



# Alternativas al Bromuro de Metilo

Proyecto Terminal Eliminación del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales



Alternativas al Bromuro de Metilo  
Proyecto Terminal Eliminación del Bromuro de Metilo



# ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales



Este documento es una contribución del Ministerio del Medio Ambiente al “Acuerdo de Producción Limpia - Viveros Frutales” del Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL), con el fin de apoyar la eliminación del uso del Bromuro de Metilo (BrMe).

En su elaboración participó un grupo de especialistas, bajo el marco del “Proyecto Terminal para la Eliminación del Uso de BrMe en Chile”, financiado por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), e implementado por la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente, con el apoyo del Ministerio de Agricultura, a través del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA).

# ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales



# ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales



## **ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO**

### **Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo:**

Agencia implementadora líder: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)

Agencia implementadora cooperante: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Agencia ejecutora nacional: Ministerio del Medio Ambiente de Chile

Instituciones colaboradoras en la ejecución: Ministerio de Agricultura de Chile, a través del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA).

### **Coordinación Técnica:**

Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente de Chile

### **Edición General:**

Arturo Correa, Magíster Ingeniero Agrónomo, Consultor Proyecto

Lorena Alarcón, Ingeniero en Alimentos, Consultor Proyecto

### **Redactores:**

Jorge Carrasco, Doctor Ingeniero Agrónomo, Consultor Proyecto

Arturo Correa, Magíster Ingeniero Agrónomo, Consultor Proyecto

Paloma Cortez, Ingeniero Agrónomo, Consultor Proyecto

Cristián Aguirre, Ingeniero Agrónomo, Consultor Proyecto

### **Supervisores Técnicos:**

Francisco Camacho, Doctor Ingeniero Agrónomo, Universidad de Almería, España

Julio Tello, Doctor Ingeniero Agrónomo, Universidad de Almería, España

Rafael Elizondo, Magíster Ingeniero Agrónomo, Consultor Proyecto

### **Revisión General:**

Guillermo Castellá, Ingeniero Agrónomo, ONUDI

Claudia Paratori, Químico, Coordinadora Unidad Ozono

Jacqueline Espinoza, Ingeniero Agrónomo, ODEPA

Ignacio Figueroa, Ingeniero Agrónomo, SAG

Bernardo Cifuentes, Ingeniero Agrónomo, CPL

### **Diseño y Diagramación:**

Agencia Sobrevuelo

### **Coordinación Gráfica:**

Alejandro Armendáriz, Diseñador, Oficina de Comunicaciones del Ministerio del Medio Ambiente

### **Fotografía:**

Todas las fotos pertenecen al Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo.

### **Impresión:**

Impreso en Santiago de Chile en junio de 2014.

Esta publicación fue realizada en conjunto entre el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, el Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL), ONUDI y PNUMA, con el financiamiento del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal

## PRÓLOGO

El bromuro de metilo (BrMe) es un fumigante de amplio espectro de uso y de fácil aplicación, utilizado en suelos de cultivos hortícolas agrícolas como los tomates y las frutillas. Se usa en tratamientos de post cosecha y en estructuras, y en tratamientos de cuarentena y de pre-embarque (QPS, quarantine and pre-shipment), en importaciones y exportaciones de productos agropecuarios y de maderas.

Debido a su alto potencial de agotamiento de la capa de ozono, el BrMe pertenece al Anexo E Grupo I del Protocolo de Montreal sobre las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO), con un potencial de agotamiento equivalente a 0.6, siendo un importante contribuyente al deterioro de esta capa protectora del planeta, comparado con el CFC-12, que es 1.

El Protocolo de Montreal es uno de los ejemplos de cooperación internacional más exitosos para abordar uno de los mayores problemas ambientales globales: el deterioro de la capa de ozono. El Protocolo debe su éxito a que es el primer instrumento internacional con responsabilidades comunes pero diferenciadas, donde los países desarrollados tienen cronogramas de reducción de consumo más restrictivos, frente a los países en desarrollo y con economías en transición, a quienes además entrega apoyo financiero a través de agencias implementadoras.

Se estima que el éxito del Protocolo ha permitido evitar casos de cáncer a la piel letal y no letal y cataratas oculares en decenas de millones de personas en todo el mundo. Los resultados de observaciones mundiales sostenidas han confirmado que los niveles de SAO en la atmósfera están disminuyendo y se estima que, si se siguen aplicando plenamente las disposiciones del Protocolo, la capa de ozono debería volver a su estado anterior a 1980 a mediados de este siglo.

A partir del 1 de enero de 2015, Chile iniciará la prohibición a las importaciones de BrMe, por lo que el presente documento entrega información sistematizada sobre alternativas disponibles al BrMe. El texto está dirigido a todos los actores del sector agrícola, incluyendo profesionales y técnicos asesores, como herramienta para la toma de decisiones productivas, orientadas a con-

solidar alternativas al BrMe o bien implementar nuevas tecnologías, para un control efectivo de patógenos del suelo dentro de un sistema productivo intensivo y sostenible

Este documento es una contribución del Ministerio del Medio Ambiente al “Acuerdo de Producción Limpia – Viveros Sector Frutícola” del Consejo Nacional de Producción Limpia, con el fin de apoyar la eliminación del uso de BrMe.

En su elaboración participó un grupo de especialistas, bajo el marco del “Proyecto Terminal para la Eliminación del Uso de BrMe en Chile”, financiado por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), e implementado por la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente, con el apoyo del Ministerio de Agricultura, a través del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA).

Ministerio del Medio Ambiente de Chile

Santiago de Chile, Mayo de 2014.

# ÍNDICE TEMÁTICO

|                    |    |
|--------------------|----|
| INTRODUCCIÓN ..... | 11 |
|--------------------|----|

## CAPÍTULO 1:

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| REVISIÓN DE LAS ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO (BrMe) ..... | 15 |
|----------------------------------------------------------------|----|

|          |                                                                              |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1        | Aspectos generales .....                                                     | 17 |
| 2        | Principales alternativas químicas al BrMe, como fumigante de suelo .....     | 18 |
| 2.1      | Metil isotiocianato (MITC) y generadores de MITC .....                       | 20 |
| 2.1.1    | Metham Sodio .....                                                           | 21 |
| 2.1.2    | Dazomet .....                                                                | 21 |
| 2.2      | Yoduro de Metilo o Yodo Metano (MI) .....                                    | 22 |
| 2.3      | Cloropicrina (Pic) .....                                                     | 23 |
| 2.4      | 1,3-Dicloropropeno (1,3-D) .....                                             | 24 |
| 2.5      | Mezcla 1,3-Dicloropropeno y Cloropicrina (1,3-D + Pic) .....                 | 25 |
| 2.6      | Mezcla 1,3-Dicloropropeno y Metil isotiocianato (1,3-D + MITC) .....         | 29 |
| 2.7      | MITC, 1,3 D y Pic .....                                                      | 29 |
| 2.8      | Formaldehído + Metham sodio .....                                            | 30 |
| 2.9      | Resumen de las alternativas .....                                            | 31 |
| 2.10     | Alternativas químicas en el cultivo de frutilla .....                        | 31 |
| 2.10.1   | Alternativas químicas en la producción de frutilla (frutos) .....            | 31 |
| 2.10.2   | Alternativas químicas en la producción de frutilla (plantas en vivero) ..... | 35 |
| 2.11     | Métodos de aplicación de fumigantes .....                                    | 36 |
| 2.11.1   | Método mecanizado mediante inyectores .....                                  | 37 |
| 2.11.2   | Aplicación manual .....                                                      | 37 |
| 2.11.2.1 | Perforación de latas .....                                                   | 37 |
| 2.11.2.2 | Pre-vaporización del gas .....                                               | 38 |
| 2.11.3   | Mediante el sistema de riego .....                                           | 38 |
| 2.12     | Recomendaciones generales para la aplicación de fumigantes al suelo .....    | 38 |
| 2.12.1   | Preparación de suelos .....                                                  | 38 |
| 2.12.2   | Humedad del suelo .....                                                      | 39 |

|        |                                                             |    |
|--------|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.12.3 | Temperatura de aplicación .....                             | 39 |
| 2.12.4 | Dosis .....                                                 | 39 |
| 2.12.5 | Sellado de la superficie .....                              | 40 |
| 2.12.6 | Ventilación del suelo tratado y prueba de germinación ..... | 40 |

## **CAPÍTULO 2:**

### **ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO DISPONIBLES EN CHILE ..... 43**

|        |                                                                                                             |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.     | Alternativas químicas al Bromuro de Metilo Disponibles en Chile .....                                       | 45 |
| 3.1.   | Recomendaciones de aplicación de los principales fumigantes alternativos al BrMe autorizados en Chile ..... | 49 |
| 3.1.1. | 1,3 - Dicloropropeno y mezclas .....                                                                        | 49 |
| 3.1.2. | Capsaicina y capsaicinoides relacionados / Alil isotiocianato .....                                         | 53 |
| 3.1.3. | Cloropicrina .....                                                                                          | 54 |
| 3.1.4. | Dazomet .....                                                                                               | 56 |
| 3.1.5. | Metham Sodio .....                                                                                          | 59 |
| 3.1.6. | Etoprofos .....                                                                                             | 63 |
| 3.1.7. | Tetratiocarbonato de Sodio .....                                                                            | 65 |

## **CAPÍTULO 3:**

### **ALTERNATIVAS NO QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO DISPONIBLES EN EL MERCADO INTERNACIONAL ..... 69**

|        |                                                              |    |
|--------|--------------------------------------------------------------|----|
| 4.     | Las alternativas no químicas .....                           | 71 |
| 4.1.   | Biofumigación .....                                          | 71 |
| 4.1.1. | Pasos a seguir para la biofumigación en un invernadero ..... | 74 |
| 4.2.   | Biosolarización .....                                        | 77 |
| 4.3.   | Cultivos sin suelo .....                                     | 77 |
| 4.3.1. | Cama flotante .....                                          | 77 |
| 4.4.   | Desinfección con agua caliente .....                         | 78 |
| 4.5.   | Inundación o encorchamiento del suelo .....                  | 79 |
| 4.6.   | Injerto .....                                                | 79 |
| 4.6.1. | Experiencia de Europa .....                                  | 82 |



|          |                                                                   |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6.2.   | Experiencia de EE.UU. ....                                        | 84 |
| 4.6.3.   | Experiencia de Argentina ....                                     | 85 |
| 4.6.4.   | Experiencia de Cuba ....                                          | 86 |
| 4.6.5.   | Limitaciones y retos de la técnica del injerto en hortalizas .... | 86 |
| 4.6.5.1. | Costos ....                                                       | 86 |
| 4.6.5.2. | Incompatibilidad ....                                             | 87 |
| 4.6.5.3. | Resistencia incompleta ....                                       | 87 |
| 4.7.     | Producción en sustratos ....                                      | 87 |
| 4.8.     | Solarización ....                                                 | 90 |
| 4.9.     | Vaporización de suelos y sustratos ....                           | 93 |
| 4.9.1.   | Vapor humeante ....                                               | 93 |
| 4.9.2.   | Vaporización a presión negativa (en contenedores) ....            | 94 |
| 4.9.3.   | Aplicación de vapor al suelo ....                                 | 96 |

|           |                           |           |
|-----------|---------------------------|-----------|
| <b>5.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b> | <b>99</b> |
|-----------|---------------------------|-----------|

|                    |            |
|--------------------|------------|
| <b>ANEXO .....</b> | <b>111</b> |
|--------------------|------------|

## INTRODUCCIÓN

El Bromuro de Metilo (BrMe)<sup>1</sup> es un fumigante de suelo, utilizado comercialmente desde el año 1940, en el control de un amplio espectro de plagas, incluyendo hongos, bacterias, virus del suelo, insectos, ácaros, nematodos, roedores y malezas o semillas de malas hierbas. Es un gas de alta penetración en el suelo, efectivo en un amplio rango de temperaturas, con una acción suficientemente rápida.

Debido a su alto potencial de agotamiento de la capa de ozono (0,6), fue clasificado como sustancia agotadora de la capa de ozono e incluido en el Grupo I del Anexo E del Protocolo de Montreal. Sus medidas de control se iniciaron en el año 2002, con el congelamiento de su consumo a los niveles de la línea base, equivalente al promedio del consumo de los años 1995 a 1997 en el mundo. Las severas restricciones impuestas al BrMe, surgen de las preocupaciones de los países respecto de su potencial de agotamiento de la capa de ozono, así como de su toxicidad para los humanos y la seguridad para el operador, incluyendo sus efectos negativos sobre la biodiversidad del suelo, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, según lo informado por algunos países.

Las medidas de control al BrMe reducen el consumo en referencia al nivel de la línea base del país, siendo el consumo la suma de las importaciones más la producción (prohibida en Chile), menos las exportaciones. Así, el calendario de Chile, como país que opera al amparo del artículo 5 del Protocolo, se inició con el congelamiento del consumo a partir del 1 Enero 2002, luego se reduce un 20% a partir del 1 Enero 2005 y un 100% (prohibición de consumo) a partir del 1 Enero 2015.

La base normativa nacional para este cumplimiento, se fundamenta en la ratificación de Chile al Convenio de Viena, su Protocolo de Montreal y sus enmiendas de Londres, Copenhague, Viena, Montreal y Beijing<sup>2</sup>, todos instrumentos internacionales jurídicamente vinculantes a los que el país está suscrito, reconociendo así su vulnerabilidad ante los efectos del agotamiento de la capa de ozono<sup>3</sup>.

Para su implementación, se tiene la Ley N° 20.096/2006, el D.S. 75/2012 (Min-Segpres), junto con las normativas sectoriales del Servicio Nacional de Aduanas y del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura.

<sup>1</sup> UNEP, Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer; "2010 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee - 2010 Assessment".

<sup>2</sup> Convenio de Viena (D.S. N° 719/90); Protocolo de Montreal (D.S. N° 238/90); Enmienda de Londres (D.S. N° 1536/91); Enmienda de Copenhague (D.S. N° 735/94); Enmienda de Viena (D.S. N° 483/96); Enmienda de Montreal (D.S. N° 387/00); y Enmienda de Beijing (D.S. N° 179/02), todos del Ministerio de Relaciones Exteriores.

<sup>3</sup> Referencia: OECD, ECLAC-UNO; "OECD Environmental Performance Reviews - Chile", OECD, 2005.

Con el propósito de apoyar a Chile en el cumplimiento de su meta de eliminación del consumo de BrMe a partir del 01 Enero 2015, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) está implementando el “Proyecto Terminal de Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo”, financiado por el Fondo Multilateral del Protocolo Montreal, con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) como agencia implementadora internacional y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), como agencia cooperante, así como con los organismos del Ministerio de Agricultura, SAG y Odepa, como socios estratégicos.

El objetivo del proyecto es entregar a los productores agrícolas usuarios de BrMe en el tratamiento de suelo, las alternativas técnicas (químicas y no químicas) que permitan su eliminación definitiva. Para ello, se centra en los cultivos más demandantes de BrMe en el país, como lo son los tomates y frutillas.

Este proyecto se ejecuta en dos fases: la primera de introducción de las alternativas en unidades demostrativas con la participación de agricultores voluntarios y la segunda, destinada a difundir y transferir las alternativas a los actores asociados (productores, profesionales, técnicos, viveristas, otros) en las diversas regiones del país.

Conjuntamente en la actualidad, tanto la agricultura como la industria de alimentos, deben desarrollar tecnologías y procesos productivos más seguros, limpios y ambientalmente sustentables; ello, como consecuencia de los procesos de globalización de la economía, el incremento en las exigencias de los consumidores y el fortalecimiento de las reglamentaciones oficiales, nacionales e internacionales, en materia de inocuidad alimentaria, fitosanidad, materias laborales, protección al medio ambiente, entre otras.

En este ámbito, es que se desarrolla el Acuerdo de Producción Limpia - Sector Viveros Frutales, firmado el 27 Septiembre 2011, entre los Ministerios de Salud, Medio Ambiente, y Agricultura (Odepa, SAG, Indap); CORFO, INNOVA CHILE, Consejo Nacional de Producción Limpia, y las Asociaciones Gremiales de Viveros Frutales de Chile y de Viveros de Chile, con el fin de incorporar en el sector de viveros frutales, medidas y tecnologías de Producción Limpia, aumentando la eficiencia productiva, previniendo y reduciendo la contaminación generada por la actividad.

Este Acuerdo de Producción Limpia (APL) permite mejorar las condiciones productivas, ambientales, de higiene y seguridad laboral, de un sector productivo nacional, en este caso de los Viveros Frutales que lo suscriben, buscando generar sinergia y economías de escala en el logro de los objetivos acordados. La participación en estos acuerdos permite ir más allá de las normas vigentes, simplificar regulaciones y trámites, además de establecer mecanismos de apoyo para el cumplimiento de los objetivos planteados. Convirtiéndose, por tanto, en un instrumento estratégico que permite avanzar en la forma correcta sobre áreas productivas y de entorno relevantes a nivel nacional.

Por ello, es que el Ministerio del Medio Ambiente y la Onudi, bajo el Proyecto Terminal para la Eliminación del BrMe, apoyan la implementación del APL en el sector de viveros frutales, mediante esta publicación que compila revisiones bibliográficas de autores validados por el Comité de Opciones Técnicas al Bromuro de Metilo (MBTOC en su sigla en inglés) e información nacional proveniente de las autorizaciones de plaguicidas realizadas por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) enfocadas al control de plagas del suelo. Esta publicación se limita al cultivo de tomate y frutilla, debido al alcance temático del Proyecto de Eliminación.

# Capítulo 1

# REVISIÓN DE LAS ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales





# CAPITULO 1

## REVISIÓN DE LAS ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO

### 1. ASPECTOS GENERALES

El Bromuro de Metilo (BrMe), desde el año 1940, ha sido utilizado predominantemente como desinfectante de suelos en cultivos de alto valor agrícola debido a que puede proporcionar un amplio espectro de control de insectos, nematodos, patógenos, y malezas en varios sistemas agrícolas (Unruh *et al.*, 2002; Bradley y Shrestha, 2006). Históricamente, el BrMe se ha utilizado en una mezcla predominante de 98% de BrMe y 2% de Cloropicrina (Pic) (MBTOC, 2010).

Esta sustancia ha sido identificada como destructora de la capa de ozono, por lo que está incluida en el "Protocolo de Montreal", un acuerdo global de eliminación gradual de sustancias agotadoras de la capa de ozono (Bradley y Shrestha, 2006). En la gran mayoría de los países firmantes del Protocolo de Montreal, se han realizado una serie de esfuerzos de investigación orientados a encontrar nuevas alternativas químicas antes de la eliminación de su consumo.

Para el reemplazo del BrMe, con las diferentes estrategias que se han utilizado para el control de patógenos del suelo, las más utilizadas son aquellas basadas en la aplicación de productos químicos, debido a que han dado mejores resultados en el control de estos organismos, con un efecto más rápido. Sin embargo, esta estrategia tiene un elevado costo, porque requiere aplicaciones continuas y es un elemento importante de contaminación del suelo, acuíferos y cultivos, además de los daños que pueden ocasionar en la salud humana por su alto grado de toxicidad (Carrasco *et al.*, 2006b).

Lo anterior, ha llevado, en algunos sistemas productivos agrícolas, al uso de técnicas más limpias, como las alternativas no químicas, que incluyen la solarización del suelo, biofumigación, vapor de agua caliente, uso de injertos sobre portainjertos resistentes, entre otras. Sin embargo, su aplicación exitosa requiere de un enfoque integrado, que incluya la aplicación del control combinado de estrategias de acuerdo a la presencia de plagas y/o abundancia en el suelo (Bra-



ga *et al.*, 2002; Bello, 2008). Esta integración es alcanzable mediante la implementación del Manejo Integrado de Plagas (MIP), que debe tener en cuenta la presencia de las principales plagas del suelo y guiar la aplicación de alternativas disponibles cuando sea necesario (Braga *et al.*, 2002).

Considerando la importancia de las alternativas no químicas, Bello et al. (2007) destacan la forma en que España reemplazó al BrMe, por la biofumigación y biosolarización, como las principales alternativas no químicas, seguido del cultivo sin suelo, la rotación de cultivos, variedades resistentes y el injerto. Agregan además, que estas alternativas son más eficaces cuando se combinan en un sistema de MIP.

