilo provocaba inundaciones, se dieron cuenta de los bancos de suelo que dejaban las inundaciones y que eran calentados por los rayos del sol, se convertían en suelos fértiles en donde podían crecer sus cultivos.

Desde entonces, incontables investigaciones científicas han comprobado que el uso del vapor para desinfectar el suelo, es el método más seguro utilizado en la actualidad. (24)

Modernas técnicas de aplicación de vapor han sido desarrolladas, las cuales son mucho más simples que los antiguos métodos que todavía recuerdan los cultivadores. Ninguno tiene duda sobre las ventajas de la desinfección con vapor así como de las diferentes maneras de aplicar vapor que tienen las calderas actuales.

El vapor también ayuda a combatir la fatiga del suelo, así como liberar nutrientes benéficos en el mismo. (24, 26).

El vapor no deja residuos dañinos o tóxicos en el suelo. Es absolutamente seguro y puede ser utilizado sin ningún riesgo para el ambiente, en todos los campos de horticultura y cultivo de vegetales. Después del pasteurizado, el plantado puede realizarse tan pronto como el medio se haya enfriado, reduciendo los gastos por pérdida de tiempo. La desinfección con vapor puede hacerse en áreas parciales, sin provocar ningún daño a algún cultivo adyacente. El calor remanente que queda después de pasteurizar puede ser útil para el crecimiento de microorganismos benéficos para el cultivo en sí.(24, 26).

Los protozoos en el suelo actúan como depredadores de bacterias, y se ha demostrado que existe un ratio inverso entre el número de los dos grupos de organismos. Debido a ésta relación se pensó en alguna ocasión que los protozoos eran los responsables de limitar la actividad bacteriana. A principios del siglo veinte se conocieron los efectos benéficos de la pasteurización parcial del suelo por vapor o por químicos. Russell y Hutchinson sugirieron que los efectos benéficos eran debido a la eliminación de un factor que limitaba la actividad bacteriana y en consecuencia el crecimiento de las plantas; y que dicho factor era la fauna protozoaria. Recientemente se examinaron muestras de suelo pasteurizado con vapor para investigar el efecto de la fauna

protozoaria. En el suelo esterilizado únicamente se encontró un 40% de las especies que se encuentran en un suelo sin ningún tratamiento, pero la cantidad de protozoos activos presentes en el suelo esterilizado fue mucho mayor que en un suelo sin tratarse. (1, 22).

Los protozoos del suelo son característicamente muy pequeños. Esto les permite sobrevivir en las gotas más pequeñas de humedad. Por su composición son bastante duros y pueden soportar condiciones extremas de temperatura, desecamiento, bajas concentraciones de oxígeno y altas tensiones de dióxido de carbono. Su resistencia a condiciones extremas depende básicamente por su habilidad de formar quistes. Un ejemplo de especie de protozoo es *Colpoda steinii*. El quiste puede ser secado a altas temperaturas (100 grados celsius) o someterse a temperaturas bajo el punto de congelamiento y todavía se mantiene viable después de meses o inclusive años de inactividad. (7,22, 25).

3.1.3 Selección del método de pasteurización

Por lo menos el suelo debe de tener una temperatura de 15 grados celsius o más previo a su tratamiento. También debe de tener una humedad homogénea que sea entre 50 a 85% de su capacidad de campo. (2, 13).

Capacidad de campo

Surge este término para paliar la dificultad de medida de la capacidad de retención. Representa un concepto más práctico, que trata de reflejar la cantidad de agua que puede tener un suelo cuando se pierde el agua gravitacional de flujo rápido, después de pasados unos dos días de las lluvias (se habrá perdido algo de agua por evaporación). La fuerza de retención del agua variará para cada suelo, pero se admite generalmente una fuerza de succión de $1/3$ de atmósfera o $pF=2,5$ y corresponde a poros <30 micras (para algunos suelos el pF de 1,8 es más representativo). (17).

3.1.4 Vapor aireado

Aunque la aplicación de vapor, utilizando altas temperaturas y presión negativa tiene sus ventajas, algunos investigadores consideran que el vapor entre 85 y 100 grados celsius, elimina también a los organismos benéficos del suelo (por ejemplo el hongo micorriza) junto con los organismos patógenos y además puede producir compuestos fitotóxicos dañinos al cultivo. Por lo anterior mencionado, los investigadores aconsejan el uso de temperaturas más bajas (70 grados celsius) o vapor aireado, el cual no elimina a los organismos benéficos (por ejemplo las bacterias nitrificantes) además de ser menos fitotóxico. A raíz de que se requieren temperaturas más bajas, el vapor aireado es más rápido de obtener y es aproximadamente 40% más económico que el vapor caliente. (2).

El calor seco, vapor y vapor aireado pueden ser utilizados para pasteurización de suelos para cualquier cultivo. Usualmente la mayoría, pero no todos los organismos son eliminados; por lo tanto el suelo tratado de ésta forma se dice que es pasteurizado. El daño más grande que se puede manifestar al usar tratamiento con calor, son las temperaturas extremas (mayores a 94 grados celsius) o tratamientos muy prolongados, por más de una hora, ya que la materia orgánica tiende a fracturarse y se liberan además sales en cantidades tóxicas para cultivos de semillas (10). Una efectiva pasteurización se da cuando el vapor o el calor seco es utilizado para incrementar y mantener la temperatura de una masa de suelo entre 82 y 94 grados celsius por un lapso de 30 minutos. Casi todos los organismos del suelo son eliminados con éste tratamiento. (2, 24, 26).

En el caso de utilizar vapor aireado, la temperatura se mantiene entre 63 y 71 grados celsius. El vapor aireado elimina la mayoría de los organismos que causan

enfermedades, pero sobreviven muchas bacterias y hongos benéficos que realizarán el trabajo de competir con otros organismos causantes de enfermedades si existiera una recontaminación. (1, 4,16).

Es de hacer notar, que así como existen un gran número de aspectos positivos en el uso del vapor como una herramienta para controlar plagas, también existen algunas desventajas. Este método pareciera no ser tan operacional a campo abierto en operaciones grandes, debido a su lentitud en la aplicación, alto requerimiento de mano de obra y por ende su alto costo de inversión de capital. Debido a la limitada penetración de vapor en el campo, la aplicación superficial no llega a eliminar organismos que se encuentran a profundidades de las raíces de árboles o algunos cultivos de tipo arbustivo. Además es un método bastante ineficiente cuando se aplica en suelos muy húmedos, (similar efecto pasa con otros fumigantes, incluyendo el bromuro de metilo). También si el vapor alcanza temperaturas de 85 a 100 grados celsius, se incrementa la agregación y se destruye la estructura del suelo. (2, 11,12).

La pasteurización o esterilización, no garantizan que los organismos que causan enfermedades, recontaminen nuevamente el suelo, por lo tanto si el suelo no se usa inmediatamente después de ser tratado, debería de protegerse de una recontaminación (por ejemplo, evitando el contacto con suelo que no ha sido tratado, así como asegurar el uso de practicas fitosanitarias dentro del invernadero. (1, 9, 18).

3.1.5 Aplicación de vapor con presión negativa

La aplicación de vapor con presión negativa, es el más reciente avance en la tecnología de aplicación de vapor a los suelos y fue introducida en Holanda en 1981. Utilizando éste método, el vapor es introducido bajo una lámina que genera vapor y éste es succionado por ventiladores que crean la presión negativa. Los ventiladores continúan moviendo el calor de la capa superficial hacia el fondo por varias horas después de

realizado el tratamiento con vapor. La temperatura que se alcanza con éste método es homogénea y se mantiene en un rango de 85 a 100 grados celsius a una profundidad hasta de 35 centímetros. Con esta metodología se logró mejorar la eficiencia en el uso de la energía, más economía (reducción hasta en un 50%) y mejores cultivos, en comparación con el método convencional de aplicación de vapor, utilizado en Holanda. (24, 26).