El objetivo de este documento es presentar alternativas al BrMe, con un enfoque en el control de plagas, que de acuerdo a las definiciones de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) se define como, “cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las **plantas o productos vegetales** [FAO 1990; revisado FAO, 1995; CIPF, 1997]. Por tanto, incluiría hongos, bacterias, insectos, nematodos y malezas.

## 2. PRINCIPALES ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO, COMO FUMIGANTE DE SUELO

A corto y mediano plazo, la investigación de alternativas al BrMe se ha centrado en el uso más eficaz de los actuales fumigantes o bien, en la obtención de nuevas alternativas, o en la ampliación de recomendaciones de uso establecidas en las etiquetas de los plaguicidas actualmente autorizados. Existen productos registrados en Chile, tales como 1,3-Dicloropropeno (1,3-D), Cloropicrina (Pic), las combinaciones de 1,3-D y Pic, y generadores de Metil isotiocianato (MITC), tales como Dazomet y Metham Sodio, que han sido probados por sí solos y en diversas combinaciones. Los objetivos de las investigaciones a largo plazo, se han dirigido principalmente a productos no registrados que se sabe poseen alguna actividad biocida y, que podrían actuar como sustitutos al Bromuro de Metilo (Bradley y Shrestha, 2006).

La recopilación de información que a continuación se presenta, se basa en los informes del Comité de Opciones Técnicas al Bromuro de Metilo (MBTOC 2010), encargado de la búsqueda de alternativas al BrMe y del Panel de Evaluación de

Tecnológica y Económica (TEAP, 2012), responsable de proporcionar, a solicitud de las Partes en el Protocolo de Montreal, información técnica relacionada con las tecnologías alternativas que se han investigado y empleado para posibilitar la virtual eliminación del uso de sustancias que agotan el ozono y que resultan nocivas para la capa de éste. Para ello, proporciona informes y documentos realizados tanto internamente, como por los Comités de Opciones Técnicas y los Grupos de tareas específicas, todos dependientes del Protocolo de Montreal.

Según estos informes, en el mundo ha existido un importante avance en cuanto al registro (en Chile conocido como "autorización") y adopción comercial de alternativas químicas al BrMe. Dentro de las principales alternativas químicas al BrMe se encuentran:

- 1) Metil isotiocianato (MITC) y sus generadores.
- 2) Yoduro de Metilo (MI).
- 3) Cloropicrina (Pic).
- 4) 1,3-Dicloropropeno (1,3-D).
- 5) Formaldehído.
- 6) Dimetil Disulfuro (DMDS).

Otros productos químicos, han tenido una menor penetración comercial, como el Bromuro de propargilo, la azida de sodio y el óxido de propileno, los cuales han dejado de ser considerados como alternativas potenciales al BrMe por tener un bajo espectro de control de patógenos del suelo, además de que en algunos casos son tóxicos para el medio ambiente y la salud humana (MBTOC, 2002; MBTOC, 2006).

Existen numerosos documentos publicados sobre esta materia, los cuales coinciden en reconocer que la mayoría de los productos químicos alternativos al BrMe son efectivos para el control de ciertas especies de hongos, nematodos, y malezas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, al ser aplicados por sí solos no son suficientes para el control de todas las plagas asociadas al suelo que afectan el cultivo y desarrollo de especies hortícola, lo cual es una desventaja en relación al BrMe, que tiene un amplio espectro de control (MBTOC, 2010).

Por ello, países como España, Estados Unidos, Italia y Argentina, se han preocupado de buscar combinaciones de fumigantes que permitan ampliar el espectro de control de plagas y enfermedades y, al mismo tiempo obtener rendimientos comparables a los obtenidos por el BrMe o incluso superiores (TEAP, 2012).

Las alternativas químicas al BrMe, aceptadas y registradas en distintas partes del mundo, se resumen en el Cuadro N°1, que incluye las actualmente disponibles, además de otras que requieren de más desarrollo para su implementación (Duniway, 2002).

| Cuadro N° 1. Alternativas químicas al Bromuro de Metilo para tratamiento del suelo |                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Actualmente disponibles                                                            | Requieren de más desarrollo |
| Metil isotiocianato (MITC)                                                         | Bromuro de propargilo       |
| Metham Sodio                                                                       | Ozono                       |
| Dazomet                                                                            | Tetratiocarbonato de sodio  |
| Yoduro de Metilo                                                                   | Disulfito de carbono        |
| Cloropicrina(PIC)                                                                  | Amonio anhidro              |
| 1,3-Dicloropropeno (1,3-D)                                                         | Azidas inorgánicas          |
| Formaldehído                                                                       | Compuestos naturales        |
| Fuente: Duniway, 2002                                                              |                             |

A continuación se describen los fumigantes de suelo que se utilizan actualmente a nivel internacional como alternativas al BrMe y sus combinaciones.

2.1. Metil isotiocianato (MITC) y generadores de MITC

El MITC y sus generadores, como por el ejemplo, el Metham Sodio y el Dazomet, son productos muy eficaces en el control de una amplia gama de artrópodos, hongos del suelo, nematodos y malezas, siendo menos eficaces contra las bacterias y nematodos noduladores de raíces. Su uso como sustituto al BrMe ha sido, por lo general, cuando se combina con 1,3-D y Cloropicrina.

Según Duniway (2002), el Metham Sodio y Dazomet son eficientes como fumigantes de suelos alternativos al BrMe por si solos. Sin embargo, su aplicación en conjunto con otros fumigantes de suelos, puede proveer un control contra patógenos más consistente que si estos productos actuaran por separados (Braga, et al., 2003).

### 2.1.1. Metham Sodio

De acuerdo a la información entregada por Braga *et al.* (2003), el Metham Sodio es un producto químico líquido, que se degrada rápidamente en el suelo a Metil isotiocianato (MITC). Se usa como fumigante de pre plantación y es efectivo en el control de algunas malezas y patógenos del suelo, principalmente hongos y un número limitado de nematodos.

El Metham Sodio es recomendado para la desinfección de suelos destinados a cultivos hortícolas, ornamentales, frutales, y forestales. Sin embargo no debe aplicarse a cultivos establecidos (Carrasco *et al.*, 2006b). Lo recomendable es aplicarlo al suelo directamente a través del sistema de riego por goteo, bajo una cubierta de polietileno transparente (Braga *et al.*, 2003). El pH del suelo afecta de manera considerable la degradación del Metham Sodio a MITC, que es el que actúa sobre los organismos a controlar. En la gran mayoría de los suelos agrícolas de pH neutro o ligeramente alcalinos, se obtiene mayor cantidad de MITC que en los suelos de pH ácido, en los cuales la eficiencia del producto es menor (Carrasco *et al.*, 2002).

### 2.1.2. Dazomet

Braga *et al.* (2003) mencionan que el Dazomet es un producto químico granulado que al igual que el Metham Sodio, es un generador de MITC. Este fumigante de suelo se utiliza para el control de malezas, nematodos y hongos. Requiere de una incorporación superficial mecánica en el suelo para una buena distribución y eficacia. Después del tratamiento, el suelo debe ser cubierto con láminas de plástico polietileno (Braga *et al.*, 2003).

El Dazomet es relativamente fácil de aplicar. Se distribuye de manera uniforme y mecánicamente sobre la superficie del suelo. Cuando se pone en contacto con la superficie húmeda, la sustancia activa se descompone en metilisotiocianato, formaldehído, metilamina y sulfuro de hidrógeno (Neshev, G., 2008).

Una vez que se aplica el Dazomet, los gases que se generan penetran en el suelo hasta una profundidad de 20 a 30 cm. La tasa de aplicación dependerá el tipo de plagas predominantes; por lo general es 400-600 kg/ha (40 a 60 g/m<sup>2</sup>), aunque en algunos casos, puede llegar a 800 kg/ha (Neshev, 2008). El producto

químico es incorporado al suelo, ya sea con agua de riego para sellar el suelo o a través de una cubierta de polietileno. Para favorecer la penetración de gases debe existir una buena preparación de suelos, sin existir una aplicación previa de un fertilizante en base a potasio ya que puede inactivar el efecto del fumigante (Neshev, 2008).

Para conseguir el efecto máximo de la aplicación de esta sustancia química, el suelo tiene que estar bien humedecido 8 a 14 días antes de la aplicación y con una temperatura de 12° a 15 °C, que es un rango óptimo para el efecto de la sustancia química (Neshev, 2008).

Trabajos realizados por Carrasco *et al.* (2006b) en la evaluación de alternativas al BrMe en tomate y pimiento bajo invernadero, encontraron que para aplicaciones de Dazomet se requieren 16 a 18 días desde el momento de la aplicación hasta el momento de ventilación, en el caso de producciones de tomate y pimiento en otoño. Por otro lado, en producciones de verano de los mismos cultivos, se requieren entre 12 a 14 días. En ambos casos, los tiempos de ventilación contados a partir del día en que se retira el plástico polietileno que cubre la aplicación, oscilan entre los 16 y 18 días.

Bello *et al.* (2001), señalan que las únicas alternativas químicas recomendables que han resultado eficaces en sustitución de BrMe en los cultivos de frutilla de Huelva y zanahorias en Cádiz, se limitan a la aplicación de dazomet (50 g/m<sup>2</sup>) y bajas dosis de Metham Sodio (60–100 cc/m<sup>2</sup>) en combinación con solarización.

## **2.2. Yoduro de Metilo o Yodo Metano (MI)**

El Yoduro de Metilo es un fumigante líquido que ha sido probado en una amplia gama de cultivos, que aplicado por goteo e inyección resulta eficaz en el control de hongos, nematodos y malezas. Este fumigante ha recibido una gran atención, como un potencial reemplazo del BrMe, porque tiene una eficiencia equiparable o incluso mayor en el control de hongos, nematodos y malezas. Aparentemente presenta ventajas superiores al BrMe, al destruirse rápidamente por la luz ultravioleta (UV), por lo que su potencial de agotamiento de ozono probablemente sea bajo (Ohr *et al.*, 1996.). Es un líquido que aplicado a temperatura ambiente no requiere equipos de fumigación nuevos o diferentes prácticas de cultivo. Sin embargo, tiene un mayor costo que el BrMe y ha sido declarado como un probable producto cancerígeno (Ohr *et al.*, 1996).

### 2.3. Cloropicrina (Pic)

La Cloropicrina (Pic) es un fumigante que se vende comercialmente como un líquido presurizado que se vaporiza al entrar en contacto con el aire, por lo tanto su aplicación en el suelo es muy similar a la del BrMe. El producto, por su penetrante y molesto olor, también es utilizado como un agente de advertencia para los fumigantes inodoros tales como BrMe (Messenger y Braun, 2000).

Messenger y Braun, (2000), señalan que este producto ha demostrado ser un fungicida muy eficaz para el control de hongos transmitidos por el suelo, pero no lo es para el control de malezas y nematodos, en comparación con el BrMe. Otros autores, indican que ésta molécula tiene una fuerte actividad de difusión en el suelo para el control de hongos, pero es un nematicida débil (Roskopf *et al.*, 2005; Gilreath *et al.*, 2005b).

Su contribución para el control de patógenos es significativa y la mayoría de los estudios de alternativas al BrMe, incluyen a la Pic como componente en una estrategia de múltiples enfoques. Cuando los hongos patógenos de plantas son el principal problema en el suelo, puede ser el único material disponible para su control (Roskopf *et al.*, 2005). Sin embargo, para la aplicación de Pic al suelo, se requiere un periodo de espera más largo antes de la siembra, para evitar daños debido a la fitotoxicidad, en comparación con el BrMe. (Messenger y Braun, 2000).

La combinación con cubiertas impermeables ha sido una estrategia eficaz para reducir las tasas de aplicación manteniendo una eficacia satisfactoria (MBTOC, 2010). Sin embargo, el aumento en el uso de la Pic en la producción de frutilla en los Estados Unidos e Israel, después de la eliminación gradual de BrMe, se ha traducido en aumento de la infestación por *Macrophomina phaseolina*. Además, las restricciones reguladoras continúan limitando el uso de la Pic en algunos países (MBTOC, 2010), como Francia y Bélgica.

La Pic no tiene potencial de agotamiento de la capa de ozono identificado, pero puede ser un contaminante de las aguas subterráneas (Messenger y Braun, 2000). Además, ha sido demostrado que las tasas de aplicación entre 120 y 210 kg / ha, estimula malezas del género *Cyperus*, brotando a través de la cubierta de plástico polietileno, en relación con el control no tratado. El

mecanismo fisiológico exacto de esta estimulación es desconocido (Gilreath *et al.*, 2005b).

#### **2.4. 1,3-Dicloropropeno (1,3-D)**

El fumigante 1,3-Dicloropropeno fue introducido por Dow Chemical en 1956 (Rosskopf *et al.*, 2005). En Estados Unidos se ha utilizado en numerosos cultivos. Se puede aplicar solo, pero se utiliza principalmente en diversas combinaciones con Cloropicrina (Rosskopf *et al.*, 2005).

Se trata de un líquido fumigante de pre plantación que al ser aplicado, se evapora por su alta volatilidad y difunde rápidamente como gas en el suelo, por lo que se requiere cubrir el mismo con una cubierta de plástico polietileno inmediatamente después de la aplicación (Bradley y Shrestha, 2006). Se aplica al suelo por inyección y brinda un control efectivo de nematodos, insectos, algunas malezas y algunos patógenos fungosos. Al igual que la Cloropicrina, el 1,3-D puede alcanzar una eficacia similar al BrMe, cuando se combina con cubiertas impermeables.

Para aplicaciones de 1,3-D se recomiendan araduras profundas con arado de discos antes de la fumigación, para lograr una aplicación profunda y una difusión uniforme del fumigante a través del suelo (Rosskopf *et al.*, 2005).

Rosskopf *et al.* (2005), reportan que en aplicaciones de este fumigante bajo condiciones de verano en Florida, Estados Unidos, los trabajadores presentes debieron utilizar equipo de protección personal, como guantes, overoles, y respiradores de cara completa.

El 1,3-D como aplicación única no tiene ningún efecto en el control de hongos o bacterias, por ello usualmente es utilizado en combinación con otros químicos como la Cloropicrina o el Metham Sodio. La dosis de aplicación es de 12 a 20 ml/m<sup>2</sup> (con formulaciones al 97% de ingrediente activo, i.a.); en suelos pesados se aplican dosis mayores. El 1,3-D es generalmente eficaz en el control de nematodos en suelos más livianos, de textura arenosa, pero las propiedades de distribución de sus gases se ven limitadas en suelos pesados, de textura arcillosa, sobre todo a mayores profundidades en el perfil del suelo (Bradley y Shrestha, 2006).

## 2.5. Mezcla 1,3-Dicloropropeno y Cloropicrina (1,3-D + Pic)

La mezcla de estos dos productos tiene una acción nematicida, insecticida y fungicida. Ha sido utilizada especialmente en el cultivo de frutilla en Australia y España (Carrasco *et al.*, 2006b). La mezcla original de estos fumigantes es no emulsible, lo cual es una limitante porque se debe inyectar al suelo, donde el control adecuado se logra con un bajo contenido de humedad en los mismos.

1,3-D + Pic es una alternativa clave al BrMe, que ha tenido una amplia aceptación comercial para el control de nematodos y patógenos fungosos. Un gran número de estudios y una revisión reciente de más de 160 ensayos realizados a nivel internacional, han demostrado que estas formulaciones producen rendimientos equivalentes al BrMe. Otra gran ventaja es que en cuanto a costos de aplicación, éstos son similares o inferiores a los comparados con BrMe.

Trabajos realizados por Nelson *et al.* (2002), sugieren que una combinación de 1,3-D y Cloropicrina es un sustituto adecuado para el Bromuro de Metilo (BrMe) en el cultivo de la berenjena (*Solanum melongena*) y en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Un estudio de cinco años (Messenger y Braun, 2000) para desarrollar fumigantes químicos alternativos en el cultivo de frutilla en viveros, encontró que la Pic en combinación con 1,3-D es una alternativa, pero no ha sido tan eficaz como el tratamiento de BrMe con Pic.

Dos nuevas formulaciones emulsibles de 1,3-D + Pic se encuentran registradas en EE.UU, las cuales permiten su aplicación a través de fertirrigación (Labrada y Fornasari, 2001). La evaluación de ambas formulaciones aplicadas simultáneamente en cultivos de frutillas, melones, cítricos y vides, determinó un buen control de nematodos y malezas.

Investigaciones de Ajwa *et al.* (2003) demostraron que fumigaciones por goteo con Inline® (nombre comercial del plaguicida fumigante 1,3-D + Pic vendido por Dow AgroSciences; otros nombres son Telone® de la misma empresa; Pic Chlor® de Soil Chemicals Corp.; Tric-Cal®, Tri-Form® y Telone® C-15 de Trical) (300 lbs/A) o Cloropicrina (200 lbs/A) seguidas 5 o 7 días después con Metham Sodio (40 gal/A) a través de las mismas líneas de riego por goteo, controlaban patóge-



nos del suelo junto con la mayoría de las malezas y producían rendimientos en frutillas comparables con aquellos producidas con BrMe mezclado con Pic.

Gilreath *et al.* (2005a), en tres ensayos de campo, durante tres temporadas seguidas, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) evaluaron el efecto de BrMe y distintas alternativas químicas, que incluyeron la mezcla 1,3-D + Cloropícrina, para el control de nematodos del género *Meloidogyne*. Los resultados indicaron que durante las tres temporadas de pimiento, tanto el gas como formulaciones emulsionables de 1,3-Dicloropropeno (1,3-D) más Cloropícrina (Pic), proporcionaron un control similar o mejor que el BrMe más Pic.

En el estudio "Posibles alternativas de fumigación de suelos para el BrMe en la producción de tomates" en Florida, Estados Unidos, se evaluaron varios fumigantes de suelo para el control de nematodos, malezas y patógenos del suelo. Se analizó la eficacia de los fumigantes químicos Telone C-17® (1,3-D), Cloropícrina, Vapam® (Metham Sodio), Basamid® (Isotiocianato) y Enzone® (Tetratio-carbonato de sodio) en aéreas infectadas con nematodos noduladores de raíces y patógenos tales como: *Fusarium wilt*, *Fusarium crown rot*, y *Southern blight*, entre otros. Todos los productos evaluados presentaron limitaciones en cuanto al control de plagas. Telone C-17® demostró ser un buen controlador de nematodos y algunos patógenos del suelo; Cloropícrina® mostró ser un buen controlador de patógenos, pero no así para nematodos; Vapam® y Basamid® resultaron ser bastante erráticos en cuanto a su efectividad y, Enzone® falló en el control de nematodos y dañó las plantas de tomates en algunos experimentos.

Como conclusión de este estudio, se encontró que Telone C-17® resultó ser la alternativa más consistente y eficiente, pero que requiere de un uso en conjunto con herbicidas.

El estudio "Plagas del suelo en cultivos de flores y su control potencial con alternativas al Bromuro de Metilo" en California, entrega una extensa revisión del trabajo realizado en este campo. Resume y describe la investigación realizada durante los últimos 4 años para evaluar alternativas al BrMe en la Universidad de California, donde se realizaron trabajos con asesores de campo de esta entidad, en predios de agricultores en varias partes de California. Además, revisa literatura de otros estudios que pueden ser aplicados a la industria de la floricultura.

De acuerdo a este estudio, las alternativas registradas más promisorias y costo-efectivas a las fumigaciones de BrMe + Cloropicrina (BrMe+Pic) en la producción de flores y otros cultivos ornamentales, son la Pic sola o mezclada con 1,3-D, seguida por aplicaciones de Metham Sodio. Debido a que estos fumigantes son menos volátiles que el BrMe pueden ser aplicados a camas altas a través de sistemas de riego por goteo. En las fumigaciones por goteo es crítico distribuir el agua a través del campo y de la zona de tratamiento.

Un ensayo realizado por Cebolla *et al.* (2009) sobre alternativas al BrMe en pimiento dulce italiano, aplica cuatro desinfectantes de suelo, probando las siguientes combinaciones:

- 1) AFElt® (1,3-Dicloropropeno 30.3% + Cloropicrina 55%) con un aditivo.
- 2) AFE® (1,3-Dicloropropeno 37% + Cloropicrina 52,8%) sin aditivo.
- 3) DMDSCP® (dimetil disulfuro 50% + Cloropicrina 50%).
- 4) ANE® (1,3-Dicloropropeno 80,3% + Cloropicrina 44%).
- 5) ANElt® con un aditivo.