Generalmente la causa para el fracaso en un cultivo, no es un patógeno aislado, sino una comunidad de patógenos que interactúan entre sí. Por lo tanto, el control debe ser efectivo contra todos los patógenos que se encuentran en el suelo, en donde se crecerán los cultivos. (11, 18)

Hasta la fecha, el bromuro de metilo ha sido un instrumento de solución de problemas en cultivos intensivos. Últimamente el uso del bromuro de metilo ha generado fuertes críticas, debido a la destrucción que provoca en la capa de ozono y se ha decidido que en los países desarrollados su uso se limitará hasta el año 2,005 y en los países en vías de desarrollo hasta el 2,015. (20). Por lo tanto los productores de plantas tienen la urgente necesidad de encontrar un método o medidas de control que sustituyan al bromuro de metilo y que siempre aseguren un nivel aceptable en la protección de plantas. Dentro de las posibles alternativas al bromuro de metilo para la desinfección de suelos están; los nematicidas, la solarización del suelo, aplicación de vapor, uso de variedades resistentes o una combinación de todas las anteriores. (11, 18).

Una mezcla de fumigantes del suelo como 1,3-dicloropropano (1,3-D) y Pic (cloropicrin), más el herbicida (pebulate) han sido evaluados y se han obtenido resultados similares a los del bromuro de metilo en el control de plagas. Aunque el herbicida pebulate es fitotóxico para pimientos y tampoco se ha usado para el cultivo del tomate debido a su alta toxicidad por inhalación así como efectos cancerígenos. Debido a las

emisiones dañinas provocadas por el uso de 1,3-D se promovió la suspensión de su uso en California entre 1,990 y 1994. Aunado a lo anterior se utilizó la solarización con polietileno de baja densidad por un período de 7 días. El herbicida también controló satisfactoriamente *Cyperus esculentus* y *Cyperus rotundus* las cuales son malezas muy difíciles de controlar. (6, 15)

3.1.6 Uso global de bromuro de metilo

Primero se comercializó en 1920 para uso en extinguidores de aviones y barcos, el bromuro ganó popularidad como fumigante en la agricultura en los años sesenta. Las propiedades únicas del bromuro de metilo, lo hicieron el fumigante más deseado para el control de ácaros e insectos en semillas y cultivos importantes, así como para el control de las plagas del suelo. (6,15)

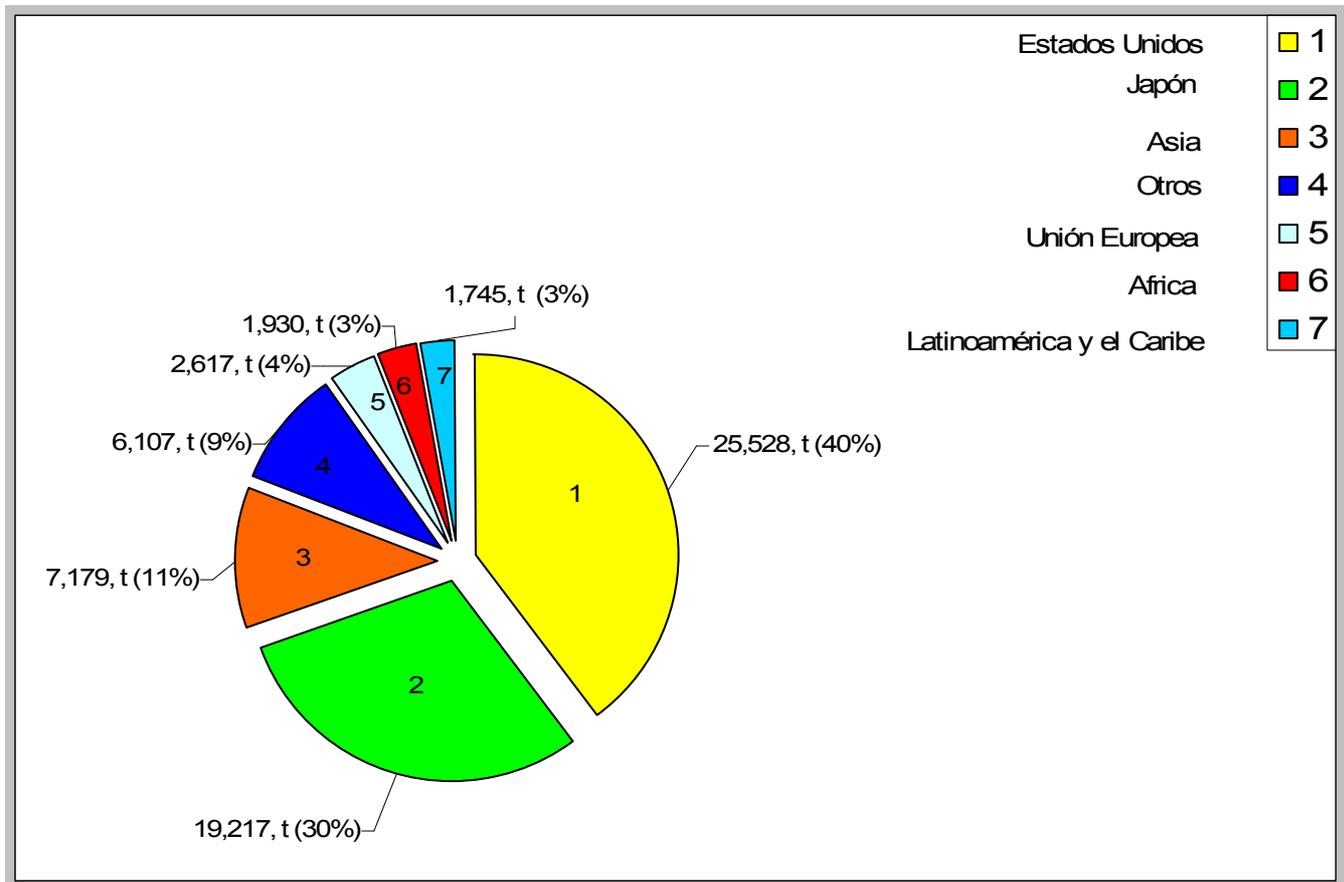


Figura 1. Uso mundial de bromuro de metilo (toneladas métricas) en 1,991. (15)

En la gráfica siguiente podemos observar que el mayor uso del bromuro de metilo durante el año de 1,992, fue para la producción de frutas y vegetales a nivel mundial, posteriormente el 22% del consumo del fumigante se utilizó en viñedos. El tercer rubro más fuerte fue para cultivos bajo invernadero con un 12% del total con un uso similar para la desinfección de estructuras con un 11%, por último tenemos el uso de productos perecederos y no perecederos con un 8% y un 1% para cuarentenas.

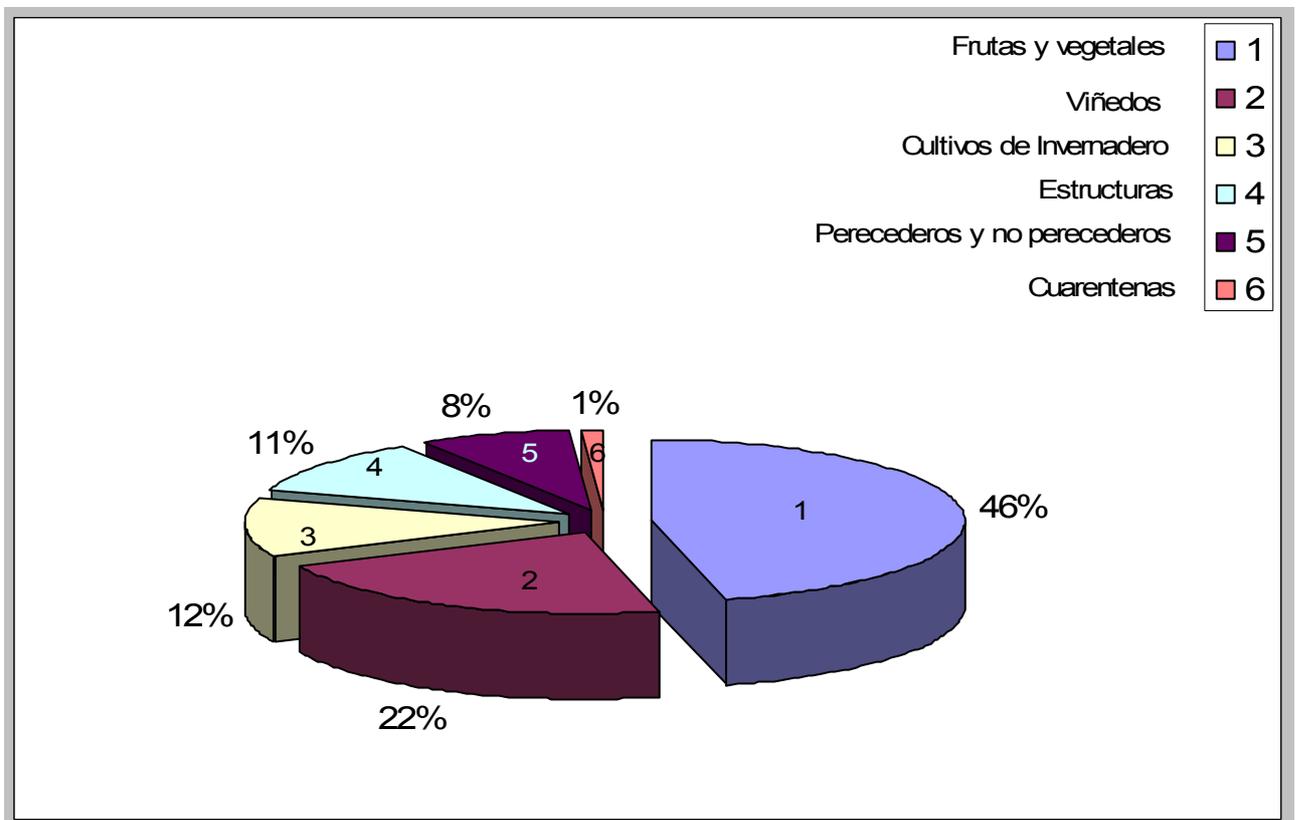


Figura 2. Distribución global en el uso del bromuro de metilo para diferentes aplicaciones durante el año 1,992. (15).

3.1.7 Un nuevo sistema de aplicación de vapor para control de nemátodos

La forma más efectiva de controlar nemátodos es a través del método “vapor en sándwich”. En el cual el suelo es tratado con vapor por ambos lados, desde la superficie, cubierto con una lona y desde el fondo a través de la conexión de una manguera. El suelo puede ser tratado a una profundidad máxima de hasta 50 centímetros. El secreto de éste nuevo sistema es su alta eficiencia en la producción de vapor (100 kg. de vapor / metro cuadrado / hora). Los resultados preliminares demuestran que la energía para la aplicación de vapor pueden ser reducidos en un 30% en comparación con el método convencional (como lo es la aplicación a través del uso de lámina en el fondo). (11,16,17)

La temperatura a la cual se controlan diferentes tipos de enfermedades, determina el tiempo de exposición del vapor. Exposiciones a altas temperaturas por cortos períodos de tiempo, proporciona mejores resultados que exposiciones a bajas temperaturas por períodos más largos. (con el cuidado de no sobre cocinar el suelo) (14, 17, 26).

Durante la aplicación de vapor, la temperatura del suelo debe de ser monitoreada en intervalos regulares, con el objeto de asegurar cuando se ha alcanzado la temperatura deseada a la profundidad correcta. La base fundamental de la aplicación de vapor es el monitoreo de la temperatura y no el tiempo de aplicación, ya que las condiciones varían y sólo la temperatura determina cuando la pasteurización ha sido completada o no. (24, 26).

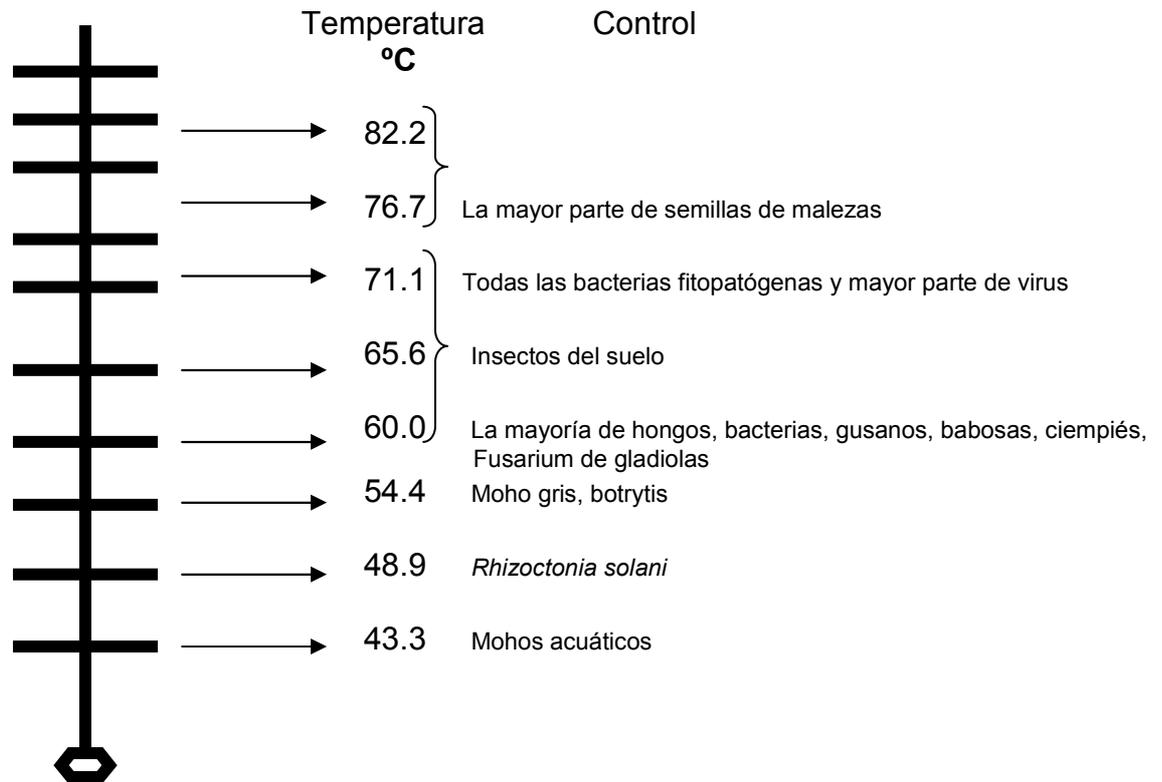


Fig.3 Temperaturas del suelo necesarias para eliminación de semillas, insectos y diversos organismos patógenos de las plantas. Las temperaturas dadas son para exposiciones de 30 minutos en condiciones húmedas. Tomado del Manual 23, (7) de la University of California, Division of Agricultural Sciences. (Hudson T. Hartmann). (12)

3.1.8 Alternativas comercialmente disponibles para sustituir al bromuro de metilo

3.1.8.1 Tratamiento del suelo con agua caliente

Para lograr una exitosa esterilización del suelo con agua caliente, se requieren apropiadas condiciones del mismo, que esté arado y suelto, así como las dosis adecuadas de agua para asegurar uniformidad en el calentamiento del suelo que se consideren como temperaturas letales. (4, 10,11)

El volumen exacto de agua a utilizar para tratar los suelos depende de: tipo de suelo, temperatura ambiente del suelo, profundidad del suelo a tratarse y la cantidad de

área a ser tratada. Estimaciones actuales sugieren que deben de utilizarse aproximadamente 120,000 galones de agua caliente, por cada hectárea de suelo. (11, 24).

3.1.8.2 Solarización del suelo

La solarización del suelo consiste básicamente de un cobertor plástico transparente el cual se coloca sobre el suelo durante 4 a 6 semanas, durante la temporada con mayor intensidad lumínica, lo cual permite alcanzar altas temperaturas. Este método es utilizado para reducir el daño causado por un amplio rango de hongos, semillas de malezas y nemátodos. Se ha utilizado con éxito en campos de Israel, Jordan y California. En Florida algunas pruebas han sido exitosas pero otras han fracasado. Este es un nuevo método de tratamiento de suelo en sustitución al bromuro de metilo. (11, 24).