Todos ellos fueron comparados con un testigo sin ningún tipo de desinfección y con un pimiento de la misma variedad injertado sobre un patrón para pimiento. El ensayo se realizó en un campo donde se había cultivado pimiento durante tres años consecutivos. Se realizó una plantación convencional al aire libre de pimiento dulce italiano de la variedad "Italres". La fecha de plantación fue el 2 de abril de 2009. El diseño experimental contó de ocho repeticiones de cada tratamiento con tres bloques (bloque 1: tratamientos desinfección; bloque 2: tratamientos *Phytophthora*; bloque 3: tratamientos nematodos). Se realizó un conteo sobre el nivel de infección de nematodos (*Meloydogine* spp) de cada repetición, para lo cual se arrancaron 5 plantas/línea con toda su raíz y se llevaron al laboratorio donde se valoró el contenido de nematodos de cada planta.

Las conclusiones de este estudio indican que todos los tratamientos muestran una diferencia significativa en las producciones respecto al testigo. Los tratamientos con injerto no resultaron eficaces como fungicidas ni como nematocidas, además perdieron precocidad en cuanto a entrada en producción, produciendo igual de mal que las parcelas de testigo. Los resultados de AFElt® y ANElt® son ligeramente más productivos que AFE® y ANE® (sin aditivos) aunque AFElt® y ANElt® siguen siendo menos eficaces contra *Meloydogine* spp. El trata-

miento con mejores resultados fue el de DMDSCP®, con elevadas producciones de pimientos de alta calidad.

En el estudio “Investigación de las Alternativas al BrMe en los Sistemas de Producción de Tomates en Carolina del Norte”, se evaluaron distintos fumigantes alternativos al BrMe para el manejo de plagas del suelo, particularmente *Verticillium*, en cultivos de tomates en California. Este estudio se llevó a cabo en la Estación de Investigación Mountain Horticultural en Fletcher, California. Los tratamientos evaluados se presentan en el siguiente cuadro:

| Cuadro N°2. Tratamientos con fumigantes alternativos en cultivos de tomate y resultados obtenidos (Louws, <i>et al.</i> , 2005) |                                  |                                                               |                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Tratamiento                                                                                                                     | Método de aplicación             | Tasa de aplicación<br>Libras/Acres, Galones/<br>Acres, Yards) | Rendimiento total<br>(toneladas/Acres) |
| Yoduro de Metilo + Cloropirina (60:40)                                                                                          | Shank (inyección)                | 300 lbs/A                                                     | 66,4                                   |
| Telone-C35                                                                                                                      | Shank (inyección)                | 35 gal/A                                                      | 67,0                                   |
| Cloropirina EC seguido por Vapam®                                                                                               | Drip (goteo)                     | 200 lbs/A; 75 gal/A                                           | 67,8                                   |
| Cloropirina (96%)                                                                                                               | Shank (inyección)                | 15 gal/A                                                      | 67,3                                   |
| Cloropirina (96%)                                                                                                               | Shank (inyección)                | 8 gal/A                                                       | 66,7                                   |
| MB: chloropirina (67:33)                                                                                                        | Shank (inyección)                | 400 lbs/A                                                     | 65,5                                   |
| Cloropirina EC®                                                                                                                 | Drip (goteo)                     | 200 lbs/A                                                     | 66,9                                   |
| Compost                                                                                                                         | Banded + Till<br>(cintas + arar) | 30 yd3/A                                                      | 63,7                                   |
| Vapam®                                                                                                                          | Drip (goteo)                     | 75 gal/A                                                      | 64,3                                   |
| InLine®                                                                                                                         | Drip (goteo)                     | 26 gal/A                                                      | 62,6                                   |
| Vapam®                                                                                                                          | Banded + Till<br>(cintas + arar) | 75 gal/A                                                      | 57,7                                   |
| Sin fumigación                                                                                                                  |                                  |                                                               | 58,9                                   |
| Fuente: Louws, <i>et al.</i> , 2005                                                                                             |                                  |                                                               |                                        |

Los resultados de este estudio indican que todos los tratamientos, excepto el InLine®, presentan eliminación de la Marchitez por *Verticillium* comparados con las parcelas no fumigadas. Los productos en base a Yoduro de Metilo y Cloropirrina aplicados por inyección (Shank) presentaron un control similar al BrMe. Las formulaciones de Yoduro de Metilo y Cloropirrina EC comprometieron la incidencia del control de la marchitez de *Verticillium*. En términos de rendimientos, varias alternativas entregaron rendimientos comerciales similares al BrMe, entre las cuales se incluyen: Yoduro de Metilo aplicado por inyección, Telone-C35® e InLine®. Las parcelas no-fumigadas tuvieron los rendimientos más bajos.

## 2.6. Mezcla 1,3-Dicloropropeno y Metil isotiocianato (1,3-D + MITC)

La combinación de 1,3-D y MITC, surgió como una alternativa al BrMe al aumentar el control de malezas y plagas en los cultivos (Ajwa *et al.*, 2003). Las combinaciones de 1,3-D y MITC se utilizan en Europa, Canadá y otros países. Sin embargo, su disponibilidad futura en los países de la Unión Europea es incierta (MBTOC, 2010).

La combinación de 1,3-D y MITC, mostraron incrementos en el control de plagas. Sin embargo, se ha observado que el uso repetido de esta combinación a lo largo de sucesivas estaciones, reduce su eficacia en el control de enfermedades (MBTOC, 2010).

Ensayos de campo realizados por Gilreath *et al.* (2005a), comparando distintas alternativas químicas al BrMe en pimiento (*Capsicum annuum* L.), durante tres años consecutivos, demostraron que la mezcla de Metham Sodio más Pic, proporcionaba un control de *Meloidogyne* igual o mejor que el BrMe + Pic. Además, para el rendimiento de pimiento, la aplicación de la mezcla señalada proporcionó un peso de fruta similar al BrMe+ Pic, en dos de las tres temporadas.

## 2.7. MITC, 1,3-D y Pic

La combinación de estos tres fumigantes ha ganado gran interés por su eficiencia contra nematodos, hongos, malezas e insectos del suelo. Sin embargo, el producto fue retirado del registro en los EE.UU. en 1992, pero aún está registrado en Canadá y ha superado al BrMe en Australia para el control de patógenos en frutillas. Se ha renovado el interés de esta combinación como una alternativa al

BrMe, donde todavía está registrado (por ejemplo, Canadá, México). Esta combinación aumenta el control de hongos, nematodos y malezas sobre el uso de 1,3-D en mezcla con Pic.

Ajwa *et al.* (2005), en trabajos realizados en frutilla, han demostrado que la aplicación secuencial de Metham Sodio después de aplicaciones de la mezcla 1,3-D/Pic, controlan las plagas del suelo y, los rendimientos producidos en frutilla son equivalentes a la mezcla normal BrMe/Pic, sin existir efectos negativos. Sin embargo, aplicaciones de 1,3-D y Metham Sodio han mostrado algunas limitaciones de degradación en algunos suelos arenosos (Ajwa *et al.*, 2004).

## **2.8. Formaldehído y Metham sodio**

Una mezcla de formaldehído y Metham Sodio puede ampliar el espectro de control de patógenos por un efecto sinérgico; particularmente para el control de hongos. El efecto tóxico de la mezcla se ve a mayor profundidad en el suelo, en comparación con la aplicación de cada producto químico en forma individual. La importancia de mezcla formaldehído y Metham Sodio es importante en suelos donde se produce el fenómeno de degradación acelerada del Metham Sodio. Como el formaldehído y Metham Sodio reaccionan fuertemente cuando se mezclan juntos, la aplicación de estos dos fumigantes se debe realizar desde contenedores separados.

## 2.9. Resumen de alternativas

El cuadro siguiente (Jarvis, 1977) muestra el espectro de efectividad en el control de plagas de los fumigantes utilizados a nivel internacional, señalados anteriormente de acuerdo a los plaguicidas alternativos al BrMe y su combinación con Pic.

**Cuadro Nº 3. Espectro de efectividad del BrMe y de los fumigantes alternativos principales**

| Fumigante                      | Control de: Hongos | Nematodos | Insectos | Malezas |
|--------------------------------|--------------------|-----------|----------|---------|
| Bromuro de metilo (BrMe)       | + -                | +         | +        | +       |
| BrMe - Pic                     | +                  | +         | +        | +       |
| Isotiocianato de Metilo (MITC) | + -                | +         | +        | + -     |
| Metham sodio                   | + -                | + -       | +        | +       |
| Dazomet                        | +                  | +         | +        | + -     |
| Yoduro de Metilo (MI)          | +                  | +         | =        | +       |
| Cloropirrina (Pic)             | +                  | +         | +        | +       |
| 1,3-Dicloropropeno (1,3-D)     | -                  | +         | =        | + -     |

+ Alta efectividad; - Efectividad baja o nula; + - Efectividad contra algunos microorganismos, o con dosis altas; = Efectividad no probada. Fuente: Jarvis (1997)

## 2.10. Alternativas químicas en el cultivo de frutilla

### 2.10.1. Alternativas químicas en la producción de frutilla (frutos)

Desde el punto de vista económico, la industria de la frutilla es muy importante en España desde mediados de los años ochenta del siglo pasado. La mayor parte de la superficie cultivada de frutillas en España se desinfectó con BrMe, como norma técnica y cultural antes de la plantación para evitar la incidencia de enfermedades. Su efecto beneficioso sobre el cultivo en el control de patógenos, en general, ha sido muy apreciado por los agricultores y por los productores de frutilla en particular (Cebolla *et al.*, 1999). A partir de 2008 España prohíbe el uso de BrMe para tratamiento de suelos y, en el año 2010 la Unión Europea prohíbe el uso de éste biocida para tratamientos de suelo y cuarentenario.

En un ensayo de campo realizado por Cebolla *et al.* (1999), en el área de Valencia, en frutilla variedad Camarosa, se comparó el comportamiento de los siguientes tratamientos: (1) Telone II® (nematicida) en dosis de 18 g/m<sup>2</sup> + Metham sodio (108 g/m<sup>2</sup>); (2) Telone C35® (una mezcla con 65% de Telone® y 35% de Cloropirrina) en dosis de 28 g/m<sup>2</sup>; (3) BrMe en dosis estándar de 60 g/m<sup>2</sup> con lámina de polietileno; comparados estos con un (4) Testigo sin aplicación.

Se evaluó la supervivencia de *Fusarium* spp a partir de trozos de raíces contaminadas con el inóculo del hongo, las cuales se enterraron en dos profundidades, a 10 cm y a 20 cm. Los resultados mostraron, que el tratamiento testigo no destruye el inóculo, independientemente de la profundidad del muestreo. Por otro lado, los tratamientos (1), (2) y (3) redujeron la cantidad de estructuras fúngicas, aunque Telone C35® y Telone II® +Metham Sodio lo hicieron de una manera diferente, de modo que el primero fue más eficaz en las capas superiores, mientras que el segundo fue mejor a profundidades de 20 cm. Sin embargo, los mejores resultados se lograron con la aplicación de BrMe en cada profundidad.

En el mismo trabajo, donde se comparó el desarrollo de plantas, todos los tratamientos mostraron un mayor vigor del vegetal con respecto al testigo. Existe un ligero aumento en el vigor de la planta cuando se aplica BrMe. Por otro lado, la incidencia de malezas, fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) en el caso del testigo, en comparación con el resto de los tratamientos. El tratamiento estándar BrMe es el más eficaz en el control de malezas, aunque no hubo diferencias significativas con Telone C35®.

Los resultados de rendimiento de calidad comercial de frutas, muestran que todos los tratamientos difieren significativamente con el testigo. Los tratamientos con BrMe y con Telone C35® son similares, siendo el primero estadísticamente significativo y diferente a Telone® + MethamSodio. Cuando se considera el rendimiento total, el tratamiento BrMe es altamente significativo y diferente con el resto de los tratamientos. Sin embargo, la precocidad fue similar en todos los tratamientos, excepto en el testigo, donde fue significativo.

La calidad de peso promedio de fruta, fue la referencia sobre la calidad de la producción. El análisis estadístico para los pesos del fruto mostraron que el BrMe y el Telone C35® tenían un peso de la fruta similar, siendo distinto al tratamiento

Telone® + MethamSodio, y siendo todos los tratamientos significativamente diferentes del testigo.

Como conclusión de este trabajo, Telone C35® es el único tratamiento que puede ser considerado tan eficaz como el BrMe, en cuanto a características productivas de la frutilla, así como en la calidad del fruto, costos del control de malezas y vigor.

Benavides *et al.* (2004) presentan un trabajo realizado en Michoacán, México, para probar alternativas para la sustitución de la combinación, comúnmente usada, correspondiente a BrMe con Cloropicrina (BrMe+PIC) en la fumigación de suelos para producción de frutilla. El terreno designado para el estudio contaba con un historial de uso para producción de solanáceas como tomate y papa.

Los tratamientos evaluados fueron:

- 1) Dazomet
- 2) Ácido tricloroisocianúrico (TCIC) y
- 3) Dos inóculos bacterianos (*Bacillus subtilis* y *Pseudomonas corrugata*).

Se utilizaron plantas de la variedad Seascape en un sistema con acolchado plástico y riego a presión, en dosis de 500 kg/ha (BrMe+Pic), 300 kg/ha (Dazomet) y 110 kg/ha (TCIC). Las bacterias fueron inyectadas vía sistema de riego evitando la contaminación cruzada y verificando su recuperación del suelo.

Para todas las variables indicadoras del vigor postrasplante, se encontró que el Dazomet superó significativamente al BrMe+PIC. El testigo, el TCIC y los inóculos bacterianos mostraron los promedios más bajos siendo todos ellos diferentes al Dazomet y BrMe+PIC.

El Dazomet produjo 97% más frutos que el testigo, mientras que el BrMe+PIC produjo 72% más. Se concluyó que el Dazomet es un fumigante de suelo que puede sustituir adecuadamente al BrMe + Pic en la producción de frutillas bajo las condiciones de cultivo probadas.

Roskopf *et al.* 2005, en frutilla, encontraron que la mejor alternativa disponible para el control de patógenos, consiste en una aplicación de Telone C-35® (1,3-Dicloropropeno + 35% Cloropicrina), aplicado en la cama de siembra, en dosis de 331 litros por hectárea tratada, 3 a 5 semanas antes del trasplante.



Schchar *et al.* (2006), de la Universidad de California, realizaron un estudio de los rendimientos de frutillas y control de malezas con fumigantes alternativos aplicados en combinación con Metham Sodio bajo distintos tipos de cubiertas, dado que otros estudios sugerían que cubiertas plásticas muy/altamente impermeables (VIF, Very Impermeable Film) podrían reducir las emisiones al medioambiente, mejorar la eficacia del control de plagas, aumentar los rendimientos y que aplicaciones secuenciales de Metham Sodio podrían también mejorar el control de plagas y los rendimientos.

Se realizaron fumigaciones vía riego en camas cubiertas con plásticos muy/altamente impermeables (VIF), plásticos semi impermeables (SIF) y cubiertas estándares de polietileno de alta densidad (Standard High Density Polyethylene). La eficacia en el control de malezas y los rendimientos en las parcelas tratadas con fumigantes alternativos al BrMe fueron comparadas con parcelas controles no tratadas. Los siguientes fumigantes fueron aplicados por vía riego: InLine® (1,3-D + Pic) a 300 lb/A; BrMe + Pic (BrMe: Pic en una relación 67:33) a 200, 250 and 300 lb/A; Pic a 200 lb/A; y Midas® (Yoduro de Metilo) a 200 lb/A. Una aplicación secuencial de Metham Sodio a 171 y 100 lb ai/A fue hecha a la mitad de las parcelas tratadas.

Los resultados mostraron que las parcelas tratadas con fumigantes alternativos al BrMe tuvieron rendimientos similares a aquellas parcelas tratadas con BrMe+Pic y similar control de malezas. Para la mayoría de los tratamientos químicos, las aplicaciones secuenciales de Metham Sodio no mejoraron el control de malezas o rendimientos. No se encontraron diferencias significativas en la eficacia del control de malezas o en los rendimientos bajo las diferentes cubiertas. Metham Sodio, como un tratamiento solo, entrega similar control de malezas respecto de los otros fumigantes alternativos, pero presenta menores rendimientos. Los beneficios de las aplicaciones secuenciales de Metham Sodio fueron visibles solo cuando se usaron tasas reducidas de fumigantes de suelos, teniendo en cuenta que aquellas usadas en este estudio fueron adecuadas para entregar control de malezas y rendimientos de frutillas aceptables. Aplicaciones secuenciales de Metham Sodio mejoraron los rendimientos y el control de malezas, solo en aquellas parcelas fumigadas con Pic o BrMe: Pic a 200 lb/A.

La mayoría de los fumigantes alternativos entregaron un buen control de malezas y rendimientos similares a las parcelas tratadas con BrMe. Midas® (Yoduro

de Metilo) mostró un control de malezas equivalentes o mejor que BrMe. Las cubiertas menos permeables no mejoraron el control de malezas en las parcelas tratadas con fumigantes alternativos.

En la tesis de doctorado, "Alternativas Químicas al Bromuro de Metilo en el Cultivo de la Frutilla" (Palencia, 2009; España), se caracterizan diferentes alternativas químicas que podrían sustituir al BrMe, utilizando como material vegetal la planta de frutilla (*Fragaria x ananassa Duch.*) del cultivar "Camarosa". El periodo de estudio abarcó los meses de agosto a junio en tres años agronómicos consecutivos. Los campos de ensayos estuvieron ubicados en dos explotaciones de frutillas representativas de la zona oriental de la provincia de Huelva (España), cada uno con 30 parcelas elementales (p.e.) de 79,2 m<sup>2</sup> y 500 plantas/p.e.

Las variables observadas fueron las siguientes: porcentaje de supervivencia, producción precoz, porcentaje de segunda categoría de la producción precoz, producción total, porcentaje de segunda categoría de la producción total, peso medio de los frutos y desarrollo vegetativo.

El desarrollo de esta tesis concluye, en cuanto a la desinfección del suelo, que la Pic sola y la mezcla Dimetil Disulfuro y Pic, son las mejores alternativas al BrMe para obtener un mayor desarrollo vegetativo y para la obtención de un rendimiento final superior, siendo la Pic sola o formulada en mezcla con otros productos químicos, la que muestra una mayor influencia en el comportamiento agronómico del cultivo de la frutilla.

### **2.10.2. Alternativas químicas en la producción de frutilla (plantas en vivero)**

En el caso de la generación de plantas de frutilla en viveros, el BrMe se utiliza para la producción de estolones de frutilla para cumplir con los estándares estrictos de certificación de producción y almacenamiento libre de plagas, en los viveros de este cultivo (MBTOC, 2010). Considerando que un viverista de plantas de frutilla, en un año, puede infectar los campos de varios miles de productores, los impactos adversos de las plagas pueden ser severos, por lo cual la alternativa al BrMe debe dar el mismo nivel de seguridad en el control que este fumigante, o mejor (MBTOC, 2012).

Por esta razón, en la producción de plantas en viveros en suelo (“cepellón”), sólo unas pocas alternativas son adecuadas, como el Metham Sodio en mezcla con Pic; o el 1,3-D en mezcla con Pic.

Se evaluó los fumigantes de suelo Pic, 1,3-D, Dazomet, Metham Sodio, Metham Potasio y dimetilsulfóxido, en combinación con diferentes plásticos como alternativas al BrMe en la fumigación de viveros de frutilla (MBTOC, 2010).

Los ensayos se llevaron a cabo en un período de cuatro años, aplicando los fumigantes antes de la plantación. La marchitez vascular (causada por *Verticillium* spp.) y la podredumbre de la corona (causada por *Phytophthora cactorum*) eran las principales enfermedades que se encontraron en los viveros de frutilla.

Los resultados indican que la Pic, el 1,3-D y el Dazomet son comparables al BrMe en el control de las enfermedades del vivero. Además, el 1,3-D y BrMe, aplicados al 50% de la dosis bajo plásticos virtualmente impermeables, controlaban de forma eficaz las enfermedades de suelo en los viveros.

En particular, la mezcla Metham Sodio + Pic, está siendo aceptada como una alternativa de reemplazo al BrMe para esta área de producción, lo que queda respaldado por ensayos de campo que siguen demostrando eficacia de esta mezcla en países como Australia, China, España y los EE.UU. (MBTOC, 2010).