3.1.8.3 Basamid

Cuando basamid granulado se aplica a suelos húmedos, el ingrediente activo del pesticida (tetrahidro-3,5-dimetil 2H-1,3,5-thiadiazin-2-thione) se rompe y se convierte en isothiocianato metilo el cual tiene un amplio espectro de efectividad en un amplio rango de plagas del suelo, incluyendo nemátodos, hongos y malezas. En aplicaciones experimentales y comerciales, basamid ha demostrado alta efectividad en tratamiento de suelos para pre-plantado. Controla nemátodos de la especie *Meloidogyne incognita*, pudrición negra de la raíz causada por *Thielaviopsis basicola*, tizón *Phytophthora parasitica* (1, 11, 16).

3.1.8.4 Metam sodio

Metam sodio, también vendido bajo los nombres de vapam, busan, y sectagon II, se degrada rápidamente a metil-isotiocianato, el agente bioactivo primario del producto. Es utilizado como parte del sistema de manejo integrado de plagas, metam sodio es un fumigante del suelo de amplio espectro que puede ser utilizado para controlar nemátodos, malezas y hongos los cuales afectan una gran variedad económicamente importante de cultivos de frutas y vegetales.

Metam sodio es rápidamente disponible, moderadamente tóxico además de ser un producto pesticida versátil y técnicamente considerado como una alternativa viable para sustituir al bromuro de metilo. Este producto ha sido utilizado en una gran variedad de aplicaciones experimentales así como comerciales por más de tres décadas. (11, 24).

Para la aplicación de vapam y otros químicos para tratamiento de suelos debe de utilizarse un cobertor plástico y la temperatura del suelo debe de ser de 13 grados celsius o más. El período de ventilación debe de ser de 4 a 14 días y la dosis recomendada para tratar un metro cúbico de suelo es de 660 ml de vapam HL en 13 galones de agua. (11, 24).

3.1.8.5 Vapor

El uso de vapor como se describió anteriormente, es efectivo en el control de patógenos a través del calentamiento del suelo, no deja residuos tóxicos y requiere de un período corto de aireación antes de ser utilizado, comparado con otros químicos para el tratamiento del suelo. Su aplicación es de alto costo a campo abierto y se ha utilizado más para cultivos bajo invernadero. (11, 12, 24).

Antes de la aplicación de vapor deben de agregarse las enmiendas necesarias al suelo, como materia orgánica, superfosfatos y otros fertilizantes. Es aconsejable aplicar suficiente agua después al suelo para reducir la acumulación de sales solubles. En algunos casos se sugiere almacenar el suelo por dos semanas antes de utilizarlo, con el objeto de evitar daños a la planta debido a la liberación de material tóxico que puede producirse durante el proceso de la aplicación de vapor. (11, 12,24).

3.1.8.6 Telone C-17 y Tillam

El uso de estos productos reduce la incidencia de enfermedades, especialmente el marchitamiento por fusarium y la pudrición de la corona del tallo. Además que elimina un amplio rango de malezas y alcanza un control de nemátodos similar al del bromuro de metilo. (1, 11, 14)

3.1.9 Medio de cultivo

Un buen suelo se caracteriza por tener por lo menos un cuatro por ciento de materia orgánica, textura media (franco), con niveles medios a buenos de fertilidad, bajos niveles de sales solubles, pH de 6 a 6.8 y principalmente libre de enfermedades y plagas. Debe de contener además buena cantidad de fósforo (aproximadamente 2.5 libras de 0-20-0 por metro cúbico) el cual debe de agregarse de forma homogénea al suelo. Deben de tomarse muestras de suelo para enviar al laboratorio antes de ser utilizado, con el objeto de hacer cualquier enmienda de sales solubles, pH o niveles de fertilidad que sean necesarios. (10, 11, 17).

3.1.9.1 Características de algunos sustratos

Existe un gran número de materiales de buena calidad, para los que el criterio de elección depende principalmente de su disponibilidad, su costo y la experiencia local en su empleo. (14, 16).

A. Productos orgánicos

1. Turba: Pueden considerarse tres tipos diferentes:

-Sphagnum o turba rubia, es la forma menos descompuesta. Proporciona excelentes propiedades de aireación y agua al sustrato, tiene bajo pH y poco nitrógeno.

-Turba de cañota, es muy variable en su estado de descomposición y de acidez.

-Turba negra, es un material muy descompuesto, negro o castaño oscuro, con baja capacidad de retención del agua y contenido de nitrógeno de medio a alto.

El contenido de materia orgánica de la turba debe ser superior al 80% en peso seco.

La mayor parte de las turbas tienen escaso contenido de cenizas, menor del 5%, lo que indica que su cantidad de nutrientes, aparte del N, es baja. (14, 16,17)

En las turbas se encuentran otros componentes beneficiosos, como son los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, etc.

Las turbas en los sustratos:

- aumentan la capacidad de agua;
- aumenta la porosidad, lo que mejora la aireación y el drenaje;
- aumenta la densidad aparente, facilitando el desarrollo radicular;
- aumenta el efecto amortiguador, que permite equilibrar el pH y las sales solubles;
- es una fuente de liberación lenta de N;
- mejora la disponibilidad de nutrientes para la planta. (14, 16,17)

Las turbas comerciales pueden presentar problemas, ya que algunas de ellas no se rehidratan con facilidad y esto puede ser peligroso para un semillero, requiriendo una vigilancia muy atenta del riego para evitar una deshidratación excesiva. (14, 17).

2. Mantillo o broza

Consiste en residuos orgánicos de composición variable y tamaño de partículas heterogéneo, procedentes de las capas superficiales de los bosques. Se puede usar directamente o después de "compostaje". El contenido de materia orgánica está alrededor del 60% y el de cenizas del 40%. (14, 17)

3. Residuos de madera

Hay un conjunto de residuos de las industrias de la madera y del papel, que tienen utilidad como sustratos, así son el aserrín, el "compost" de cortezas, virutas de pino, etc.

Hay dos aspectos a tener en cuenta con estos materiales:

- Su alta relación C/N provoca una acentuada inmovilización de N del sustrato, que puede causar carencia en el cultivo.
- Por otro lado los restos de serrería pueden contener compuestos fitotóxicos que inhiben la germinación y el crecimiento, cuando son restos recientes. Por ello es conveniente almacenarlos y someterlos a tratamiento de "compost" durante 5 meses por lo menos para eliminar la fitotoxicidad de algunos restos de maderas duras. (14, 17, 23)

4. Residuos de lana Este subproducto industrial puede emplearse directamente sin tratamiento previo. Contiene un 50% de materia orgánica y un 20% de cenizas.(14, 23)

5. Cascarilla de arroz

Se emplea directamente. Tiene un 87% de materia orgánica y 13% de cenizas.

(14, 23)

6. Otros

Existen otro número de materiales disponibles localmente y que pueden ser empleados como sustratos: bagazo de caña de azúcar, hojas secas de cafeto, residuos de café, algas marinas, etc. (14,17,23).

B. Productos inorgánicos

1. Arcilla

Es un material que proporciona reserva de agua y de nutrientes al sustrato, al mismo tiempo que suministra micro nutrientes y mejora la capacidad amortiguadora y la porosidad de la mezcla. La CIC de un suelo con un 30% de arcilla es de 200 a 300 meq/l.(17, 23)

2. Arena

Reduce la porosidad del medio de cultivo. No contiene nutrientes y no tiene capacidad amortiguadora. La CIC es de 5 a 10 meq/l. Se emplea en mezcla con materiales orgánicos. (17, 23)

3. Tierra volcánica, arcilla expandida

Estos materiales junto con las puzolanas son útiles para aumentar la aireación del sustrato, pero su densidad es inferior que la de la arena. Son pobres en nutrientes y su CIC y poder amortiguador son despreciables. (17, 23).

4. Vermiculita

Tiene una estructura apta para acumular y liberar grandes cantidades de agua, por lo que refuerza estas propiedades en la turba cuando se mezclan. Su reacción es neutra

y tiene una CIC (capacidad de intercambio catiónico) de 80 a 120 meq/l que disminuye las pérdidas de nutrientes por arrastre. El inconveniente es su alto costo y frágil estructura. (17, 23)

5. Perlita

Se emplea como mejorante de la estructura del sustrato. A diferencia de la vermiculita es totalmente inerte, tiene bajos CIC y poder amortiguador, así como escasa retención de agua. El pH es neutro, la densidad aparente es pequeña y es un buen estabilizador de la temperatura.. Algunas posibles desventajas son el riesgo de toxicidad por Al en plántulas cuando el pH es bajo y la escasa capacidad de suministro de agua en condiciones de gran transpiración, lo que hace necesario el riego más frecuente. (17, 23).

C. Productos sintéticos

1. Poliestireno expandido

Llamado también “porexpan”, es un material inerte de 4 a 12 mm de partícula, estable, de pH neutro, que mejora la aireación y el drenaje del sustrato. No retiene agua ni nutrientes, pero es ideal para plantas que necesitan buenas condiciones de aireación radicular. (17, 23)

2. Resina expandida de urea-formaldehido

Contiene N de liberación lenta, mejora el drenaje y retiene cierta cantidad de agua, pero puede tener efectos fitotóxicos.

Estos materiales sintéticos se agregan a las mezclas en proporciones normalmente no superiores al 30 – 50%. (17, 23).

Los suelos ácidos contienen una cantidad considerable de cationes hidrógeno. La acidificación del suelo puede ser debida a causas naturales (materia original pobre en cationes básicos, lavado de calcio en regiones de clima lluvioso, etc.) o provocada por el

hombre (incorporación de residuos o fertilizantes ácidos, lluvia ácida causada por ciertas industrias, etc.) (10, 23).

La causa más frecuente de la acidificación del suelo es el lavado del calcio en regiones con mucha pluviometría. En regiones áridas y semiáridas suele haber suficiente contenido de calcio, pero no así en las regiones muy lluviosas. (10, 23).

Tabla 1. Clasificación de los suelos según el valor de pH (23).

pH	Evaluación	Efectos
Menor de 4,5	extremadamente ácido	condiciones muy desfavorables
4,5 - 5	muy fuertemente ácido	posibles efectos de toxicidad
5,1 - 5,5	fuertemente ácido	deficiente asimilación de algunos elementos
5,6 - 6	medianamente ácido	adecuado para la mayoría de los cultivos
6,1 - 6,5	ligeramente ácido	el más adecuado para la asimilación de nutrientes
6,6 - 7,3	neutro	efectos tóxicos mínimos
7,4 - 7,8	medianamente básico	existencia de carbonato cálcico
7,9 - 8,4	básico	deficiente asimilación de algunos nutrientes
8,5 - 9	ligeramente alcalino	Problemas de clorosis
9,1 - 10	alcalino	presencia de carbonato sódico y poca asimilación de algunos nutrientes.

Los suelos ácidos no son favorables para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, por lo que es preciso corregir la acidez, tratando de sustituir los cationes hidrógeno por cationes de calcio; esta operación se llama enmienda caliza o encalado.(10, 14, 23).

Ciertas observaciones permiten, antes de cualquier análisis, reconocer los terrenos provistos insuficientemente de cal. (5, 10, 23)

- El estado físico del suelo – un suelo que drena mal, que absorbe lentamente el agua de lluvia, un suelo difícil de lavar, es generalmente pobre en cal. (10, 23)
- La descomposición de la materia orgánica – cuando el estiércol, los abonos verdes u otros abonos orgánicos se encuentran intactos al hacer las labores un año o más después de haberse enterrado, se pone de manifiesto que la actividad microbiana es muy pequeña, debido a un pH bajo. (5, 23)
- El aspecto de las cosechas y la vegetación espontánea - los síntomas característicos de carencia de cal se localizan sobre todo en las hojas tiernas, que se tuercen en forma de ganchos. Las hojas terminales se desecan a partir de la punta y de los bordes. (5, 23)

Antes de adoptar la decisión de encalar un suelo, es necesario conocer su estado cálcico. Se debe de disponer de los datos de pH y contenido en calcio. Si el suelo es claramente ácido (pH=5 o inferior) será necesario encalar. (5,23)

- En una primera aplicación sólo se debe elevar el pH media unidad, y después, con uno o dos años de intervalo, se puede hacer otro encalado que eleva otra media unidad, hasta que el pH quede dentro del intervalo 6 a 6,5.
- No se sube más de media unidad cada vez para impedir el bloqueo de microelementos que un encalado fuerte puede producir.

- Otras razones para no subir más de media unidad el pH son:
 - Se acelera excesivamente la transformación de la materia orgánica del suelo.
 - Se modifica demasiado rápidamente la vida microbiana del suelo.
 - Se insolubiliza determinados elementos del suelo y se hace un excesivo adelanto de capital. (5, 10, 14, 23).

3.2 Marco Referencial

El departamento de Jalapa se encuentra situado en la región sur-oriente de Guatemala. Limita al Norte con los departamentos de El Progreso y Zacapa; al sur con los departamentos de Jutiapa y Santa Rosa; al este con el departamento de Chiquimula; y al Oeste con el departamento de Guatemala. La cabecera departamental de Jalapa se encuentra aproximadamente a una distancia de 174 km de distancia de la ciudad capital, por la carretera de Jutiapa y Santa Rosa y a 100 km de distancia por la vía de Sanarate, El Progreso. (3).

3.2.1 Geografía

Por su configuración geográfica que es bastante variada debido a la topografía del departamento, Jalapa tiene también consigo diversidad de climas. Se puede decir que generalmente es templado y sano, siendo frío en las partes elevadas, al extremo que en algunos años durante los meses de diciembre y enero se forma escarcha. (21).

3.2.2 Hidrografía

El departamento de Jalapa es irrigado por varios ríos entre los cuales se encuentra Jalapa, El Grande o Guastatoya, El Monjas, El Ostúa y el Plátanos, así como otros de menor importancia. Asimismo, se encuentran las lagunas: Escondida en Mataquescuintla y del Hoyo en Monjas. (21).

3.2.3 Orografía

Jalapa presenta topografía diversa, lo que contribuye que sus terrenos sean montañosos y sus alturas varíen entre los 1720 msnm. en San Carlos Alzatate y los 800 msnm en San Luis Jilotepeque. Por el sur de este departamento penetra el ramal de la Sierra Madre, el cual toma diversos nombres locales según sus montañas como de El Norte y la cumbre en San Pedro Pinula, la de Güisiltepeque en San Manuel Chaparrón; y la del aguacate en San Carlos Alzatate. También están los siguientes volcanes: Jumay y Cerro Mojón en el municipio de Jalapa; el volcán Monterrico entre los municipios de San Pedro Pinula y San Manuel Chaparrón; el volcán de Alzatate en San Carlos Alzatate, el cerro de la Lagunilla en San Luis Jilotepeque. (21).

Existen altiplanicies y hermosos valles, así como cerros, colinas, desfiladeros y barrancos cubiertos de variada vegetación, aunque muchos de estos bosques han ido desapareciendo por la tala inmoderada, lo que ha contribuido a la escasez de agua para irrigación. (3).

3.2.4 Zonas de vida vegetal

En el departamento de Jalapa, debido a su topografía, pueden encontrarse 5 zonas de vida vegetal, de acuerdo con la clasificación propuesta por Holdridge en el año de 1978. La vegetación típica se caracteriza por *Pinus oocarpa* (pino colorado), *Curatella americana* (lengua de vaca), *Quercus sp.* (roble), *Byrsonimia crassifolia* (nance), *Spondias dulces* (jocote), entre otras. (8)

- bs-S bosque seco subtropical
- bh-S(t) bosque húmedo subtropical templado
- bmh-SI bosque muy húmedo subtropical cálido
- bh-MB bosque húmedo montano bajo subtropical
- bmh-MB bosque muy húmedo montano bajo subtropical

3.2.5 Información general del proyecto

El proyecto de producción de semillas y esquejes de cultivos de ornamentales “finca Santa Clara”, perteneciente al grupo Ball, se encuentra ubicado en la aldea Achiotos Jumay, a 3,7 kilómetros al norte de la cabecera departamental de Jalapa. La ubicación geográfica del proyecto corresponde a 14° 39' 55" de latitud norte y 89° 59' 05" de longitud oeste (3). Actualmente cuenta con 46 invernaderos construidos con tubo galvanizado, aluminio y plástico, con un área de 3,344 metros cuadrados por cada invernadero. Asimismo cuenta con 4 invernaderos de 14 pies de altura a la canal y con una superficie de 1,680 metros cuadrados cada uno. El total de área cubierta por invernaderos es de 16 hectáreas. (3)

El área total de la finca es de 87.2 hectáreas, pero utilizables para construcción de invernaderos únicamente alrededor de 18 hectáreas. El resto de terreno está contemplado para la implementación de un proyecto de reforestación. (3)

Como una alternativa para ir cambiando los cultivos tradicionales de exportación en las últimas décadas en el país, se han emprendido proyectos para la producción y exportación de flores, semillas y esquejes de plantas ornamentales, prueba de ello es que actualmente en la –AGEXPORT- (Asociación de Gremiales de Exportadores) se cuenta con un departamento para apoyar la floricultura nacional. (3)

3.2.6 Condiciones para producción de ornamentales

Entre otras razones del porqué Guatemala presenta excelentes condiciones para la producción y exportación de flores tenemos:

- La región de Jalapa donde se encuentra localizado el proyecto presenta excelentes condiciones climáticas para la producción de plantas ornamentales.