## **2.11. Métodos de aplicación de fumigantes**

Según el informe del año 2010 del Comité de Opciones Técnicas al Bromuro de Metilo (MBTOC, Methyl Bromide Technical Options Committee) del Protocolo de Montreal, los fumigantes de suelo pueden ser aplicados mediante los siguientes métodos:

- 1) Mecanizado mediante inyectoros.
- 2) Aplicación manual: perforación de latas y pre-vaporización del gas.
- 3) A través del sistema de riego.

### 2.11.1. Método mecanizado mediante inyectores

El principal método ha sido mediante el uso de equipos de inyección mecanizados que aplican el fumigante a profundidades de 15 a 30 cm en el suelo, seguido inmediatamente por el cubrimiento con lonas plásticas para sellar el fumigante. También el fumigante puede ser inyectado a 80 cm de profundidad (aproximadamente), en un proceso llamado “inyección profunda”, en cuyo caso la aplicación no requiere el cubrimiento con cobertura plástica (MBTOC, 2010).

### 2.11.2. Aplicación manual

Los fumigantes pueden aplicarse manualmente, utilizando equipos y métodos sencillos de aplicación que requieren de un previo cubrimiento del suelo con coberturas plásticas (MBTOC, 2010), mediante mecanismos tales como: i) la perforación de latas liberando el gas en frío, y ii) el pre-vaporizando el gas.

#### 2.11.2.1. Perforación de latas

Este mecanismo consiste en la perforación mediante un punzón de las latas (como el caso del BrMe) debajo de gruesas capas de plástico para sellar perfectamente el orificio abierto en la lata, evitando fugas laterales y liberando el gas en el suelo. Esto se debe hacer con mucho cuidado para no dañar la barrera de plástico y no aumentar el riesgo para el aplicador. En toda aplicación debe cuidarse que el empaque se encuentre en buenas condiciones y que selle perfectamente, de otra forma, el operador corre el riesgo de que el producto salpique sobre la ropa o los ojos y pueda provocarle ceguera permanente, además de exponerse a una grave intoxicación. Este método de liberación de gas en frío es la más sencilla de todas pero puede ser el más ineficiente de los métodos descritos. La argumentación de los países, respecto a la razón del uso de este método, es que proporciona una aplicación fácil para pequeñas áreas donde la maquinaria de inyección puede ser difícil de utilizar. Su uso ha sido limitado en muchos países debido a las preocupaciones sobre la seguridad para el aplicador (MBTOC, 2010). En Chile, como consecuencia de un acuerdo público/privado, estas presentaciones comerciales fueron retiradas del mercado.

### **2.11.2.2. Pre-vaporización del gas**

Este método es especialmente adecuado para pequeñas áreas o espacios cerrados donde la maquinaria es difícil de manejar. Los fumigantes líquidos se vaporizan a partir de cilindros bajo presión en un intercambiador de calor y después se dispersan debido a las cubiertas de plástico sobre la parte superior del suelo (MBTOC, 2010).

### **2.11.3. Mediante el sistema de riego**

Los fumigantes también se pueden aplicar a través de las líneas de riego por goteo en aplicaciones en invernadero. Las principales ventajas de la aplicación de fumigantes a través de riego por goteo son la distribución mejorada de éstos en el suelo, la capacidad de reducir la dosis y un mejor control de las emisiones, especialmente cuando se aplican combinaciones de productos (MBTOC, 2010).

## **2.12. Recomendaciones generales para la aplicación de fumigantes al suelo**

### **2.12.1. Preparación de suelos**

Para asegurar un buen resultado en la fumigación de cualquier producto químico en el suelo y para que ésta persista por varios meses, se debe realizar previamente una buena preparación de suelos. Una mala preparación de los mismos, es la mayor limitante de la efectividad de la fumigación, por lo cual es clave esta labor antes de aplicación de un desinfectante de suelos.

Uno de los errores más graves que se cometen en la fumigación de suelos, es la postergación de las labores de preparación del mismo, hasta momentos previos a la inyección del producto químico al suelo (Carrasco *et al.*, 2006b). La preparación del terreno debe iniciarse lo antes posible, en particular si éste ha sido cultivado con alguna empastada o algún cultivo anual. Para ello, es necesario hacerlo con rastra de discos, a objeto de picar el material, incorporarlo y proporcionarle el tiempo necesario para facilitar la descomposición de los residuos de la plantación anterior, además de reducir terrones y rastrojos del cultivo que le antecedió. (Carrasco *et al.*, 2002).

Si el terreno ha sido cultivado por años y es necesario realizar una labor de fumigación, se recomienda iniciar la preparación de suelos con una labor de subsolado. Esto permite romper posibles capas compactadas o pie de arado, que pueden dificultar la aplicación e incorporación en el suelo de la mezcla fumigante. Esta labor se debe hacer con el suelo lo más seco posible para favorecer el rompimiento de la capa compactada. El subsolado se debe realizar a una profundidad suficiente para soltar y abrir espacios porosos dentro del suelo, lo que permitirá una dispersión completa del fumigante en el mismo, además de favorecer el rápido crecimiento de las raíces del cultivo a establecer (Carrasco *et al.*, 2006b).

### 2.12.2. Humedad del suelo

La humedad óptima para la fumigación es de un 10% a un 20%. Una humedad excesiva limitará el movimiento del fumigante. En el caso de la aplicación de fumigantes, el mejor contenido de humedad se encuentra por debajo del estado friable. En forma práctica, el estado friable de humedad del suelo es aquel que se encuentra cuando se toma una muestra de suelo con la mano y se disgrega fácilmente con los dedos, sin que queden restos adheridos a la palma de la mano (Carrasco *et al.*, 2002). Si se disgrega con facilidad, no quedando restos adheridos a la palma de la mano, o restos tan duros que no se puedan disgregar, el contenido de humedad es adecuado para la labor (Carrasco *et al.*, 2006b), es lo que se denomina suelo con contenido de humedad en Capacidad de Campo.

### 2.12.3. Temperatura de aplicación

No se debe fumigar con una temperatura del suelo inferior a 10 °C. Generalmente, las temperaturas entre 12 °C y 25 °C, medidas a 10 cm de profundidad, son mejores para lograr una buena gasificación y difusión del fumigante a través del perfil del suelo, lo que dependerá de las indicaciones específicas de cada producto dadas por el fabricante.

### 2.12.4. Dosis

Las dosis autorizadas se entregan en la etiqueta de cada plaguicida. Un análisis de suelo, para determinar población de nematodos y hongos patógenos, es un antecedente importante para la recomendación del fumigante y su dosis.

### **2.12.5. Sellado de la superficie**

Inmediatamente después de la inyección del fumigante es necesario sellar la superficie de la zona aplicada, usando para ello plástico polietileno. Un inadecuado sellado de la superficie puede reducir drásticamente la eficacia del tratamiento y/o exponer cultivos vecinos a gases provenientes de la fumigación. En esta labor, se asume que los encargados del predio han implementado las condiciones de seguridad adecuadas para proteger las personas y el medio ambiente cercano.

### **2.12.6. Ventilación del suelo tratado y prueba de germinación**

Antes de iniciar un cultivo en un suelo tratado con algún fumigante, es recomendable ventilar el suelo o sustrato fumigado para favorecer la eliminación de gases residuales del fumigante que pudiesen afectar las plantas cultivadas. Para saber si el suelo está en condiciones de ser sembrado o plantado, se recomienda hacer una prueba de germinación con semillas como por ejemplo, conde lechuga (Carrasco *et al.*, 2002).

Para ello, las semillas deberán hacerse germinar en un recipiente con 200 a 250 gramos del suelo tratado. Si las semillas germinan, se dan las condiciones para establecer el cultivo, o de lo contrario, se deberá ventilar nuevamente el suelo o sustrato, esperar unos días y repetir la prueba hasta que la germinación sea adecuada (Carrasco *et al.*, 2006).





# Capítulo 2

# ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO DISPONIBLES EN CHILE



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales



## CAPÍTULO 2

### 3. ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO DISPONIBLES EN CHILE

La base de datos del “*Pesticide Action Network*” se obtuvo el estado de registro del BrMe y los fumigantes de suelo alternativos, anteriormente mencionados, para los EE.UU., Canadá y la Unión Europea (UE). Los datos se presentan en el siguiente cuadro.

| Cuadro N°4. Estado actual de registro del BrMe y de sus principales alternativas                                       |      |        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|----|
| Fumigante                                                                                                              | EEUU | Canadá | UE |
| Bromuro de Metilo                                                                                                      | Si   | Si     | No |
| Isotiocianato de Metilo                                                                                                | Si   | No     | No |
| Metham Sodio                                                                                                           | Si   | Si     | No |
| Dazomet                                                                                                                | Si   | Si     | No |
| Yoduro de metilo                                                                                                       | Si   | No     | No |
| Cloropicrina                                                                                                           | Si   | Si     | No |
| 1,3-Dicloropropeno                                                                                                     | Si   | No     | No |
| Fuente: <sup>4</sup> PAN Pesticides Database. Pesticide Action Network, North America. – Pesticide Registration Status |      |        |    |

Respecto a Canadá, de los productos señalados, cuatro de ellos presentan registro. Según la página de “*Environment Canada*”, el BrMe está registrado bajo el Acta para Productos de Control de Plagas (*Pest Control Products Act for soil, space and commodity fumigation*), sin embargo, el BrMe no se produce en el país sino que es importado desde los EE.UU..

El uso e importación de BrMe es controlado bajo las regulaciones de sustancias agotadoras de ozono (Ozone Depleting Substances Regulations, 1998).

En cuanto a la Unión Europea (UE), ninguno de los productos analizados está registrado, según esta base de datos. Sin embargo, un artículo publicado en ENDS Europe, el 27 de abril del 2012, informa que el fumigante de suelo Metham Sodio

(En Yoduro de Metilo de Cuadro 4): Retiro del producto el año 2012 por la EPA de EE.UU.

<sup>4</sup>PAN Pesticides Database. Pesticide Action Network, North America. – Pesticide Registration Status. Recuperado en la web el 4 de diciembre del 2012. [www.pesticideinfo.org](http://www.pesticideinfo.org).

fue nuevamente aprobado en la UE, generando una gran controversia luego que se había establecido su prohibición en el año 2009 debido a la falta de información sobre la seguridad de este plaguicida. La reautorización fue aprobada el 9 de marzo de 2012 y establece condiciones estrictas en el uso de Metham Sodio. Esta readmisión fue el resultado de un proceso iniciado el año 2008 para algunos plaguicidas, los que no eran permitidos según acuerdos de la UE, como por ejemplo: 1,3-D, Metham Sodio y BrMe en bajas concentraciones. Respecto al caso específico del uso del Metham Sodio, éste tendría como fecha de vencimiento, junio de 2022.

Las limitaciones reglamentarias establecen que el uso del Metham Sodio estaría autorizado sólo para aplicación como fumigante de suelo pre-plantación, como nematicida, fungicida, herbicida e insecticida, limitado a una aplicación cada tres años en el mismo suelo. La aplicación puede ser autorizada en campo abierto, mediante inyección mecánica o por riego por goteo y, en invernaderos solo por riego por goteo. La tasa máxima de aplicación es de 153 kg/ha (correspondiente a 86,3 kg/ha de Metham Sodio -MITC), en aplicaciones a campo abierto.

En el caso del 1,3-D, desde el 20 de marzo de 2009 la UE no permite la comercialización y uso de esta sustancia ni de sus mezclas. No obstante, la normativa comunitaria prevé que los estados miembros pueden autorizar su comercialización por un periodo no superior a 120 días. En diciembre del año 2010, los Ministros de Agricultura no alcanzaron mayoría suficiente ni para aprobar ni para rechazar la propuesta de la Comisión Europea, por la que el 1,3-D no se incluyera en el Anexo 1 de la Directiva 91/414, que recoge a lista de productos autorizados para la sanidad vegetal. En España se han realizado solicitudes para su uso en los periodos contemplados por dicha normativa.

El registro comercial de Yoduro de metilo (MI), ha aumentado significativamente en todo el mundo, haciéndose cada vez más reconocido como la alternativa de próxima generación al BrMe para la fumigación del suelo. Sin embargo, ha sido cuestionado por su toxicidad, generando cierta preocupación en cuanto a que pueda presentar un peligro mayor para la salud humana en comparación con el BrMe. En la UE nunca fue registrado.

En California, el <sup>5</sup>MI ha sido aprobado para su uso como fumigante, principalmente en los cultivos de frutillas. Debido a que es volátil y propenso a dispersarse, existe la preocupación de que ponga en riesgo la salud de los trabajadores agrícolas y miembros de las comunidades rurales, exponiéndolos a niveles 3.000 veces más altos de lo que los organismos reguladores consideran seguro. El MI es también un potencial contaminante de las aguas subterráneas .

En cuanto a la situación nacional, el estado de registro de los fumigantes de suelo autorizados para Chile de la Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente del Servicio Agrícola y Ganadero <sup>6</sup>(SAG) , actualizado al 22 Abril 2013, se presentan a continuación en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 5. Lista de plaguicidas tratamiento de suelos con Autorización Vigente**

| Ingrediente activo                                     | Nombre comercial             | Fecha de autorización por el SAG (*) | N° Registro SAG | Cultivo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,3-D<br>(34 % p/p)                                    | TRI-FORM® (Trical)           | 30-03-2010                           | 1621            | Pre siembra o pre plantación (hortalizas, frutales, nogales, viveros e invernaderos)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1,3-D / Cloropirrina<br>(79,9 % p/p /<br>14,9 % p/p)   | TRI FORM 15® (Trical)        | 25-11-2008                           | 1756            | Hortalizas, cultivos generales, frutales y nogales, viveros e invernaderos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1,3-D / Cloropirrina<br>(61,75 % p/p /<br>34,65 % p/p) | TRI FORM 30® (Trical)        | 25-11-2008                           | 1757            | Hortalizas, cultivos generales, frutales y nogales, viveros e invernaderos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1,3-D / Cloropirrina<br>(37,6 % p/p /<br>59,4 % p/p)   | TRI FORM 35® (Trical)        | 26-11-2008                           | 1758            | Hortalizas, cultivos generales, frutales y nogales, viveros e invernaderos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1,3-D / Cloropirrina<br>(65,8 % p/p /<br>29,7 % p/p)   | TRI FORM 60® (Trical)        | 25-11-2008                           | 1759            | Hortalizas, cultivos generales, frutales y nogales, viveros e invernaderos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Cloropirrina<br>(99 % p/p)                             | TRI-CLOR® (Trical)           | 30-03-2010                           | 1622            | Hortalizas, frutales, nogales, viveros e invernaderos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Dazomet<br>(97,5 p/p%)                                 | BASAMID GRANULADO®<br>(Basf) | 06-01-2012                           | 1178            | Ajo, ají, alcachofa, apio, cebolla, coliflor, espárrago, frutilla, frambuesa, lechuga, melón, pepino, pimienta, repollo, tomate, sandía, zanahoria, zapallo, arveja, haba, porotos, alfalfa, tréboles, maíz, lupino, raps, remolacha azucarera, papa, tabaco, kiwi, duraznero, nectarino, ciruelo, cerezo, manzano, peral, palto, chirimoyo, lúcumo, vides, nogal, olivo, arándano, eucalipto, pino radiata, clavel. |

<sup>5</sup>Yoduro de Metilo. PROP 65 (lista de CA) [www.toxies.com/methyl-iodide](http://www.toxies.com/methyl-iodide)

<sup>6</sup>Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente. Fecha de actualización: 3 de Diciembre de 2012. Publicado en <http://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>

(\*): de las fechas indicadas se debe adicionar 5 años, momento en el cual se debe realizar una renovación de la autorización. De no ocurrir expira el registro.



|                                                                                         |                                           |            |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metham Sodio<br>(51 % p/v)                                                              | NEMASOL®<br>(Taminco N.V, Bélgica)        | 01-07-2010 | 1751 | Ajo, ají, alcachofa, apio, cebolla, coliflor, espárrago, frutilla, frambuesa, lechuga, melón, pepino, pimienta, repollo, tomate, sandía, zanahoria, zapallo, arveja, haba, porotos, alfalfa, tréboles, maíz, lupino, raps, remolacha azucarera, papa, tabaco, kiwi, duraznero, nectarino, ciruelo, cerezo, manzano, peral, palto, chirimoyo, lúcumo, vides, nogal, olivo, arándano, eucalipto, pino radiata, clavel.                             |
| Metam sodium<br>(42 % p/p) (50 % p/v)                                                   | RAISAN 50®<br>(Lainco S.A.; España)       | 16-09-2008 | 1654 | Suelo preparado para almacigo, para plantación de hortalizas, frutales, viveros forestales y plantas ornamentales (tomate, pimentón, cebolla, ajo, lechuga, poroto, coliflor, brócoli, apio, zanahoria, maíz, guindos, cerezos, durazneros, damascos, nogales, vides, naranjos, limones, manzanos, kiwi, frutilla, frambuesos, melón, sandía, arándanos, eucaliptos, pino, claveles, lisianthus, rosas, crisantemo, liliun, alstroemeria, ficus) |
| Capsaicina y capsaicínidos relacionados / Alil isotiocianato<br>(0,42 % p/p / 3,7% p/p) | DAZITOL®<br>(Champon Millenium Chemicals) | 27-08-2010 | 1659 | Tomate invernadero, vid vinífera, uva de mesa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Etoprofos<br>(72 % p/v) (720 g/l)                                                       | MOCAP 6 EC®<br>(Bayer Cropscience)        | 14-05-2012 | 1164 | Frutales (manzano, pera, membrillo, damasco, duraznero, nectarino, cerezo, ciruelo, nogal, almendro, limón, naranjo, mandarino, pomelo, palto, frutilla, frambueso, arándano) y vides, arándano, frutilla, zarzaparrilla, grosellero, loganberries, eldenberries, boysanberries, papa, tabaco, tomate, hortalizas (melón, sandía, zapallo, ajo, pimienta), ornamentales, ajo.                                                                    |
| Etoprofos<br>(40,53 % p/v)                                                              | MOCAP 400 CS®<br>(Bayer Cropscience)      | 14-05-2012 | 1794 | Plantaciones definitivas y viveros de: vid de mesa, vinífera y pisquera, naranjo, limonero, mandarino, pomelo, cerezo, duraznero, nectarino, ciruelo, damasco, almendro, nogal, avellano europeo, frutilla, frambueso, arándano, manzano, peral, membrillero, kiwi. Cultivos hortícolas: tabaco, tomate, melón, sandía, zapallo, pimienta, papa, cebolla, ajo y plantas ornamentales.                                                            |
| Tetratocarbonato de Sodio<br>(40,38% p/v)                                               | ENZONE®<br>(Arysta Lifescience)           | 25-08-2010 | 1477 | Viveros y plantaciones de: uva de mesa, vino, pisco, naranjo, limonero, mandarino, clementinas, limas, palto, arándano, frambuesa, frutilla, manzano, peral, membrillero, almendro, duraznero, nectarino, ciruelo, cerezos, damascos; cultivo y semilleros de: tomate, pimentón, pepino, melón, alcachofas, papas, rosas, clavel, pensamiento, crisantemo, tabaco.                                                                               |

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas Con Autorización Vigente al 22 Abril 2013

### 3.1. Recomendaciones de aplicación de los principales fumigantes alternativos al BrMe autorizados en Chile

A continuación, se presentan las recomendaciones de aplicación de alternativas químicas al BrMe, como fumigante de suelos, ordenadas por orden alfabético según los ingredientes activos, la información proviene de la etiqueta y folleto autorizado por SAG lo cual se adjunta como anexo al texto.