- En los mantos freáticos del lugar, el agua es de buena calidad para riego de los propios cultivos.
- La cercanía al mercado de flores más importante del hemisferio Norte (Miami), que distribuye las plantas y semillas para los Estados Unidos y Canadá.
- La disponibilidad suficiente de mano de obra. (3)

3.2.7 Descripción de la componente física de la finca

3.2.7.1 Topografía

El terreno donde se encuentra el proyecto, presenta una topografía plana, con una pendiente menor del 5%. El resto de la finca tiene pendientes mayores del 30%. (3)

3.2.7.2 Uso actual del suelo

El uso actual que tiene el área del proyecto la podemos clasificar en dos partes, la primera, que corresponde a un uso intensivo agrícola que es donde se encuentran los invernaderos actualmente y la segunda, que corresponde a un área de pajonales con algunos árboles y arbustos dispersos, en ningún momento formando masas forestales propiamente dichas. (3)

3.2.7.3 Uso potencial del suelo

El uso potencial del suelo en las partes que presentan una pendiente mayor a 30% es el forestal. Mientras que las demás áreas si pueden soportar algún tipo de pastoreo. El uso que se le ha dado a esos suelos es el pastoreo para ganado, aunque la capacidad de carga del mismo sea baja debido a la gran cantidad de rocas expuestas que en ellos se encuentran. (3)

3.2.7.4 Calidad del suelo

El suelo superficial, a una profundidad alrededor de 10 centímetros, es franco arcilloso fino de color café oscuro. El subsuelo, a una profundidad de 30 centímetros, es franco a franco arenoso fino de color amarillo grisáceo, que es cuando está seco, pero es friable cuando está húmedo. Carece de estructura y la reacción es fuertemente ácida. (21)

3.2.7.5 Susceptibilidad a la erosión

Estos suelos son susceptibles a la erosión y no se deberían labrar. Debido al uso inapropiado que se ha venido practicando desde la época de la colonia en estas áreas, actualmente presentan condiciones de suelos altamente erosionados tanto por erosión eólica como por erosión hídrica. (21)

3.2.7.6 Hidrogeología

En el área se encuentran buenos acuíferos, el agua se localiza a una profundidad de 28 pies en cuanto a su nivel dinámico y produce hasta 300 GPM con un nivel dinámico a 400 pies de profundidad, utilizando una bomba eléctrica sumergible de 25 Hp. (3) .

3.2.7.7 Flora de la zona:

La cubierta forestal del departamento de Jalapa, formada principalmente por bosques de coníferas con algunas asociaciones de bosque mixto, siendo sustituidos desde hace varias décadas por cultivos y campos para pastar ganado.

Por dicha razón en el área del proyecto no se encuentran masas forestales que puedan constituir un bosque propiamente dicho. (8).

En la siguiente tabla se presentan algunas de las especies representativas de la zona.

Tabla No.2 Vegetación típica de Jalapa. (8)

Nombre común	Nombre Científico
Pino	<i>Pinus oocarpa</i>
Encinos y robles	<i>Quercus sp.</i>
Matasano	<i>Casimiroa edulis</i>
Ciprés	<i>Cupressus lusitánica</i>
Anona	<i>Anona escuamosa</i>
Eucalipto	<i>Eucaliptus sp.</i>
Timboque	<i>Tecoma stands</i>
Matilisguate	<i>Tabebuia heterophylla</i>
Gravilea	<i>Gravilea robusta</i>
Casuarina	<i>Casuarina sp</i>
Arbustos (varias familias)	<i>Asteraceae, Solanaceae, Labiatae, Compositae</i>
Monte y gramíneas	Gramas común, <i>cyperaceas</i> , varias especies

3.2.7.8 Sustratos utilizados en las diferentes fórmulas:

Para el llenado de las bolsas de almácigo para las diferentes fórmulas, se utilizan los siguientes sustratos. (14)

- a) Arena volcánica de 1/4" y 3/4" de diámetro.
- b) Arena pómez de 1/8" y de 3/4" de diámetro.
- c) Peat moss
- d) Suelo negro de cafetal
- e) Granza o cascarilla de arroz
- f) Broza de bosque de encino.

Las arenas de origen volcánico de color negro y blanco, son las que regularmente se esterilizan a temperaturas de 95° Celsius por un período de 45 minutos. Mientras que los materiales como peat moss, suelo, granza y broza se someten al proceso de pasteurización 75° Celsius por un período de 45 minutos, después de haber alcanzado dicha temperatura en todos los puntos de muestreo en el carretón o vagón de pasteurización. (14)

Previo al tratamiento de fórmulas que contienen suelo, se aplica superfosfato a razón de 2.5 libras/metro cúbico y se verifica que el suelo tenga un 40- 50% de humedad de su capacidad de campo. Hay que tomar en cuenta que en el proceso de pasteurización se agrega más agua en forma de vapor al suelo, lo cual puede producir agregados y formar canales por donde el vapor pasaría, sin la correcta aplicación de temperatura homogénea al resto del suelo. (14)

Cabe mencionar que el suelo al ingresar al área de almacenamiento, se le agrega agua para permitir que germinen algunas semillas de malezas para su posterior eliminación. Esto ayuda a reducir el número de malezas previo al tratamiento con vapor.(14)

4. OBJETIVOS

4.1 General

Documentar las experiencias obtenidas en la utilización de vapor aireado para la pasteurización de sustratos en la producción de ornamentales.

4.2 Específicos

4.2.1 Documentar el tiempo y temperatura necesaria para eliminación de microorganismos patógenos en diferentes sustratos.

4.2.2 Documentar la temperatura óptima de pasteurización para que no exista fitotoxicidad por algún elemento en particular.

5. METODOLOGIA

Los datos que más adelante se detallarán, se han obtenido a través de constantes monitoreos, los cuales se han llevado a cabo en las instalaciones del edificio de medios de siembra de la finca Santa Clara, grupo Ball, del departamento de Jalapa.

5.1 Fase de campo

Las pruebas de pasteurización se realizaron, luego de llenar carretones con capacidad de 4 metros cúbicos cada uno, los cuales posteriormente se trasladaron al área de calderas. Cada caldera de 20 Hp de tipo vertical, tiene capacidad de pasteurizar 8 metros cúbicos por cada lote de desinfección, que tarda en su totalidad 3 horas y

quince minutos, de las cuales 2 horas con 30 minutos es el tiempo que transcurre para que la temperatura alcance los 75° Celsius en todos los puntos de monitoreo del carretón y 45 minutos adicionales para el proceso de pasteurización, para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos. El vapor sale de la caldera a través de una manguera flexible resistente al calor de 2 ½", hacia un tanque pre-mezclador, que es allí donde se controla la temperatura de salida al mezclarse con aire forzado el cual es provisto de una turbina. Al obtener la temperatura correcta se abre la llave de paso hacia el carretón, en donde se distribuye por una tubería galvanizada, provista de agujeros en la parte inferior y la cual forma un circuito cerrado para una distribución más homogénea. El carretón es cubierto con una tapadera de metal y lona para formar una cámara de vapor.

Se realizaron pruebas a diferentes temperaturas, 70°C, 75°C y 82°C, y diferentes tiempos de exposición de 30 y 45 minutos después de haber alcanzado la temperatura homogénea en todos los puntos de muestreo.



Figura 4. Vista superior de carretón para pasteurización capacidad 4 m3

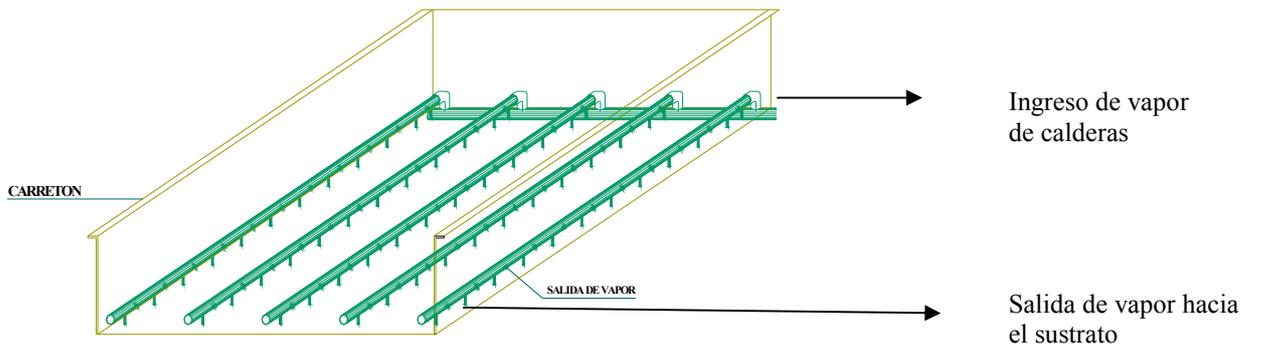


Figura 5. Diagrama de tuberías de distribución de vapor de carretón de 4 m3.



Figura 6. Llenado de carretón con cargador frontal.



Figura 7. Ingreso de carretón al área de calderas



Figura 8. Carretón con sustrato después de pasteurizar

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Evaluación de diferentes rangos de temperatura en pasteurización

Según literatura lo recomendado para pasteurizar un sustrato, es alcanzando una temperatura entre 70 y 75 grados Celsius durante 30 minutos. Hasta la fecha en la finca Santa Clara se había utilizado una temperatura de 70° C, por un periodo de 30 minutos, pero se han encontrado problemas con presencia de algunos hongos de importancia económica como *Aspergillus*, *Alternaria* entre otros y algunas semillas de malezas, en mayor número gramíneas, a dicha temperatura.

Debido a que se utiliza granza o cascarilla de arroz al realizar las mezclas que servirán para el llenado de bolsas de almácigo, ésta contiene semillas viables de arroz que germinan después del pasteurizado a una temperatura de 70° C.

Se realizaron pruebas de pasteurizado a 75 y 82° C respectivamente, para controlar la presencia de hongos fitopatógenos así como evitar la post-germinación de semillas de malezas, obteniéndose resultados satisfactorios a una temperatura de 82°C durante 45 minutos, sin incrementarse de manera significativa el elemento manganeso, el cual puede ser tóxico al incrementarse la temperatura y tiempo de exposición. A una temperatura de 75°C durante 45 minutos todavía germinaron algunas semillas de malezas, específicamente gramíneas.

A continuación se describen los diferentes análisis, biológico y químico de macro y micro nutrientes a temperaturas de 82, 75 y 70° Celsius, respectivamente.

6.2 Resultado de análisis biológico después de efectuarse la pasteurización a 82°C.

Claramente se puede apreciar la ausencia tanto de hongos y bacterias fitopatógenas, después de haberse realizado una pasteurización a 82° Celsius por un período de 45 minutos, por lo que ésta sería la temperatura óptima de pasteurización para el control de microorganismos fitopatógenos. La única diferencia que se presentó con un tiempo de 30 minutos fue que hubo presencia de gramíneas. (ver anexos cuadro 1 A.)

6.3 Resultado de análisis biológico después de efectuarse la pasteurización a 75°C.

Con estos resultados podemos apreciar que sí existió control de bacterias sensibles a temperaturas de 75° Celsius por un período de 45 minutos, pero no existió control de hongos, específicamente *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp. y *Rhizopus* sp., los cuales son de importancia económica para plantas ornamentales productoras de semillas. También fue notable la post-germinación de algunas semillas de arroz, debido a que en la granza o cascarilla de arroz, se pueden encontrar algunas semillas viables. Con 30 minutos de exposición al vapor no se controló el hongo *Rhizopus* sp. y además germinaron malezas de hoja ancha. (ver anexos cuadro 1 A.)

6.4 Resultado de análisis biológico después de efectuarse la pasteurización a 70°C.

De estos resultados, es evidente que a una temperatura de 70° Celsius y un tiempo de exposición de 45 minutos, no existe un control total de hongos ni de bacterias los cuales son de importancia económica. Los resultados, con una temperatura de 70° celsius y 30 minutos de exposición son similares, con la única diferencia que la post-germinación de malezas después de la pasteurización, fue mucho mayor, encontrándose malezas de hoja ancha como gramíneas. (ver anexos, cuadro 1 A.)

6.5 Resultado de análisis químico de macro y micro nutrientes, después de efectuarse la pasteurización a 70 °C.

De éste análisis podemos mencionar que el pH tiene un rango de 6.4 (ligeramente ácido) y es el valor más adecuado para la asimilación de nutrientes. Conforme la temperatura aumenta, el pH tiende a bajar debido a reacciones químicas que desencadena el vapor a altas temperaturas. Según literatura, el manganeso sería uno de los elementos nutricionales que tiende a elevarse cuando se incrementa la temperatura incluso a niveles que pueda producir fitotoxicidad, en los siguientes cuadros veremos su comportamiento. A 70° celsius el manganeso se encuentra en niveles bajos de concentración a 7.8 y 7.2 (partes por millón) según el tiempo de exposición de 30 y 45 minutos, también el magnesio se encuentra en un rango adecuado. (ver anexos, cuadro 2 A.)

6.6 Resultado de análisis químico de macro y micro nutrientes, después de efectuarse la pasteurización a 75°C.

En éste cuadro podemos observar un ligero descenso en el pH el cual mostró una lectura de 6.2 (ligeramente ácido) al incrementarse 5° Celsius la temperatura. Existe una ligera diferencia en el elemento manganeso el cual se incrementó a 9.1, estando entre los niveles límite de bajo y adecuado, por lo que podemos decir que el incremento no es significativo a 75° Celsius. El magnesio también se va incrementando conforme aumenta la temperatura y los tiempos de exposición, como en éste caso las lecturas fueron de 119.8 y 139.6 ppm. respectivamente a 30 y 45 minutos. (ver en anexos, cuadro 2 A).

6.7 Resultado de análisis químico de macro y micro nutrientes, después de efectuarse la pasteurización a 82°C.

En éste cuadro podemos apreciar que el pH bajó a 5.8, que según la tabla de clasificación de pH, corresponde a un suelo medianamente ácido y es adecuado para la mayoría de los cultivos. El manganeso tuvo un considerable aumento hasta 60.5 ppm, lo cual lo sitúa en un nivel aceptable ya que el rango adecuado oscila entre 10 – 250 ppm. Respecto al elemento magnesio éste manifestó un considerable aumento hasta de 381.9 ppm cuando el sustrato se expuso por un lapso de 45 minutos al vapor aireado. Por lo anterior al incrementar la temperatura a 82° Celsius nos estamos asegurando de controlar microorganismos fitopatógenos, como bacterias, hongos y también existió control de malezas tanto de hoja ancha como de gramíneas. A 30 minutos de exposición al vapor con 82° Celsius, todavía germinaron algunas gramíneas que pueden erradicarse con un control cultural, en los primeros días del trasplante del cultivo en el invernadero. El manganeso no se encuentra como un elemento nutricional fitotóxico, pero hay que prestar especial atención al elemento magnesio. (ver en anexos, cuadro 2 A)

7. CONCLUSIONES

7.1 El tratamiento con vapor aireado, en un sustrato que contenga suelo, debe de alcanzar una temperatura no mayor a 82° Celsius durante 45 minutos, con el fin de evitar fitotoxicidad por algún micro o macro elemento. Con ésta temperatura se puede controlar también la presencia de hongos y bacterias fitopatógenas así como evitar la presencia de malezas en el medio.