#### 3.1.1. 1,3-Dicloropropeno y mezclas

| Características del 1,3-Dicloropropeno                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado                                                                                         | Tri-form® (Reg. SAG N° 1621; Trical Inc. / Trical de Baja California, Estados Unidos / México)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Formulación                                                                                                | líquido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Concentración                                                                                              | 94 % p/p                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Grupo químico                                                                                              | organoclorado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Clasificación Toxicológica                                                                                 | Ingrediente activo (i.a) (Extremadamente Tóxico), Franja roja                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Cultivos donde se autoriza su uso                                                                          | Pre siembra o pre plantación (hortalizas, frutales, nogales, viveros e invernaderos)                                                                                                                                                                                                                                               |
| Plagas objeto de control                                                                                   | <i>Melodogyne incognita</i> , <i>Tylenchulus semipenetrans</i> , <i>Xiphinema americanum</i> sl, <i>Pratylenchus thornei</i> , <i>Criconemella</i> spp, <i>Criconema</i> spp, <i>Hemicyclophora</i> spp, <i>Aphelenchoides rizemabosi</i> , <i>Heterodera trifolii</i> , <i>Globodera pallida</i> , <i>Globodera rostochiensis</i> |
| Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



## Características de la mezcla 1,3-Dicloropropeno + Cloropicrina

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ingrediente activo                | 1,3-Dicloropropeno + Cloropicrina                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Producto formulado                | Agrocelhone NE® (Reg. SAG N° 1670; Agroquímicos de Levante S.A., España)<br>Anacelhone NE® (Reg. SAG N° 1722; New Commander S.L., España)<br>Tri Form 15® (Reg. SAG N° 1756; Trical Inc./Trical de Baja California; EEUU/México)<br>Tri Form 30® (Reg. SAG N° 1757; Trical Inc./Trical de Baja California; EEUU/México)<br>Tri Form 35® (Reg. SAG N° 1758; Trical Inc./Trical de Baja California; EEUU/México)<br>Tri Form 60® (Reg. SAG N° 1759; Trical Inc./Trical de Baja California; EEUU/México)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Formulación                       | Concentrado emulsionable (Agrocelhone; Anacelhone) y líquido (Tri Form)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Concentración                     | 55,4 % p/p / 37,2 % p/p;<br>55,4 % p/p / 37,2 % p/p;<br>79,9 % p/p / 14,9 % p/p;<br>61,75 % p/p / 34,65 % p/p;<br>37,6 % p/p / 59,4 % p/p;<br>65,8 % p/p / 29,7 % p/p; respectivamente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Grupo químico                     | órganoclorado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Clasificación Toxicológica        | la (Extremadamente Tóxico), franja roja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Cultivos donde se autoriza su uso | Hortalizas, cultivos generales, frutales y nogales, viveros e invernaderos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Plagas objeto de control          | <i>Meloidogyne</i> spp, <i>Helicotylenchus</i> spp, <i>Xiphinema americanum</i> sensu lato, <i>Xiphinema index</i> , <i>Crictonemella</i> spp, <i>Crictonema</i> spp, <i>Tylenchulus semipenetrans</i> , <i>Paratylenchus</i> spp, <i>Helicotylenchus</i> spp, <i>Pratylenchus</i> spp, <i>Fusarium</i> spp, <i>Rhizoctonia</i> spp, <i>Pythium</i> spp, <i>Phytophthora</i> spp, <i>Trichoderma</i> spp, <i>Hemicycliophora</i> spp, <i>Tylenchorhynchus</i> spp, <i>Ditylenchus dipsaci</i> , <i>Longidorus</i> spp, <i>Aphelelenchoides ritzemabosi</i> , <i>Heterodera trifolii</i> , <i>H. major</i> , <i>H. cruciferae</i> , <i>Zygotylenchus</i> spp, <i>Macrophostoria</i> spp, <i>Globodera pallida</i> , <i>Globodera rostochiensis</i> , <i>Verticillium</i> spp, <i>Armillaria mellea</i> , <i>Agrotis ipsilon</i> , <i>A. subterranea</i> , <i>Heliothis zea</i> , <i>Heliothis virescens</i> . |

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013

## Antecedentes generales

El 1,3-Dicloropropeno es un hidrocarburo clorado que se emplea como fumigante del suelo con propiedades nematicidas, fungicidas, insecticidas y herbicidas. El poder nematicida proviene de su producto de degradación 3-cloroalil alcohol. La degradación del Dicloropropeno en el suelo es rápida y la velocidad del proceso está determinada por la naturaleza del suelo. La solubilidad en agua es de 2 g/l. El tiempo vida media de la molécula es de 11,3 días (medido desde pH 5 a 9 y a 20 °C). Puede lixiviarse si las aguas son someras (poco profundas) y los suelos arenosos, con bajo porcentaje de materia orgánica y en zonas de riegos o lluvias frecuentes. Puede ser usado en la desinfección de suelo destinado a semilleros y cultivos hortícolas, entre otros.

## Recomendaciones generales de aplicación

La temperatura óptima para la fumigación es de 15 a 20 °C a 10 cm de profundidad. No realizar fumigación con temperaturas inferiores a 10 °C.

La mezcla de 1,3-Dicloropropeno + Cloropicrina se inyecta en el suelo en forma líquida y por efecto de la temperatura del suelo se convierten rápidamente en gas. Este gas se distribuye extensamente a través del perfil del suelo y posteriormente se disuelve en el agua adsorbida por las partículas del suelo.



Foto 1: Aplicación por inyección.



Foto 2: vía riego de fumigantes al suelo.

En la mezcla 1,3-D + Cloropicrina es altamente volátil, por lo cual inmediatamente después de la aplicación, se debe colocar una cubierta plástica de polietileno sobre el suelo para su sellado con el objeto de evitar pérdidas del fumigante y, a la vez evitar posibles daños a la salud humana.

Trabajos realizados el año 2003 (Carrasco *et al.*, 2006b), en Quillota (Región de Valparaíso), en tomate bajo invernadero, señalan que *Fusarium* spp fue controlado eficientemente por el tratamiento de aplicaciones de Agrocelhone NE-400® en dosis de 400 l/ha, siendo similar su efecto al BrMe. Los mismos resultados se observaron para el control de nematodos de los géneros *Meloydogine* y *Pratylenchus*.

Con temperaturas adecuadas (15°C) se puede considerar el mínimo de aireación 10 días. Con temperaturas inferiores se debe aumentar los días de aireación pudiendo llegar sobre los 30 días.

### 3.1.2. Capsaicina y capsaicinoides relacionados / Alil isotiocianato

| Características de la capsaicina y capsaicinoides relacionados / alil isotiocianato                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado                                                                                         | Dazitol® (Reg. SAG N° 1659; Champon Millenium Chemicals Inc.; Estados Unidos)                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Formulación                                                                                                | Concentrado soluble                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Concentración                                                                                              | 0,42% p/p / 3,7% p/p                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Grupo químico                                                                                              | Aceite esencial natural                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Clasificación Toxicológica                                                                                 | IV (Franja Verde)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Cultivos donde se autoriza su uso                                                                          | Tomate invernadero, Vid vinífera, Uva de mesa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Plagas objeto de control                                                                                   | Nematodos ( <i>Trichodorus</i> , <i>Ditylenchus dipsaci</i> , <i>Helicotylenchus</i> , <i>Meloidogyne</i> spp., <i>Paratylenchus</i> , <i>Xiphinema americanum</i> y <i>Tylenchorhynchus</i> ) y complejo de hongos del suelo que causan la caída de plantas ( <i>Fusarium</i> spp, <i>Phytophthora</i> spp, <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium</i> spp, <i>Botrytis cinerea</i> ) |
| Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### Antecedentes Generales

La capsaicina y capsaicinoides relacionados es un producto formulado a partir de extractos de ají (Capsaicina) y aceites esenciales de mostaza (isocianato de alilo), actuando a través de dos mecanismos de acción; por contacto y repelencia, en contra de insectos, nematodos y hongos.

### Recomendaciones generales de aplicación

El tratamiento se realiza al inicio de la actividad radical, repitiendo según la necesidad (primavera y/o postcosecha). La dosis recomendada de capsaicina y capsaicinoides relacionados corresponde a 12-15 l/ha a una concentración entre 1.000-2.000 ppm, correspondiente aproximadamente a 45-60 minutos de inyección, dependiendo de la precipitación del equipo. La aplicación debe realizarse con suelo previamente regado.

#### 3.1.3. Cloropicrina

| Características de la Cloropicrina                                                                         |                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado                                                                                         | Tri-Clor® (Reg. SAG N° 1622; Trical Inc./Trical de Baja California; EEUU/México)                                                                                                                                |
| Formulación                                                                                                | Líquido                                                                                                                                                                                                         |
| Concentración                                                                                              | 99 % p/p                                                                                                                                                                                                        |
| Grupo químico                                                                                              | Organoclorado                                                                                                                                                                                                   |
| Clasificación Toxicológica                                                                                 | I (a) Extremadamente Tóxico, Franja Roja                                                                                                                                                                        |
| Cultivos donde se autoriza su uso                                                                          | Hortalizas, frutales, nogales, viveros e invernaderos                                                                                                                                                           |
| Plagas objeto de control                                                                                   | <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Verticillium albo-atrum</i> , <i>Verticillium dahlia</i> , <i>Phytium phytium</i> , <i>Phytophthora cinnamomi</i> , <i>Phytophthora citrophthora</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> |
| Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013 |                                                                                                                                                                                                                 |

## Antecedentes generales

La Cloropicrina es un fumigante que se emplea como fungicida – nematicida en aplicación al suelo. Es compatible con otros fumigantes con los que normalmente se emplea, como el 1,3-Dicloropropeno y el Isotiocianato de Metilo, entre otros. Su formulación con ellos tiene por objeto actuar como agente detector por su acción lacrimógena y para reducir los riesgos de incendio. La Cloropicrina se metaboliza pocas horas después de la aplicación por medio de degradación bacteriana a nitrometano, por la acción de *Pseudomonas* spp. Otros estudios de metabolismo en el suelo, demuestran que la Cloropicrina se degrada rápidamente a CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) como producto final. Su vida media en suelo limo arenoso es 4,5 días y su solubilidad en agua es 1,62 g/l (25 °C). Es una sustancia estable en medio ácido e inestable en medio alcalino.

## Recomendaciones generales de aplicación

Para la aplicación de Cloropicrina, el suelo debe estar mullido, libre de terrones y restos de vegetales, relativamente húmedo y con temperatura superior a los 15°C. Se debe colocar un plástico impermeable para evitar el escape del fumigante. Para disipar el producto después de su tratamiento es necesario esperar 21 días antes de realizar la plantación. Durante este periodo, una vez levantado el plástico, se darán tantas labores al suelo como sea posible mediante pases cruzados de cultivador, así facilitaremos la disipación de los restos del fumigante.

### 3.1.4. Dazomet

| Características del Dazomet                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado                                                                                         | Basamid G® (Reg. SAG N° 1178; Basf Aktiengesellschaft, Alemania)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Formulación                                                                                                | Granulado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Concentración                                                                                              | 97,5 %, p/p                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Grupo químico                                                                                              | Tiadiazina                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Clasificación Toxicológica                                                                                 | III, franja azul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Cultivos donde se autoriza su uso                                                                          | Ajo, ají, alcachofa, apio, cebolla, coliflor, esparrago, frutilla, fram-buesa, lechuga, melón, pepino, pimienta, repollo, tomate, sandía, zanahoria, zapallo, arveja, haba, porotos, alfalfa, tréboles, maíz, lupino, raps, remolacha azucarera, papa, tabaco, kiwi, duraznero, nectarino, ciruelo, cerezo, manzano, peral, palto, chirimoyo, lú-cumo, vides, nogal, olivo, arándano, eucalipto, pino radiata, clavel.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Plagas objeto de control                                                                                   | Nematodos: <i>Pratylenchus</i> , <i>Paratylenchus</i> , <i>Rotylenchus</i> , <i>Xiphinema</i> , <i>Dolichodorus</i> , <i>Meloidogyne</i> , <i>Heterodera</i> . Hongos: <i>Aphanomyces</i> , <i>Pythium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Fusa-rium</i> . Insectos: gusano cortador ( <i>Agrotis ipsilon</i> ), gusano alambre ( <i>Conoderus sp.</i> ), gusano blanco ( <i>Phytoloema sp.</i> ). Malezas anuales y perennes de semillas: pasto del pollo ( <i>Polygonum aviculare</i> ), diente de león ( <i>Taraxacum officinale</i> ), Ballica ( <i>lolum multiflorum</i> ), Quinguilla ( <i>chenopodium sp.</i> ), trébol rosado ( <i>Trifolium sp.</i> ), siete-venas ( <i>Plantago lanceolata</i> ), llanten ( <i>Plantago major</i> ), manzanilla ( <i>Chamomilla suaveolens</i> ), pata de gallina ( <i>Digitaria sanguinalis</i> ) |
| Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### Antecedentes generales

Es un producto granulado que ejerce acción fumigante del suelo controlando insectos, hongos, nematodos y malezas. A la fecha su modo de acción es desconocido, pero se cree que interfiere la acción de las enzimas sulfhídricas combinándose con ellas. Su persistencia en el suelo es de 6 a 8 semanas. Una vez aplicado

al suelo, la descomposición del producto depende de la textura y de la humedad del mismo. Por ello, en presencia de humedad, se degrada a Isotiocianato de Metilo que se evapora rápidamente a formaldehído, a sulfuro de hidrógeno y a metilamina. Es estable a temperaturas sobre los 35 °C. Su solubilidad en el agua es de 3 g/kg (20 °C).

Puede ser utilizado en el tratamiento de suelos de semilleros, suelos de viveros y terrenos para cultivos intensivos. Es altamente fitotóxico para plantas verdes.

### **Recomendaciones generales de aplicación**

En la aplicación del Dazomet, se requiere una distribución mecánica en el suelo para lograr uniformidad de aplicación y eficacia. Se incorpora y activa en el suelo mediante el riego. Durante el tratamiento, el suelo debe estar sellado por una cubierta de plástico polietileno. Entre la incorporación y el cubrimiento debe transcurrir el menor tiempo posible. Después de 7 a 14 días desde la aplicación, se debe retirar el plástico para permitir la aireación/ventilación. Para ésto se debe remover el suelo dos veces, con un intervalo de 2 a 3 días para permitir que el gas se disipe completamente.

Las dosis recomendadas para suelos livianos son de 35 a 40 g/m<sup>2</sup> = 350 a 400 kg/ha y para suelos pesados o con alto contenido de materia orgánica, es de 60 g/m<sup>2</sup> = 600 kg/ha.

Para obtener una buena eficacia de Dazomet, debe evitarse un escape prematuro de los gases formados en el suelo. Para lograr esto, se debe comprimir ligeramente el suelo tras la incorporación del fumigante, ya sea con rodillo o pisón, o bien regar ligeramente (6 mm) para que se forme una costra superficial; también se debe dar un ligero riego entre el 3º y 4º día siguiente a la aplicación, cuando por condiciones climáticas se seca la parte superior del suelo. Otra forma de evitar el escape prematuro de gases es cubrir el suelo con una lámina de plástico (nueva o usada), procurando sellar los costados.

Este fumigante puede usarse en cualquier época del año, siempre que la temperatura del suelo, medida a 10 cm de profundidad, sea superior a 10°C. Este hecho es fundamental porque se requiere que el producto granulado gasifique y que comience a difundirse en el perfil del suelo, ejerciendo con ello su efecto controlador de patógenos.



### Ejemplo de cálculo de aplicación de dosis de producto granulado

| Cantidad de producto comercial que se necesita para fumigar una (1) hectárea de invernaderos (tomado de Carrasco <i>et al.</i> , 2002) |   |                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------|
| Número de naves por hectárea                                                                                                           | : | 43                                                               |
| Largo de la nave                                                                                                                       | : | 30 m                                                             |
| Número de mesas por nave                                                                                                               | : | 4                                                                |
| Ancho de platabanda a tratar                                                                                                           | : | 0,8 m                                                            |
| Dosis                                                                                                                                  | : | 60 g/m <sup>2</sup>                                              |
| Cálculos                                                                                                                               | : |                                                                  |
| Superficie a tratar por nave                                                                                                           | : | 30 m x 0,8 m x 4 = 96 m <sup>2</sup>                             |
| Superficie total tratar                                                                                                                | : | 96 m <sup>2</sup> x 43 = 4.128 m <sup>2</sup>                    |
| Cantidad de producto a aplicar                                                                                                         | : | 4.128 m <sup>2</sup> x 60 g/m <sup>2</sup> = 247.680 g = 247,7 k |
| Es decir, deben aplicarse 247,7 kilos de producto comercial en 1 hectárea de terreno.                                                  |   |                                                                  |

El Dazomet se debe distribuir homogéneamente sobre la superficie del suelo en forma manual o con máquina, incorporando inmediatamente con un cultivador (rotovator), puesto que los gases empiezan a formarse en cuanto los gránulos entran en contacto con el agua del suelo. En caso de una aplicación manual del producto, se logrará una distribución más homogénea, dividiendo la superficie en sectores más pequeños, calculando y pesando la cantidad de producto por cada división (Carrasco *et al.*, 2006b).

La humedad del suelo no debe ser inferior al 50% de su capacidad de campo, ni estar sobre saturado. Si el suelo está seco, regar unos 7 a 14 días antes del tratamiento. No utilizar en invierno o si el suelo está demasiado empapado para cultivar. No aplicar en suelo con capa freática muy superficial. El resultado del tratamiento es más rápido si se realiza cuando la temperatura del suelo es superior a 7 °C.

Finalmente, se debe efectuar una prueba de germinación con semillas de lechuga, para determinar si existe riesgo de fitotoxicidad para el cultivo debido a la presencia de trazas del pesticida en el suelo tratado (Carrasco *et al*, 2006b).

### 3.1.5. Metham Sodio

| Características del Metham Sodio                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado en el mercado                                                                           | RAISAN 50® (Reg SAG N° 1654; Lainco SA; España)<br>NEMASOL® (Reg. SAG N° 1751; Taminco N.V.; Bélgica)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Formulación                                                                                                | Concentrado soluble                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Concentración                                                                                              | 42% p/p (50 % p/v) (Raisan 50)<br>51% p/v (Nemasol)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Grupo químico                                                                                              | Ditiocarbamatos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Clasificación Toxicológica                                                                                 | II, franja amarilla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Cultivos donde se autoriza su uso                                                                          | Suelo preparado para almacigo, para plantación de hortalizas, frutales, viveros forestales y plantas ornamentales (tomate, pimentón, cebolla, ajo, lechuga, poroto, coliflor, brócoli, apio, zanahoria, maíz, guindos, cerezos, durazneros, damascos, nogales, vides, naranjos, limones, manzanos, kiwi, frutilla, frambuesos, melón, sandía, arándanos, eucaliptos, pino, claveles, lisianthus, rosas, crisantemo, lilium, Alstroemeria, ficus)                                                                                                                                               |
| Plagas objeto de control                                                                                   | Enfermedades ( <i>Phytophthora</i> spp, <i>Pythium</i> spp, <i>Fusarium</i> spp, <i>Rhizoctonia</i> spp, <i>Verticillium</i> spp, <i>Sclerotinia</i> spp, <i>Armillaria</i> spp, <i>Plasmidiophora</i> spp, <i>Brassica</i> spp), Malezas ( <i>Oxalis</i> spp, <i>Convolvulus</i> spp, <i>Chenopodium</i> spp, <i>Malva</i> spp, <i>Portulaca</i> spp), Nematodos ( <i>Hoplolainus</i> spp, <i>Meloidogyne</i> spp, <i>Pratylenchus</i> spp, <i>Ditylenchus</i> spp), Insectos ( <i>Elateridos</i> - gusano alambre, <i>melolontidos</i> - gusanos blancos, <i>noctuidos</i> - gusanos grises) |
| Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## **Antecedentes generales**

La sustancia activa de este plaguicida es el Metil isotiocianato, metabolito principal de la descomposición del Metham Sodio en el suelo. El Metil isotiocianato es una sustancia química muy volátil que se difunde en el suelo en forma de gas y posee actividad fungicida, insecticida, nematicida y herbicida.

Su acción se ejerce interfiriendo por quelación las enzimas con radical metálico. También impide la absorción de oxígeno en la respiración celular de las especies sensibles.

Su vida media en el suelo es muy variable. En suelos de textura limoarenosa, pobres en materia orgánica, poco húmedos y a temperatura de 15 a 20° C, su vida media es de unos pocos minutos; en suelo agrícolas francos, su vida media puede alcanzar 4 o más días. En general, la velocidad de difusión del Metil isotiocianato a través del suelo aumenta al disminuir la humedad. En suelos ricos en materia orgánica, la difusión es menos favorable y se produce un efecto de adsorción del Metil isotiocianato que obliga a elevar moderadamente la dosis de aplicación. Su solubilidad en agua es de 722 g/l (a 20° C).

Los vapores de este fumigante son muy fitotóxicos por lo que no puede usarse en cultivos establecidos.

Se utiliza como fumigante de pre-plantación para tratar suelos destinados a semilleros, viveros y cultivos, como frutilla (fresa) y tomate, entre otros. Es efectivo en el control de artrópodos, algunas malezas y patógenos del suelo, principalmente, hongos y un número limitado de nematodos.

La presentación comercial del producto corresponde a una sustancia química líquida, que se comercializa en Chile bajo los nombres de RAISAN-50® (Registro SAG N° 1654) y Nemasol® (Registro SAG N° 1751).

## **Recomendaciones de aplicación**

Se puede aplicar al suelo directamente o a través del sistema de riego, bajo una cubierta de polietileno, como se presenta en la foto 3, a continuación.



Foto 3. Envases de fumigantes comercializados en Chile

La dosis recomendada de Metham Sodio (establecida en la etiqueta oficial) es de 100 a 120 ml/m<sup>2</sup> (formulaciones al 32,7 % de i.a.). En suelos livianos o arenosos, se podría usar una dosis baja a media (80 a 100 cm<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>); en cambio, en suelos más pesados o arcillosos, debiera ser dosis media a alta (100 a 120 cm<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>) (Carrasco *et al.*, 2006). En suelos ricos en materia orgánica, debido a la gran retención y dificultad de difusión del producto, debe aplicarse dosis altas, llegando incluso a superar los 120 ml/m<sup>2</sup>. En el caso de formulaciones al 51% p/v SL se deben emplear dosis de 750 - 1200 l/ha.

El Metham Sodio puede ser aplicado en cualquier época del año antes de la plantación o siembra, teniendo en consideración un suelo mullido con una temperatura superficial (medida a 10 cm del suelo) entre 15 y 24 °C y, una humedad

similar a la existente en el suelo cuando se va a trasplantar. La condición de temperatura, es fácil de verificar con la ayuda de un termómetro de suelo.

Una vez aplicado el Metham Sodio, se debe esperar entre 8 a 15 días para que el producto cumpla su efecto controlador de patógenos del suelo. Finalizado ese período, previo a la siembra o plantación, el productor debe verificar que el producto no esté activo en el suelo utilizando para ello una prueba de germinación, descrita anteriormente.

Desde la Región Metropolitana al sur, se debe evitar la aplicación de este fumigante entre los meses de mayo a julio, por las bajas temperaturas de suelo que se registran en ese periodo (Carrasco *et al.*, 2002). La razón de ésto, obedece al hecho de que una aplicación en ese periodo hace que el producto no gasifique adecuadamente, siendo lavado por las lluvias de invierno, por lo que se perdería la aplicación. Otro riesgo de esta aplicación, en período de bajas temperaturas, se refiere a la persistencia del producto en el suelo, gasificando posteriormente cuando las temperaturas aumenten, lo que podría afectar la siembra o plantación ya efectuada (Carrasco *et al.*, 2002), significando con ello, una pérdida del cultivo establecido. En este caso, previo a la siembra o plantación, es necesaria una prueba de germinación en el suelo tratado.

### 3.1.6. Etoprofos

| Características del Etoprofos                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado en el mercado                                                                           | MOCAP 6 EC® (Reg. SAG N° 1164; Bayer Cropscience USA LP; EEUU)<br>MOCAP 400CS® (Reg. SAG N° 1794; Bayer Cropscience AG; Alemania)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Formulación                                                                                                | Concentrado emulsionable y suspensión de encapsulado, respectivamente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Concentración                                                                                              | 72 % p/v (720 g/l) y 40,53 % p/v (respectivamente)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Grupo químico                                                                                              | Organofosfato                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Clasificación Toxicológica                                                                                 | Ib (Rojo) y II (Amarillo) (respectivamente)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Cultivos donde se autoriza su uso                                                                          | Plantaciones definitivas y viveros de: vid de mesa, vinífera y pisquera, naranjo, limonero, mandarina, pomelo, cerezo, duraznero, nectarino, ciruelo, damasco, almendro, nogal, avellano europeo, frutilla, frambueso, arándano, manzano, peral, membrillero, kiwi. Cultivos hortícolas: tabaco, tomate, melón, sandía, zapallo, pimiento, papa, cebolla, ajo y plantas ornamentales.                                                                                                                                       |
| Plagas objeto de control                                                                                   | Nematodo agallador ( <i>Meloydogine incognita</i> , <i>Meloydogine arenaria</i> , <i>Meloydogine ethipica</i> , <i>Meloydogine hapla</i> , <i>Meeloydogine naasi</i> , <i>Meloydogine havanica</i> ) Nematodo de los cítricos ( <i>Tylenchulus semipenetrans</i> ), Nematodo de los ápices ( <i>Xiphinema index</i> , <i>Xiphinema rivesi</i> , <i>Xiphinema dissusum</i> , <i>Xiphinema floridiae</i> , <i>Xiphinema peruvianum</i> ), Nematodo alfiler ( <i>Paratylenchus projectus</i> , <i>Paratylenchus dianthus</i> ) |
| Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lista de Plaguicidas con Autorización Vigente al 22 Abril 2013 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

## **Antecedentes generales**

Es un fumigante del grupo de los organofosforados, no sistémico con actividad insecticida y nematicida por contacto, que posee buena capacidad de penetración en el suelo. Interfiere la transmisión de impulsos nerviosos por inhibición de la acetilcolinesterasa de las plagas objetivo. Se aplica al suelo utilizando las instalaciones de riego localizado. Su solubilidad al agua es de 700 mg/l (20 °C). Es una sustancia muy estable en condiciones neutras y ligeramente en ácidas. Se hidroliza rápido en condiciones alcalinas (Pesticide Manual, 1997).

Su actividad residual puede durar hasta 2 meses. Se ha observado que la biodegradación del etoprofos es más rápida en suelos que ya habían sido tratados antes con este producto, que en los tratados por primera vez. Su vida media en el suelo depende de la textura y pH, así en suelos húmiferos con pH 4,5 es de 87 días y en los limo-arenosos con pH 7,2 y 7,3 es de 14-28 días. Se estima una vida media en condiciones aeróbicas de 43 días.

## **Recomendaciones generales de aplicación**

Es un plaguicida que puede ser aplicado en todo tipo de suelos; su actividad puede verse reducida en suelos orgánicos donde su eficacia depende de la humedad del suelo. Una sequía después de la aplicación puede reducir la efectividad del tratamiento.

Puede ser aplicado en presembrado o preplantación, o una vez que el cultivo esté bien arraigado. La siembra o plantación puede realizarse 7 días después de su aplicación, salvo que se indique otra cosa. No aplicar en mezcla con otros productos, ni aplicar antes o después de fertilizantes de fuerte reacción alcalina, como el amoníaco anhidro o la cal.

Las condiciones de uso autorizadas para los aplicadores requieren la utilización de equipos de protección individual y protección respiratoria adecuados y, otras medidas de reducción del riesgo como el uso de un sistema cerrado de transferencia para la distribución del producto, la protección de las aves, los mamíferos, los organismos acuáticos y las aguas superficiales y subterráneas en condiciones vulnerables. Las condiciones de autorización para la aplicación deberán incluir medidas de reducción del riesgo, como zonas tampón y la consecución de la total incorporación de los gránulos en el suelo, todo lo cual está expresamente indicado en la etiqueta.

### 3.1.7. Tetratiocarbonato de Sodio

| Características del Tetratiocarbonato de Sodio |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producto formulado en el mercado               | Enzone® (Reg. SAG N° 1477; Arysta Lifescience - Arysta Lifescience North America Corporation - FMC Foret SA, Francia - EEUU - España)                                                                                                                                                                                                                              |
| Formulación                                    | Concentrado soluble                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Concentración                                  | 40,38 % p/v                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Grupo químico                                  | Tiocarbonatos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Clasificación Toxicológica                     | II (Amarillo) Franja Amarilla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Cultivos donde se autoriza su uso              | Viveros y plantaciones de: uva de mesa, vino, pisco, naranjo, limonero, mandarino, clementinas, limas, palto, arándano, frambuesa, frutilla, manzano, peral, membrillero, almendro, duraznero, nectarino, ciruelo, cerezos, damascos; cultivo y semilleros de: tomate, pimentón, pepino, melón, alcachofas, papas, rosas, clavel, pensamiento, crisantemo, tabaco. |
| Plagas objeto de control                       | Nematodos: <i>Meloidogyne</i> spp, <i>Xiphinema</i> spp y <i>Pratylenchus</i> spp                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

#### Antecedentes generales

El Tetratiocarbonato de Sodio es un fumigante y desinfectante de suelos con actividad fungicida y nematicida, presentado en forma de concentrado soluble para aplicar al suelo disuelto en el agua de riego.

Dependiendo del tipo de suelo, la humedad y la temperatura de éste, se transforma rápidamente en disulfuro de carbono ( $\text{CS}_2$ ),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaOH}$ , siendo el primero de ellos el agente de control biológico. El Tetratiocarbonato es muy volátil y difunde por el suelo en 3 a 5 días, donde entre el 50% al 100% del disulfuro se volatiliza y el resto se oxida, dependiendo de la porosidad del suelo. En el agua, se hidroliza con una vida media de 30 minutos. Resulta efectivo en el control de nematodos y de hongos del suelo.



## **Recomendaciones generales de aplicación**

El producto se aplica al suelo disuelto en el agua de riego, incorporando mediante dosificador en la boquera de entrada de la parcela o por inyección en tubería con sistema Venturi o similar. No aplicar en suelos húmedos ni ricos en materia orgánica. No se debe aplicar cuando la temperatura del suelo sea inferior a 10 °C.

Si la temperatura del aire se espera que supere los 32 °C durante 5 horas en el día de la aplicación, deben usarse las concentraciones más bajas autorizadas en la etiqueta del producto. Evite contaminar las parcelas colindantes por posibles daños por fitotoxicidad. Las dosis menores (establecidas en la etiqueta del plaguicida) controlan nematodos, mientras que las mayores son necesarias para eliminación de hongos.



# Capítulo 3

# ALTERNATIVAS NO QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO DISPONIBLES EN EL MERCADO INTERNACIONAL



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales





## CAPÍTULO 3:

### ALTERNATIVAS NO QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO DISPONIBLES EN EL MERCADO INTERNACIONAL

#### 4. Las alternativas no químicas

El uso de alternativas no químicas para la desinfección de suelos se están volviendo cada vez más accequibles para los productores, siendo analizadas y consideradas por el Methyl Bromide Technical Options Committee (MBTOC) como satisfactorias para el reemplazo del BrMe.

A continuación se mencionarán las técnicas más relevantes, ordenadas alfabéticamente.

##### 4.1. Biofumigación

La falta de fertilización orgánica del suelo en la agricultura intensiva ha llevado a lo que se conoce como fatiga del suelo (Tello, 2010). Ésta puede ser, al menos, de tres tipos: fatiga física debida a una defectuosa estructura del suelo, fatiga química debida a la acción de acumulación de una fitotoxina o sustancia alelopática y, fatiga biológica debida al parasitismo de debilidad, es decir, que la baja población de microorganismos antagonistas de los patógenos del suelo provoca una afectación grave y repetida en la sanidad de los cultivos.

La biofumigación es una alternativa biológica al BrMe de desinfección de suelos, que debe su eficiencia a la formación de sustancias volátiles resultantes de la descomposición de la materia orgánica (residuos agrícolas y guanos), así como a los productos de su descomposición, en el control de los patógenos presentes en el suelo (Bello *et al.*, 1997). Este método fue desarrollado por Angus *et al.* (1994), que en una primera fase se consideró como una propiedad de las brasicas, que al utilizarse como abono verde dan lugar a sustancias tóxicas volátiles (Isotiocianatos, como alil-isometiltiocianato), que ejercen acción con efecto biocida en el control sobre hongos y nematodos (Bello *et al.*, 1997; Bello, *et al.*, 2008).

Cuando se aplica materia orgánica al suelo se produce una secuencia de cambios microbiológicos, con una proliferación de ellos, que se nutren y obtienen energía de la materia orgánica, iniciando la descomposición de la misma. Se estimula el desarrollo de otros organismos, tanto benéficos como perjudiciales (hongos nematófagos, nematodos predadores, lombrices, hongos, protozoos, algas y otros organismos), que originan una gran cantidad de productos químicos que participan en el control de los patógenos del suelo (Bello *et al.*, 1997). Los derivados de la descomposición de la materia orgánica, como amonio, nitratos, ácido sulfhídrico, otras sustancias volátiles y ácidos orgánicos, producen un efecto nematicida directo sobre la incubación de los huevos o sobre la movilidad de los estados juveniles (Bello *et al.*, 1997).

Según Zavaleta-Mejía, *et al.* (2002)<sup>7</sup>, "entre los beneficios que presenta la biofumigación, se encuentra su potencial para controlar diversos patógenos del suelo y cambiar las propiedades físicas y químicas del mismo, de tal manera que hacen un medio favorable para el desarrollo del cultivo. Adicionalmente, esta alternativa tiene un bajo costo y es de fácil acceso a los pequeños productores. De ser aplicado oportunamente, la biofumigación tiene el potencial de mejorar nuestro entorno ecológico, económico y social".

Algunos resultados en relación a la modificación de varios parámetros del suelo después de la biofumigación son especificados por Tello *et al.*, 2010:

- Se mejora la densidad aparente del suelo, incrementando así la porosidad y, por lo tanto, la velocidad de infiltración del agua de riego y de lluvia.
- La conductividad eléctrica del suelo, y en consecuencia la concentración salina no se ve significativamente modificada por la adición de estiércoles (la incorporación de estiércol en el perfil del suelo, requiere de ciertos cuidados, pues dependiendo de su origen y procesamiento previo a que sea sometido, pueden producirse problemas con los cultivos).
- El pH en suelo calcáreos (pH>8) disminuye ligeramente al final del cultivo.
- Se incrementa la materia orgánica.
- El sodio y los cloruros no se ven modificados en aquellos suelos que tienen una mayor concentración de ambos iones.

En cambio, sí que se modifican en los suelos que tienen menor concentración de sales.

- Se incrementa la concentración de potasio en el suelo, así como la de magnesio.

<sup>7</sup>Mencionado en Biofumigación con Brassica Oleracea como control de nematodos en cultivos de jitomate en Jiutepec, Morelos (Temporalidad: Enero-Mayo del 2006) TEC, Campus Morelos. Academia de Ciencias de Morelos A.C. Publicado en <http://www.acmor.org.mx/cuam/biol/204brassica.pdf>

- El incremento de nitrógeno depende de la relación C/N de la materia orgánica biofumigante.
- Los tratamientos con materia orgánica (estiércoles u otros residuos orgánicos) favorecen el incremento de hierro soluble en el suelo.
- Se incrementa considerablemente la forma manganosa ( $Mn^{2+}$ ) soluble al aplicar los tratamientos, pero disminuye al final del cultivo.
- Se incrementa considerablemente el fósforo soluble y por lo tanto asimilable, posiblemente en forma de fosfatos orgánicos (actividad fosfatasa) que impiden su precipitación como fosfato tricálcico. En este fenómeno no son ajenos los microorganismos asociados a la materia orgánica.
- El boro no se ve afectado.

La biofumigación es de un costo relativamente bajo y de fácil aplicación, que puede resultar una interesante alternativa para aquellos productores que se dedican a la producción orgánica de hortalizas (Carrasco *et al.*, 2006). Sin embargo, las mayores desventajas de esta alternativa, son la oportunidad de disponer de material vegetal adecuado, como el caso de especies crucíferas, además de la heterogeneidad de la actividad biológica en el suelo para la descomposición del material.

Los productores de hortalizas en invernadero consideran el uso del estiércol de pollo o de pavo, previo a la plantación, como una práctica habitual en la preparación de suelos por las ventajas que ofrecen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Carrasco y Riquelme, 2006). Esto se traduce posteriormente en un cultivo de mejor desarrollo, por lo que el costo de uso de guanos se minimiza siendo así una alternativa que se puede incorporar con relativa facilidad en el medio nacional.

Trabajos realizados por Bello *et al.* (1997), han demostrado que la efectividad de la biofumigación mejora con el uso la solarización, principalmente por el hecho que la solarización por si sola tiene un efecto controlador de patógenos, pero que además aumenta la temperatura del suelo, con lo cual favorece la acción de los microorganismos en la descomposición del material vegetal incorporado y de los guanos.

La biofumigación es un buen ejemplo de rentabilizar desechos o rastrojos agrícolas para ser aplicados en procesos de control de patógenos o en la fertilización



de los suelos. Es una técnica que mantiene la capacidad de autorregulación de los agrosistemas y que se basa en el uso de recursos locales, reduciendo con ello los gastos de energía utilizada en el transporte, principalmente (Bello, *et al.*, 2008).

Pereyra *et al.* (2008) compararon el efecto del Metham Sodio ( $0,125 \text{ l/m}^2$ ) y la biofumigación (guano de pollo,  $8 \text{ kg/m}^2$ ; salvado de trigo  $1,5 \text{ kg/m}^2$  y acícula de pino  $30 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ ), como alternativas al tratamiento con BrMe ( $80 \text{ g/m}^2$ ), sobre el tipo y número de malezas y las características químicas del suelo en un cultivo de clavel. Para ello, los biofumigantes utilizados fueron incorporados al suelo con motocultivador, luego se agregó agua y se cubrió con una lámina de polietileno de  $50 \text{ }\mu\text{m}$  durante 20 días. Los tratamientos con BrMe y con Metham Sodio se realizaron en suelo húmedo, trabajado con motocultivador y posteriormente a la aplicación, se cubrieron con una lámina de polietileno de  $50 \text{ }\mu\text{m}$ . El tipo y número de malezas presentes y las características químicas del suelo, se evaluaron antes de los tratamientos y a los 30 días después de implantado el cultivo. Los resultados mostraron que todos los tratamientos fueron eficientes con un porcentaje superior a 95%, para controlar las malezas, en número y especies. El Metham Sodio mostró la mayor efectividad (99,84%) y la biofumigación con acícula de pino la menor (96,5%).

Hoy en día existen una serie de patentes para la fabricación comercial de biofumigantes que controlan de plagas, con productos extraídos de semillas de especies del género *Brassica* (MBTOC, 2010).

#### **4.1.1. Pasos a seguir para la biofumigación en un invernadero**

##### **a. Apertura de surcos en el terreno**

En el terreno del invernadero, en las líneas o platabandas de plantación de los cultivos hortícolas, con un surcador o arado de vertedera de tiro animal abrir surcos de una profundidad de 15 a 20 cm (Carrasco *et al.*, 2006c).

##### **b. Picado de material**

Se pican los restos vegetales del cultivo de la temporada anterior, éstos al descomponerse en el suelo producen sustancias tóxicas volátiles para hongos y nematodos. Especies crucíferas, como repollo, brócoli y otras, son las más recomendadas, porque liberan alil - isometiltiocianato en el proceso de descomposición.

En la producción intensiva de hortalizas bajo invernadero, lo recomendable, es picar los restos o desechos del cultivo de la temporada anterior.

c. Incorporación de material picado

Se incorpora el material vegetal picado al interior del surco mezclado con guano que disponga el productor.

d. Tapado del surco

Una vez realizada la aplicación de material vegetal picado y guano, se procede a tapar el surco con el suelo de la platabanda de plantación.

e. Ubicación y postura de la cinta de riego

Tapado el surco, sobre cada platabanda de plantación se debe ubicar las cintas de riego.

f. Sellado de los surcos

Se sella cada platabanda de plantación con plástico polietileno, para evitar pérdidas de sustancias tóxicas para hongos y nematodos.

Es fundamental que una vez realizadas estas etapas, se debe proceder a regar cada una de las platabandas para facilitar el proceso de descomposición del material. La incorporación de materia orgánica al suelo debe complementarse con al menos 4 riegos para mantener húmedo el material (Carrasco *et al.*, 2006c).



Fotos 4. Preparación de una biofumigación.



Fotos 5y 6. Preparación de una biofumigación.

## 4.2. Biosolarización

Estudiada desde 1998, combina la solarización con la biofumigación y consiste en preparar la tierra de cultivo, incorporarle estiércol o guano de ave o animal, seguido de un riego de corta duración y, finalmente cubrir el suelo con un plástico de polietileno. La biosolarización es similar a la solarización, con la diferencia que en esta segunda técnica, además de la aplicación de calor del sol al suelo, se debe agregar estiércol y/o material vegetal del cultivo anterior picado, repartiéndolo e incorporándolo en el suelo cubriendo toda el área a tratar para el control de patógenos.