7.2 En el proceso previo a la pasteurización, la mezcla debe de tener entre 40 y 50% de humedad de su capacidad de campo, con ello se obtendrá una mejor distribución del vapor.

7.3 Si el sustrato va a ser utilizado para llenar bolsas de almácigo o macetas, el suelo debe de adquirirse por lo menos con un mes de anticipación para realizar correcciones de pH, así como para controlar semillas de malezas que deben de pre-germinar antes de la pasteurización.

7.4 Verificar el área de procedencia de los sustratos, con el fin de evitar la adquisición de materia prima contaminada, además se debe recopilar información sobre establecimiento de cultivos anteriores y enviar muestras de cada sustrato a laboratorio de suelos y microbiología.

7.5 La metodología que contempla la pasteurización de los suelos y la transferencia de factores bióticos, no está afectada por las variaciones experimentadas en los contenidos de Mn de estos suelos, y aparentemente tampoco por el estado nutricional de los mismos.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Continuar evaluando diferentes sustratos libres de agentes contaminantes y que además permitan una mejor pasteurización.

8.2 Evaluar sustratos como granza de arroz, compost, broza o mantillo, arena de origen volcánico y otros materiales orgánicos e inorgánicos como sustitutos del suelo, que permitan una mejor aireación y estructura en el medio de crecimiento.

8.3 Con el simple hecho de no utilizar suelo en las mezclas del medio de cultivo, sino materiales inorgánicos inertes, como es el caso de la escoria volcánica, se puede evaluar el incremento en la temperatura de tratamiento y llevarla a temperaturas de esterilización en vez de pasteurización, para un mejor control de agentes contaminantes.

8.4 Realizar tratamientos químicos al agua que ingresa a las calderas, para evitar la incrustación de carbonatos de calcio en las cámaras y tuberías internas de las mismas, las cuales reducen la eficiencia en la producción de vapor de agua.

8.5 Evaluar la posibilidad de implementar el uso de vapor aireado a campo abierto, con el fin de eliminar la utilización de bromuro de metilo y otros químicos que se usan en la actualidad.

8.6 Después de realizar la pasteurización del sustrato, éste debe de usarse inmediatamente para evitar una recontaminación, de lo contrario proteger el medio de agentes contaminantes a través del uso de cobertores.

8.7 Incluir la evaluación de la solarización a través de coberturas plásticas, como una alternativa viable al uso de químicos que deterioran nuestro medio ambiente.

8.9 Utilizar materia prima que esté disponible cerca al área de producción, con el fin de reducir costos de transporte de dicho sustrato.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, G. 1997. Plant pathology. 30 ed. Massachusetts, US, Academic Press. 635 p.
2. Albritton, DL; Watson, RT. 1992. Methyl bromide and the ozone layer. US, United Nations Environment Programme. p. 3-18.
3. Ambioconsult, GT. 2000. Estudio de evaluación de impacto ambiental en finca Santa Clara, aldea Achiotes Jumay, Jalapa. Guatemala. 54 p.
4. Asher, MJC; Shipton, PJ. 1981. Biology and control of take-all. London, England, Academic Press. 538 p.
5. Bailey, LH. 1951. Manual of cultivated plants. US, MacMillan Publishing. 879 p.
6. Chellemi, DO; Mirusso, J. 2006. Optimizing soil disinfestations procedures for fresh market tomato and pepper production. *Plant Disease* 90:668-674.
7. Cook, RJ. 1990. Twenty five years of progress towards biological control. p. 131-142. *In* Hornby, D (ed). Biological control of soil-borne plant pathogens. Wallingford, England, CAB International. 532 p.
8. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
9. Daughtrey Margery, L. 2001. Plagas y enfermedades de las plantas en macetas con flores. Madrid, España, MundiPrensa. 90 p.
10. EPA (Environmental Protection Agency, US). 2005. Steam as an alternative to methyl bromide in nursery crops (en línea). 6 p. US. Consultado 15 ago 2008. Disponible en www.epa.gov/steaming
11. Graham, RD; Hannam, RJ; Uren, NC. 1991. Manganese in soils and plants. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 455 p.
12. Greco, N. 1992. Alternatives to methyl bromide to control plant parasitic nematodes in greenhouses. Bari, Italy, Instituto di Nematologia Agraria. 327 p.
13. Hudson, T; Hartmann, D; Kester, E. 1971. Propagación de plantas principios y prácticas. México, Continental. 421 p.
14. Integrated pest management for floriculture and nurseries. 2001. California, US, Universidad de California. 422 p.
15. Linda Vista, CR. 2002. Manual de tratamiento de sustratos para cultivo de ornamentales. Costa Rica, Corporación Ball. 68 p.

16. Lodovica, M; Camponogara, A. 2003. Replacing methyl bromide for soil disinfestations: the Italian experience and implications for other countries. *Plant Disease* 87(9):1-9.
17. Moorman, GW. 1998. *Bedding plant diseases*. Pennsylvania, US, Pennsylvania State University, Department of Plant Pathology. 4 p.
18. Reed, DW. 1996. *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Batavia, Illinois, US, Ball Publishing. 314 p.
19. Rojas Garcidueñas, M. 1979. *Fisiología vegetal aplicada*. México, Mc-GrawHill. 252 p.
20. Russell, TF; Hutchinson, GL. 1995. Numerical evaluation of static chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange. *Soil Sci. Soc.* no. 6:1-17.
21. Seifert, HD; Grunder, JM. 2001. Killing nematodes with sandwich steaming; a new system of soil steaming. Germany, Research Plant Protection, *Nematology*. 127 p.
22. Simmons, CS; Tárano T, JH; Pinto S, JM. 1959. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala*. Trad. por Pedro Tirado-Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
23. Stout, JD. 1952. Protozoa and the soil. *New Zealand Electronic Text Center* 4(3):8-27.
24. Suárez, D. 2007. Uso de la cal en el manejo de suelos ácidos. *Revista Agrícola* no. 179:1-7.
25. Walker, JC. 1975. *Patología vegetal*. 30 ed. Barcelona, España, Omega. 18 p.
26. Wilkie Recycling System, UK. 2002. *Steam boiler operating and maintenance manual*. Tadley, Hants, England. 29 p.

10. ANEXOS

Cuadro 1 A. Resultados de análisis microbiológicos después de pasteurización del sustrato

Tipo de muestra	Tiempo de pasteurización	Temperatura de pasteurización	Hongos	Bacterias	Malezas
compost: 50% granza 50% suelo	30 minutos	70° Celsius	<i>Aspergillus</i> <i>Fusarium</i> <i>Rhizopus sp.</i>	<i>Xanthomonas</i> sp.	-hoja ancha -gramíneas
compost: 50% granza 50% suelo	45 minutos	70° Celsius	<i>Aspergillus</i> <i>Fusarium</i> <i>Rhizopus sp.</i>	negativo	- hoja ancha - gramíneas
compost: 50% granza 50% suelo	30 minutos	75° Celsius	<i>Aspergillus</i> <i>Fusarium</i> <i>Rhizopus sp.</i>	negativo	-hoja ancha -gramíneas
compost: 50% granza 50% suelo	45 minutos	75° Celsius	<i>Aspergillus</i> <i>Fusarium</i>	negativo	-gramíneas
compost: 50% granza 50% suelo	30 minutos	82° Celsius	negativo	negativo	-gramíneas
compost: 50% granza 50% suelo	45 minutos	82 ° Celsius	negativo	negativo	-negativo

Cuadro 2 A. Resultados de análisis químico de micro y macro nutrientes después de pasteurización del sustrato a diferentes temperaturas y tiempos de exposición

Sustrato= 50% suelo + 50% granza de arroz

Tiempo de pasteurización	Temperatura de pasteurización	Manganeso rango adecuado (10 - 250ppm)	Magnesio rango adecuado (100 – 250 ppm)	pH
30 minutos	70° Celsius	7.2	106.4	6.6
45 minutos	70° Celsius	7.8	113.7	6.4
30 minutos	75° Celsius	8.6	119.8	6.3
45 minutos	75° Celsius	9.1	139.6	6.2
30 minutos	82° Celsius	51.3	322.3	6.0
45 minutos	82° Celsius	60.5	381.9	5.8