Autores como Guerrero *et al.* (2004) y Oka *et al.* (2007) descubrieron que el uso reiterado de la biosolarización incrementa su eficacia con el tiempo, aumentando la producción y mejorando el control de patógenos y malezas.

Algunos investigadores han demostrado que en suelos desinfectados mediante solarización, se consigue que algunos plaguicidas se degraden rápidamente, mientras otros no se ven afectados o incluso persisten en el tiempo. Existen experiencias en el uso de la solarización y biosolarización como técnicas de remediación de suelos donde se han obtenido resultados contradictorios, llegando a la conclusión de que la eliminación de sustancias como los plaguicidas del suelo, dependen de la naturaleza y tiempo de aplicación de estas técnicas (Navarro *et al.*, 2009).

## 4.3. Cultivos sin suelo

### 4.3.1. Cama flotante

Este sencillo sistema se basa en la hidroponía, donde se germinan las semillas en sustratos tales como vermiculita y turba, mezclándose en bandejas de poliestireno, flotando en un lecho poco profundo de solución nutritiva.

Países como China incrementaron el establecimiento de cultivos sin suelo, utilizando la técnica de la hidroponía, pasando de 1 ha en el año 1985 hacia 3.150 hectáreas en el año 2000 (Jiang *et al.*, 2000). El cultivo sin suelo se utiliza en la producción de tomates, pimientos, fresas, flores, melones, zapallos, plantas de viveros y plantas para trasplante de hortalizas y de tabaco. Sin embargo, su impacto no ha sido la esperada como técnica alternativa al BrMe.



*Foto 7. Cama flotante.*

#### **4.4. Desinfección con agua caliente**

Se utiliza ampliamente en Japón para el control de los patógenos del suelo (Uematsu *et al.*, 2003). El método fue desarrollado en el Centro Nacional de Investigación de Tsukuba (Japón) y consiste en la aplicación de agua hirviendo directa en el campo a no menos de 95°C (MBTOC, 2010). Su aplicación se realiza en áreas cultivadas de berenjenas, tomates, fresas, y pepinos. Este método parece ser una de las vías más prometedoras para el control de plagas del suelo en el futuro, pero no apropiado para grandes extensiones (MBTOC, 2010). Elimina plagas, incluyendo patógenos y malezas. La efectividad del tratamiento alcanza hasta los 3 años en áreas de cultivo protegidas.

Para que sea una técnica accesible a los agricultores, es necesario mejorar el equipo de producción de agua caliente, reduciendo su tamaño y sus costos.

#### 4.5. Inundación o encharcamiento del suelo

El método consiste en saturar e inundar el suelo por varios días. Para lograr la inundación del mismo en un terreno, se debe mantener una lámina de agua en forma permanente, por un tiempo determinado, que va de 10 a 12 semanas. Después de este período de inundación, se estima que el control de los nematodos puede llegar a casi un 100%, por lo que podría utilizarse como una alternativa al BrMe (Cook y Baker, 1983). Al saturarse con agua los poros del suelo, se perderá el oxígeno, elemento indispensable para el desarrollo de la vida, este hecho hace que la actividad microbiana descienda reduciendo las poblaciones de patógenos (Labrada y Fornasari, 2001; Braga *et al.*, 2002).

Este tipo de metodología se recomienda para un suelo de tipo arcilloso o franco arcilloso, que posee un menor porcentaje de macroporos, ya que en un suelo donde predominan partículas de arena (partículas de mayor tamaño) no se logrará la saturación del mismo, debido a que tiene poros más grandes entre las partículas y por lo tanto la película superficial de agua que se busque para lograr la inundación no se conseguirá.

Allen *et al.* (1997) señalan que las fuertes lluvias producidas durante el verano en Florida, Estados Unidos, producen inundaciones en el suelo, dando lugar a fenómenos de anaerobiosis, es decir de bajos niveles de oxígeno, controlando con ello nematodos. Por otro lado, Bello, *et al.* (2007) han demostrado el efecto letal para los nematodos de productos tales como los ácidos butírico, propiónico y sulfhídrido, que se producen en suelos inundados con altos contenidos de materia orgánica.

El problema que se visualiza con esta técnica, es que al retirar la lámina de agua se facilitarán las condiciones de oxigenación de los primeros centímetros de suelo y con ello la germinación de semillas y crecimiento de malezas. Además, para mantener un volumen importante de agua en el suelo, por un período de 10 a 12 semanas, se requiere contar con agua de riego disponible para ello.

#### 4.6. Injerto

El injerto, como técnica para evitar el ataque de patógenos y parásitos del suelo, tiene como finalidad obtener una planta sana con determinadas característi-



cas impidiendo el contacto de la planta sensible con estos organismos. En los sistemas de producción protegidos de hortalizas, se utiliza esta técnica en solanáceas (tomate, pimiento, berenjena) y cucurbitáceas (melón, pepino y sandía) para combatir enfermedades causadas por hongos y bacterias del suelo, así como las infecciones de nematodos (Camacho y Fernández, 2002).

El injerto de hortalizas sigue los mismos principios aplicados al injerto de árboles frutales. Se consigue una nueva “planta injertada” con una combinación de características deseables, tomando brotes de una planta a la que se denomina “variedad de injerto” y, la raíz que le provee una planta que se denomina “patrón” o “portainjertos” (Ozores, *et al.*, 2010).

El injerto es una técnica respetuosa con el medio ambiente ya que no genera residuos y se puede emplear como alternativa a las desinfecciones de los suelos con productos químicos. Además, genera empleo en el lugar donde se realiza (Camacho, 2009). Es ampliamente utilizado en los sistemas de producción bajo invernadero, ya sea en suelos o en sustratos (Sakata *et al.*, 2007; Davis *et al.*, 2008; Maršić y Jakse, 2010), como una alternativa eficaz al BrMe.



Fotos 8. Injerto en tomate.

En el pasado se ha dado poca importancia a la técnica del injerto, sin embargo hoy en día existe un creciente interés por ella como medio efectivo para el control de enfermedades de suelo (Ozores, *et al.*, 2010). La resistencia vegetal que otorga un portainjerto, es conocida como uno de los pilares fundamentales del manejo integrado de plagas y los parientes silvestres de los cultivos son la principal fuente de resistencia. Su transferencia al cultivo puede ser mediante hibridación o por la técnica del injerto (Cortez-Madrigal, 2010).

La técnica del injerto, mayormente se ha probado en cucurbitáceas como la sandía y en menor medida en melón y pepino, pero también en algunas solanáceas como tomate y berenjena. Se ha utilizado con gran éxito para controlar un amplio espectro de enfermedades producidas por hongos, tales como diversas formas especializadas de *Fusarium* y *Verticillium*, además de marchitamientos bacterianos, *Phytophthora* spp, pudrición de la raíz, raíz de corcho negro, nematodos del nudo radical y algunos virus (CMV, ZYMV, PRSV, WMV-II, TYLCV) (Bausher *et al.*, 2007; Paroussi *et al.*, 2007; King *et al.*, 2008; Louws, 2009).

Además de la reducción en la gravedad de las enfermedades, el injerto también ofrece aumentos de los rendimientos, mantiene y mejora algunos aspectos de la calidad de la fruta, la promoción del crecimiento, largos periodos de producción y longevidad de cultivos, uso de fertilizantes más eficientes, reducción del número de plantas requeridas por hectárea, tolerancias a la salinidad del suelo, baja temperatura y inundación, precocidad, y mejora en la calidad de los frutos en lo referente, principalmente, a firmeza (Bausher *et al.*, 2007; Chen y Wang, 2008; Davis *et al.*, 2008; Hamdi *et al.*, 2009; Camacho, 2009; Maršić y Jakse, 2010). Una decisión equivocada en la elección del portainjertos a utilizar nos puede llevar a un descenso del rendimiento con respecto a la que se obtiene de una planta franca (Ricardez *et al.*, 2008).

Esta tecnología innovadora ha sido practicada exitosamente en solanáceas y cucurbitáceas tales como tomate, berenjena, pimientos, sandía, melón y pepino, particularmente en Asia (Japón, Corea, China e Israel) y en países Mediterráneos (España, Italia, Turquía y Marruecos) (Leonardi y Romado, 2004; Lee, 2007; Oda, 2007). Su gran ventaja, es que puede competir con el BRME en producción, seguridad y costos de producción de los cultivos hortícolas (Braga *et al.*, 2002).

En países como Japón, Corea, y Cuba, más del 90% de la producción total bajo invernadero utiliza plantas injertadas. El uso de cultivares resistentes para con-



trolar los patógenos en el suelo (hongos, bacterias, virus, nematodos o parásitos) es considerado actualmente como una de las mejores alternativa al BrMe, además de ser una técnica inocua, que no produce daño al medio ambiente ni a la salud humana (Camacho y Fernández, 2002; Camacho, 2009; Ozores, *et al.*, 2010; Cortez-Madrigal, 2010). Sin embargo, el mejor rendimiento observado con las plantas injertadas se ha obtenido cuando se utilizan como un componente de un programa de MIP, en combinación con alternativas no químicas y químicas (Besri 2008, Davis *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2008).

Para la aplicación de la técnica del injerto en horticultura, es preciso tener instalaciones adecuadas, efectuándose en semilleros especializados dotados de taller de injerto, cámara de prendimiento y área de endurecimiento, todas las cuales permiten la obtención de una planta de calidad, que soporta su trasplante al campo con éxito (Camacho, 2009). Los procesos que se siguen para el desarrollo de la técnica, podrían resumirse en: siembra de la variedad; siembra del portainjertos (según especies y variedades se hará a la vez, antes o después una que otra); realización de la labor de injertación propiamente dicha (cuando ambas plantas tienen el desarrollo adecuado); fase de prendimiento y fase de endurecimiento. Tras esta última etapa, la planta está preparada para el trasplante en el terreno definitivo (Camacho, 2009).

Si la superficie plantada en el mundo dedicada a injerto aumentara en el futuro, es probable que haya un cambio en la ecología microbiana del suelo que podría conducir al desarrollo de nuevas enfermedades o cambios en la población de patógenos de las enfermedades actuales (MBTOC, 2010). Este cambio en las poblaciones de patógenos, puede ocasionar la reaparición de enfermedades previamente controladas. Aunque se demostró que el injerto controla muchas enfermedades comunes de las plantas, el éxito final probablemente dependerá de qué tan bien se mantengan monitoreos de los cambios de las poblaciones de patógenos (MBTOC, 2010).

#### **4.6.1. Experiencia de Europa**

En Grecia, combinando injerto con la esterilización del suelo con cianamida cálcica en la producción de berenjenas, se observó que la eficacia del control de la marchitez provocada por *Verticillium* aumentó significativamente, además de la mejora en el rendimiento de la planta (Bletsos, 2006). Para el control

de los nematodos del nudo de la raíz en Turquía, Yilmaz *et al.* (2008) utilizaron injertos de berenjenas, además de solarización del suelo en combinación con 1,3-D. En Italia Morra *et al.* (2007), en la producción de pimiento, no encontraron diferencias en la productividad de la planta, cuando se comparó el cultivo “pimiento injertado” versus “pimiento injerto combinado con BrMe o 1,3-D + Cloropicrina (Pic)”.

Estudios recientes en España, demostraron la efectividad de la resistencia del gen Mi en el patrón de tomate SC 6301 para reducir la densidad poblacional de *Meloidogyne javanica* en un invernadero infestado por nematodos. Con la utilización de este patrón, se logró reducir el número y grado de agallas, así como la población final de *M. javanica* en un 58% y 65%. La moderada reproducción de este nematodo sobre el patrón, confirma su alto nivel de tolerancia a dicho patógeno (Sorribas F., y Verdejo L., 2006).

En invernaderos comerciales de pimiento en el sureste de España, el uso de portainjertos resistentes a *Phytophthora capsici* y *Meloidogyne incognita*, en los suelos tratados con alternativas al BrMe, ha resultado en la selección de poblaciones virulentas de *Meloidogyne incognita*, pero no de *Phytophthora capsici* (Ros *et al.*, 2004). Por lo tanto, el uso de patrones resistentes en suelos se combina con 1,3-D en mezcla con Cloropicrina (Pic), Metham Sodio o biofumigación (guano de oveja fresco más estiércol de gallinaza), además de la solarización (Ros *et al.*, 2005).

Según diversos autores, en España se injerta el 98% de la planta para producir sandía, el 10% de la planta para producir tomate, el 3% de la planta para producir melón y se ha iniciado el proceso en berenjena, pimiento y pepino, ganando esta técnica cada día más adeptos por las múltiples ventajas que le encuentran los productores de hortalizas que la utilizan (Camacho, 2009).

Entre las ventajas que aporta la técnica del injerto en España, principalmente es su utilización con el objetivo de defender a la planta cultivada ante algún patógeno (Camacho y Fernández, 2002). El más corriente es el que produce la *fusariosis vascular* que afectan a estos cultivos, por efecto de patógenos que se desarrollan en el suelo y que desde ahí, lanzan sus ataques a las plantas intentando colonizarlas a través de sus raíces. Lo que se hace con el injerto, es colocar unas raíces que no permitan la colonización de la planta a través de ellas por tener resistencia a la instalación del patógeno en las mismas.

En el caso del tomate, en España también se está empleando el injerto para inducir vigor a la planta y mantener su producción en época fría, cuando normalmente se producen caídas en la recolección, como consecuencia de la menor temperatura (Camacho, 2009).

Cultivares de berenjena injertados sobre portainjertos resistentes a la raíz-nudo nematodos (*Meloidogyne* spp), son cada vez más cultivado en Sicilia (sur de Italia) para reducir este patógeno. Enfermedades como la marchitez por *Verticillium* se observó en berenjenas injertadas (cv "Negro Bell" sobre *Solanum torvum*) lo que indica que las necesidades de injerto, se deben asociar con otras alternativas de control (Garibaldi *et al.*, 2005).

#### **4.6.2. Experiencia de EE.UU.**

En los EE.UU., el injerto está todavía limitado en su mayoría a los invernaderos y a los productores orgánicos, pero se están desarrollando muchos proyectos de investigación para establecer la tecnología a mayor escala, en particular en los campos abiertos (Bausher 2008, 2009; Kubota *et al.*, 2008; 2009; Louws, 2009).

En el año 2008, más de 40 millones de plántulas injertadas de tomate se utilizaron en invernaderos estadounidenses. Además varios ensayos comerciales se han llevado a cabo para promover el uso de melón injertado y plántulas de tomate a campo abierto (Kubota *et al.*, 2008). Sin embargo, muchos obstáculos limitan la adopción de plantines injertados en los EE.UU., siendo uno de ellos la disponibilidad de plántulas necesarias para los grandes sistemas de producción a campo abierto. Para superar este problema, se han introducido en el país máquinas de alta velocidad para injerto de hortalizas, semi o totalmente automáticas (robots de injertos) (Kokalis-Burelle *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2009.).

El Laboratorio de Investigaciones Hortícolas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y varias universidades con concesiones de tierra, tales como la Universidad de Florida, la Universidad Estatal de Carolina del Norte, la Universidad Estatal de Ohio y la Universidad de Arizona, recientemente han puesto en marcha programas de investigación sobre tomate injertado (Ozores *et al.*, 2010). En la Universidad de Florida, se ha iniciado un proyecto para investigar la viabilidad de la producción de tomate injertado, utilizando patrones resistentes a enfermedades en ausencia de aplicación de

fumigantes al suelo. Los patrones de tomate son desarrollados principalmente para ser resistentes a marchitez por *Fusarium* y *Verticillium*, marchitez bacteriana, mal del tallo, nódulos de la raíz producidos por nematodos, y virus del mosaico del tabaco (Oda, 2007).

Investigaciones conducidas en California concluyeron que se encontraron altas densidades poblaciones de *M. incognita*, sobre patrones portadores del gen Mi del cv. Beaufort considerando a éste como tolerante y no resistente al nematodo. Otros autores demostraron la efectividad del gen Mi de resistencia del patrón cv. Brigeor sobre la reducción de las enfermedades provocadas por la incidencia de los nematodos. En Estados Unidos las líneas de *Capsicum chinense* (Jacq.) PA-353, PA-398 y PA 426, así como *C. annum* cvs. Carolina Cayenne, Carolina Wonder y Charleston Belle (Smith) han mostrado resistencia a *M. incognita* en invernaderos y campos. (Loannou, N., 2001)

#### 4.6.3. Experiencia de Argentina

En el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, se han realizado ensayos con el objetivo de conocer el efecto del uso de portainjertos resistentes sobre la incidencia de enfermedades ocasionadas por nematodos y patógenos del suelo en el cultivo del tomate en un invernadero. Se probó la combinación de dos cultivares sobre el portainjerto Heman, que demostró un buen comportamiento en un suelo con alta infestación de nematodos, al poseer resistencia y tolerancia a dichos organismos. Las plantas injertadas mostraron menor incidencia de síntomas en el follaje, tallos y frutos asociados al ataque de nematodos y hongos del suelo *Fusarium* spp. La técnica del injerto es promisorio, ya que ha permitido obtener cosechas aceptables y de calidad sin la utilización de agroquímicos (Mitidieri, M., 2007).

El injerto en pimiento sólo se puede realizar sobre plantas de su misma especie o género *Capsicum*. Se ha trabajado con patrones resistentes o tolerantes a nematodos del género *Meloidogyne* de la firma Italiana Esasem spa. De dichos portainjertos, se ha comprobado la tolerancia de las líneas P2 y P4 y la resistencia de pimientos de origen silvestres cuyos nombres comerciales son: AF21-91, 0040 y WAN 872. Líneas y variedades de pimiento se han informado como materiales resistentes, empleados como portainjertos (Peil, 2002).

#### 4.6.4. Experiencia de Cuba

En Cuba, el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", comenzó en el año 2001 a desarrollar investigaciones en la tecnología del injerto herbáceo para el manejo de nematodos formadores de agallas en las especies tomate, pimiento, melón y sandía (González, *et al.*, 2008).

En el Programa de Defensa Fitosanitaria para Casas de Cultivo Protegido, se establece un conjunto de medidas, entre ellas el uso de materiales resistentes empleados como patrones en la tecnología del injerto herbáceo para evitar la diseminación de nematodos formadores de agallas en las producciones protegidas de hortalizas (González, *et al.*, 2008).

Cuba en la actualidad cuenta con resultados prometedores en cuanto a la compatibilidad injerto-patrón, porcentaje de sobrevivencia de las plantas injertadas y la utilización de biorreguladores que faciliten el prendimiento del injerto. De igual manera, numerosos estudios se han realizado hacia la selección de patrones foráneos y nacionales resistentes a *M. incognita*. Entre ellos se destacan dos patrones de tomate "LAO-7002" y "LAO 7003" procedente de la firma D´Ruiter Seeds, uno silvestre del género *Solanum* (*S. torvum*) y uno de pimiento de procedencia nacional "LINEM" obtenido por el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" (González, *et al.*, 2006).

#### 4.6.5. Limitaciones y retos de la técnica del injerto en hortalizas

##### 4.6.5.1. Costos

El costo de la utilización de plantas injertadas en producción comercial, a menudo se percibe como un obstáculo para la amplia adopción de esta técnica. Una mirada a los procedimientos utilizados en la producción de tomate injertado, revela un costo adicional de las semillas, espacio, suministros y mano de obra asociados con el injerto (Ozores *et al.*, 2010).

En el mundo, la técnica y los sistemas de injertos han sido mejorados a lo largo de las últimas décadas y seguirá evolucionando hasta lograr una alta eficiencia y calidad. Paralelamente, la comparación del costo de tomates injertados con tomates no injertados, en diferentes condiciones de producción, ayudará a determinar la rentabilidad del uso de injertos, ya que el mayor vigor de la planta injertada permite reducir las densidades de plantación.

Los actuales patrones de variedades de tomate han sido desarrollados fuera de Chile, lo que resulta en un alto precio de las semillas y una disponibilidad limitada. Esto refleja la importancia de desarrollar programas locales de mejoramiento genético en patrones de tomate lo cual se traducirá en una baja en los precios de las semillas.

#### 4.6.5.2. Incompatibilidad

La incompatibilidad de injertos se refiere a la incapacidad de unir la variedad a injertar con el patrón y la falta de un crecimiento sano de la planta injertada. Las variedades actuales de patrones son seleccionadas para evitar el problema de incompatibilidad. Sin embargo, en la práctica las combinaciones variedad injertada-patrón aún tienen que ser probadas o experimentadas antes de ser incorporadas a la producción comercial (Ozores *et al.*, 2010).

#### 4.6.5.3. Resistencia incompleta

Aunque los patrones de plantas pueden ser muy resistentes a una variedad de patógenos del suelo, la resistencia completa a todas las enfermedades de la raíz es inalcanzable. La aparición de nuevas especies con nuevos genes resistentes, además de los altos niveles de población con resistencia y las condiciones ambientales, pueden limitar el nivel de resistencia del injerto. El éxito de la producción de tomates injertados en una región determinada dependerá en gran parte de una cuidadosa selección de los patrones para hacer frente a los patógenos prevalentes en el sitio. Además, las condiciones de microclima pueden afectar la expresión de la resistencia.

#### 4.7. Producción en sustratos

Los sustratos se emplean ampliamente para el cultivo de plantas sanas y de alta calidad, por lo tanto ofrecen un excelente medio para evitar el uso de BrMe. En general, los sustratos están libres de patógenos o pueden ser descontaminados fácilmente y económicamente (Koohakan *et al.*, 2004).

Los sustratos incluyen materiales inorgánicos, tales como lana de roca, espumas sólidas, lana de vidrio, vermiculita, perlita, zeolita y grava volcánica, también materiales orgánicos como la turba, corteza de pino, residuos vegetales de coco, cáscara de almendra y diversos materiales (Urrestarazu *et al.*, 2005; Pizano, 2006).



*Foto 9 y 10. Sustratos.*



En Japón, un sistema simple y económicamente factible, utilizando bandejas llenas de sustrato, ha demostrado ser particularmente útil para la producción de estolones de frutilla. Diversos materiales se utilizan como sustratos, por ejemplo, lana de roca, turba, cascarilla de arroz, cáscara de coco y corteza, que se pueden reutilizar después de la esterilización con tratamiento térmico solar o agua caliente (MBTOC, 2010).

En Europa, varias alternativas no químicas se aplican en la producción comercial de frutillas, como la rotación de cultivos (en Dinamarca, Alemania, Países Bajos, y Polonia), la vaporización (para frutilla protegida, en Bélgica, Francia y Alemania), la solarización (en Chipre, cuando los nematodos no están presentes) y la biofumigación (uso en pequeña escala en los Países Bajos y Eslovenia) (MBTOC, 2010).

Las restricciones al cultivo sin suelo, pueden ser la falta de identificación de sustratos adecuados locales, la potencial contaminación del agua y la vulnerabilidad del sistema al ataque de patógenos. Además, su desventaja podría radicar en su alto costo, por lo que la mayoría de los países que producen hortalizas y frutillas han desarrollado sistemas rentables de producción de sustratos al emplear materiales que están disponibles a nivel local (Pizano, 2006). Sin embargo, el uso de compost es una alternativa de sustrato viable, para resolver el problema ambiental de los residuos de cultivos hortícolas (Mazuela *et al.*, 2010). Es una alternativa aceptable, al compararla con la lana de roca y otros sustratos, como la fibra de coco.

Una limitación del uso de sustrato, es el tener un bajo potencial para cultivos, por la limitada disponibilidad local de los materiales orgánicos apropiados, por lo que se utiliza turba en forma masiva, tanto de origen nacional, como externo.

La turba, es una excelente alternativa de sustrato para la producción de hortalizas. Evaluaciones positivas respaldan la efectividad de este recurso para satisfacer aplicaciones en la producción de plántulas de hortalizas, viveros de árboles frutales y flores y, en cultivos de champiñones (Hauser, 1996).

López *et al.* (2003) llevaron a cabo un estudio experimental sobre la influencia de la incorporación al suelo de restos de compost de champiñón y de la desinfección del suelo con Metham Sodio y BrMe, sobre las poblaciones de nematodos en una rotación de pepino-acelga bajo invernadero. Para ello, las parcelas experimentales se establecieron en dos invernaderos con suelo franco-arenoso



situados en Madrid, España, que no habían sido fumigados con BrMe en los últimos diez años. La superficie total de los dos invernaderos era de 742 m<sup>2</sup> donde se realizaba la rotación habitual en la zona, pepino (*Cucumis sativus*) – acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), y presentaban problemas graves causados por *Meloidogyne incognita*.

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- 1) Bromuro de Metilo a una dosis de 60 g/m<sup>2</sup>.
- 2) Metham Sodio (MS) a dosis de 0,092 l/m<sup>2</sup>.
- 3) Compost usado de champiñón, aplicado a dosis de 5 kg/m<sup>2</sup>.
- 4) Testigo no tratado.

El compost de champiñón, estaba constituido por una mezcla de 50% de paja de cereal, 25% de estiércol de caballo y 25% de estiércol de pollo. Las parcelas tratadas se cubrieron con una lámina de polietileno sotrafilm NT de 200 µm de grosor.

El tratamiento con compost mostró una eficacia en el control de nematodos fitoparásitos, similar a la del Metham Sodio y BrMe. El compost incrementó los nematodos omnívoros y depredadores, los cuales prácticamente desaparecieron en el tratamiento con BrMe. La producción de pepino resultó similar en el tratamiento con compost y BrMe, aunque el costo del tratamiento con compost era inferior al del BrMe.

De lo anterior se concluye que la incorporación de materia orgánica al suelo, por su acción biofumigante puede ser una alternativa potencial para sustituir al BrMe, puesto que se consiguen producciones similares con costos inferiores, incrementándose por lo tanto los rendimientos, además se producen una disminución de las poblaciones de nematodos formadores de nódulos (*M. incognita*) y un incremento de los nematodos libres en el suelo, que con el BrMe desaparecen.

#### **4.8. Solarización**

La solarización utiliza la energía solar, para subir la temperatura del suelo y de los sustratos y así controlar patógenos e insectos.

Katan y DeVay (1991), la definieron como un proceso térmico de calentamiento del suelo por efecto de la radiación solar, que consiste en cubrir el suelo húmedo con un "film" de polietileno transparente durante 4 a 6 semanas en los meses de

mayor temperatura (verano). La temperatura que logra el suelo durante este proceso es letal para muchos patógenos, insectos y malezas (Carrasco *et al.*, 2002).

El proceso funciona como una pasteurización del suelo, ya que la temperatura aumenta bajo el plástico, hasta más de 50 °C en la capa superficial, durante las horas de mayor insolación (Katan y DeVay, 1991; Braga *et al.*, 2002).

En Argentina, Franco *et al.* (2006) en su trabajo "Evaluación de alternativas al uso de Bromuro de Metilo en cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo cubierta", recomienda la solarización como alternativa al BrMe para el cultivo de pimiento bajo invernadero.

En Chile, el mejor momento para realizar la solarización, es desde mediados de diciembre hasta fines de febrero, período de verano cálido, donde las temperaturas fluctúan entre los 30 y 35 °C (Carrasco *et al.*, 2002).

Sin embargo, de acuerdo a trabajos realizados en el verano del año 2002 (Carrasco *et al.*, 2002), con el tomate bajo invernadero de la zona productora de Quillota y Limache, se comprobó que esta técnica no es eficiente debido a la condición climática que se produce en el verano en el Valle del Aconcagua. Allí, hasta el mediodía existe la presencia de nubes que reducen el tiempo de exposición del sol sobre la superficie del suelo, lo que afecta el efecto controlador de patógenos de la solarización, por lo que resulta una técnica poco eficiente. Trabajos preliminares realizados en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota, muestran resultados promisorios del uso de la solarización en el cultivo del tomate.

Durante el proceso de solarización, la temperatura del suelo alcanza niveles elevados que son letales para muchos hongos, bacterias, nematodos, insectos y malezas, reduciendo su población hasta eliminar las enfermedades. Además provoca modificaciones en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando el crecimiento y la producción de las plantas cultivadas. Este método es altamente recomendable en cultivos de tomate y pimiento de siembra directa.

En el manual "Manejo de Enfermedades en Cultivos Protegidos de Tomate" (Colombo, 2002a) y en el manual "Manejo de Enfermedades en Cultivos Protegidos

de Pimiento" (Colombo, 2002b), dirigido a los productores hortícolas y técnicos dedicados al cultivo de tomate y pimiento bajo cubierta plástica, se presenta información que ha sido obtenida de situaciones de productores en campo planteadas en cultivos del Litoral Argentino.

En lo específico, para los hongos de suelo *Rhizoctonia solani* y *Oomycetes*, como también para varias especies de *Pythium* y de *Phytophthora*, que generan podredumbre de las raíces, se menciona que al realizar siempre el mismo cultivo bajo invernadero, se produce un incremento de los patógenos de suelo, haciendo "imprescindible" la desinfección del mismo por métodos físicos, como la solarización o con productos fumigantes como el BrMe a razón de 50 g/m<sup>2</sup> o Metham Sodio en dosis de 1 litro más 9 de agua cada 10 metros cuadrados de superficie a desinfectar.

Cualquiera que sea el método a emplear para la desinfección el suelo, éste deberá estar bien preparado y húmedo cerca de la capacidad del campo, para aumentar la eficacia de los tratamientos desinfectantes. No se debe aplicar agua en exceso, porque un suelo anegado no se desinfecta bien (MBTOC, 2010).

Durante el cultivo, se debe evitar que se produzcan pudriciones o destrucciones radiculares, ocasionadas por mal manejo, favoreciendo la invasión de hongos de suelo y agravando el deterioro de las plantas. En zonas como la regiones de Arica y Parinacota, en el extremo norte de Chile, se dan condiciones de temperatura ambiente muy propicias para aplicar la técnica física de desinfección de suelo por solarización.

La técnica de la solarización, consiste en preparar muy bien el suelo a desinfectar roturándolo previamente, incorporando estiércol, de manera que reduzcamos al mínimo el tamaño de las partículas para permitir un mejor calentamiento. Una vez realizada esta labor, se debe regar el suelo logrando capacidad de campo hasta por lo menos 0,40 metros de profundidad. Luego se cubre con una película de polietileno cristal de 25 a 40 micrones de espesor y se mantiene seis semanas en el período más soleado del año como son los meses de Diciembre, Enero y Febrero. Se produce un calentamiento por efecto de la energía solar, que va penetrando en profundidad, logrando eliminar la población de semillas de malezas, nematodos y patógenos de un amplio perfil del suelo. Esta práctica ha sido aplicada con muy buenos resultados en Israel, país donde se desarrolló y, en

California donde se determinó la destrucción de nematodos patógenos de las plantas hasta casi un metro de profundidad

#### 4.9. Vaporización de suelos y sustrato

La vaporización es un método de esterilización basado en el calor que transmite el vapor de agua aplicado con equipos especiales (Carrasco *et al.*, 2002). La técnica fue considerada por el MBTOC como alternativa al BrMe factible para controlar plagas y enfermedades en suelos y en sustratos. La desinfección del suelo con vapor ("vaporización") es una técnica ecológica utilizada en la agricultura intensiva, especialmente en la industria de invernadero de hortalizas y plantas ornamentales para reducir la presencia de patógenos (hongos, bacterias y nematodos) y semillas de malezas en el suelo (Gelsomino *et al.*, 2010). La desinfección de suelos con vapor ha continuado en aumento como una alternativa al BrMe, en cultivos de alto valor con manejo intensivo y protegidos bajo invernadero, como los sistemas de cultivo de flores y hortalizas (MBTOC, 2010).

Según el Reporte de Evaluación del MBTOC (2010)<sup>8</sup>, el vapor ha reemplazado el uso de BrMe para la esterilización de sustratos en un número importante de países. Así por ejemplo, Chile adoptó el vapor como alternativa para la desinfección de sustratos en viveros de árboles y, Bolivia adoptó pequeños vaporizadores para desinfectar sustratos (nuevos y re-usados) para semillas de papas, vegetales y ornamentales, como parte de un proyecto de eliminación de BrMe de PNUD (Barel, 2005<sup>9</sup>).

##### 4.9.1. Vapor Humeante

Es la técnica más común y más sencilla de aplicar en contenedores. Consiste en cubrir el suelo con una lámina termo-resistente, teniendo cuidado de sellar los bordes, para luego bombear vapor debajo de la lámina (MBTOC, 2010). El tratamiento habitual recomendado es mantener una temperatura de 70 °C durante al menos media hora, para controlar enfermedades de plantas y malezas (Runia, 2000), aunque algunos tratamientos pueden aplicarse a 60–80 °C durante aproximadamente una hora.

Muestras de suelos agrícolas que contienen estructuras de supervivencia de los patógenos de los cultivos, *Verticillium dahliae*, *Sclerotinia sclerotiorum*,

<sup>8</sup>Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, UNEP, "2010 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee -- 2010 Assessment". [http://ozone.unep.org/Assessment\\_Panels/TEAP/Reports/MBTOC/index.shtml](http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/MBTOC/index.shtml)

<sup>9</sup>Barel, M. (2005). Report on UNDP Project Mission in Bolivia, 19–22 April 2005. Project No. UNDP BOL/02/G62-11606. Report to National Ozone Unit, Bolivia.

*Sclerotium cepivorum*, *Pythium ultimum*, nematodos del quiste de patata, *Globodera rostochiensis* y *G. pallida* y malezas *Chenopodium album* y *Agropyron repens* (*Elymus repens*) se trataron en el laboratorio con vapor humeante de agua a temperaturas entre 40 °C y 80 °C en un aparato especialmente construido. La aplicación de vapor a 50 °C o 60 °C durante 3 min, seguido de un período de descanso de 8 min de aplicaciones de vapor al suelo, dio como resultado un 100% de eliminación de todas las malezas, enfermedades y nematodos. Con aplicaciones de vapor de agua a 45 °C, se observó una reducción pequeña, pero significativa, en la supervivencia de *V. dahliae* microesclerocios, pero no una reducción en la supervivencia de *S. cepivorum* (Van Loenen *et al.*, 2003).

#### **4.9.2. Vaporización a presión negativa (en contenedores)**

Es una alternativa prometedora más rápida y eficiente desde el punto de vista energético (Barel, 2003). El tratamiento con vaporización a presión negativa en contenedores, consiste en la aplicación de vapor de agua en un contenedor cerrado en el que se encuentra el sustrato y, en forma simultánea un extractor de aire fuerza el paso del vapor a través del mismo, logrando una disminución en los tiempos de desinfección de entre un 20% a 30% con respecto a la situación sin el extractor de aire. El extractor fuerza el paso del vapor a través del sustrato logrando una disminución en los tiempos de desinfección de entre un 2% y 30% (Carrasco *et al.*, 2002).

Con este sistema, el vapor se distribuye en forma más homogénea y se reduce el costo de desinfección, debido a un menor consumo de energía (petróleo y electricidad). Por lo tanto, es más eficiente. Si bien los vaporizadores de sustratos disponibles en el medio nacional no cuentan con la implementación para trabajar el sistema de vapor activo, es fácil adaptarlos mediante la adición de un extractor que se puede construir en maestranzas locales (Carrasco *et al.*, 2006a).

La ventaja de mantener el sustrato en un contenedor cerrado es la temperatura que puede alcanzar, oscilando entre los 90 °C y 100 °C. La técnica de vaporización a presión negativa fue considerada ya en el año 1994 por el MBTOC, como una de las técnicas alternativas al BrMe factibles de aplicar para controlar plagas tanto en suelos como en sustratos (Bello *et al.*, 2001; Barel, 2003).

En el caso de la vaporización de sustratos, según Runia (2000) el tratamiento habitual recomienda mantener una temperatura no menor a los 70 °C durante al menos media hora para el control de enfermedades de plantas y malezas, aunque algunos tratamientos pueden ser aplicados entre 60 °C – 80 °C durante aproximadamente una hora (Carrasco y Riquelme, 2002). A su vez, también se recomienda que la temperatura de aplicación oscile entre los 70 °C y 90 °C por un tiempo de proceso entre 30 a 50 minutos, dependiendo la densidad y grado de humedad del sustrato. A mayor contenido de humedad del sustrato, mayor tiempo se requerirá en el proceso de aplicación de vapor.

La vaporización se debe realizar con el sustrato lo más seco posible. Una forma práctica de establecer el contenido adecuado de humedad, es tomando y apretando con la mano una muestra del sustrato. Si se desprende agua, el sustrato está con un contenido de humedad inadecuado. Por el contrario, si se percibe levemente la humedad en la palma de la mano, significa un buen contenido para vaporizar (Carrasco *et al.*, 2005).

En condiciones de saturación, el agua llena los poros del sustrato impidiendo una adecuada difusión del vapor en su interior (Carrasco *et al.*, 2005). Además, el agua presente favorece la condensación formando “caldos de sustrato” que corresponde a agua en estado líquido proveniente del sustrato y del vapor.

De acuerdo a los resultados de trabajos realizados por Carrasco *et al.* 2006a, se recomienda que una vez vaporizado por el tiempo adecuado se deje enfriar el sustrato en el mismo contenedor para luego sacarlo y ventilarlo, removiéndolo con una pala u horqueta. Además, se recomienda no usar el sustrato vaporizado hasta 12 o 24 horas después de la ventilación debido a que por la descomposición de la materia orgánica se puede producir una acumulación de nitrógeno amoniacal, cuyo exceso puede ser tóxico para las semillas o plantas que se deseen producir.

Para la adquisición de un equipo vaporizador se debe hacer primero un análisis técnico-económico para estimar la conveniencia de incorporar este procedimiento al sistema productivo. Asimismo, se debe considerar el volumen y tipo de sustrato utilizado anualmente, los meses de mayor demanda, la disponibilidad de un lugar físico techado para la ejecución del trabajo y almacenamiento del sustrato, suministro de agua, acceso a electricidad monofásica y combustible (petróleo) (Carrasco *et al.*, 2002).

Si se pretende eliminar malezas, hongos, insectos y nematodos mediante la vaporización las temperaturas son las siguientes:

100 °C - 90 °C: Son eliminadas algunas malezas y virus resistentes al calor.

80 °C - 70 °C: Son eliminadas la mayoría de las semillas de malezas, todas las bacterias fitopatógenas y la mayoría de los virus de las plantas.

70 °C - 50 °C: Son eliminadas la mayoría de las bacterias fitopatógenas, gusanos, babosas, *Armillaria* spp, *Fusarium*, *Botrytis*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia* y nematodos.

#### **4.9.3. Aplicación de vapor al suelo**

En la aplicación de vapor al suelo se debe considerar, que para vaporizar de 10 a 20 cm de profundidad, se necesitan 15 kg de vapor por m<sup>2</sup>, y que un kilo de vapor es producido por un litro de agua (Carrasco *et al.*, 2002). Además, se debe tener información sobre el rendimiento del equipo y la dotación de mano de obra que requiere en su operación para lograr aplicaciones eficientes.

El vapor generado por los equipos (calderas), se distribuye mediante tubos de fierro galvanizado que se entierran en el suelo, los cuales se tapan con una carpa resistente a las altas temperaturas. Con este sistema se puede desinfectar hasta una profundidad de 20 cm de suelo (Carrasco *et al.*, 2002). El equipo de tratamiento corresponde a una caldera móvil, de baja presión, que produce vapor sobrecalentado. Este vapor se canaliza a través de tuberías flexibles de caucho a campanas metálicas equipadas con difusores, bajo lonas o plásticos que se colocan en el suelo, previamente arado y listo para plantar. El vapor entra naturalmente en el suelo por la saturación. El tiempo de inyección está de acuerdo con la temperatura que se desea para la desinfección y, la profundidad de la desinfección que se desea alcanzar.

La temperatura no supera los 90 °C a la profundidad deseada, para preservar un máximo de micro-organismos útiles. La acción del calor liberado por el vapor resulta extremadamente versátil, a diferencia de los productos químicos, que son también muy selectivos. Es un método que no deja residuos tóxicos en el suelo o en los productos cosechados. Un suelo cuando se somete a temperaturas entre 50 °C y 100 °C, se producen en él transformaciones positivas:

- La materia orgánica se transforma más fácilmente debido a una mejor acción

de las bacterias, de modo que los nutrientes se disuelven y el nitrógeno, fósforo y potasio están disponibles para el crecimiento de las plantas en la cantidad adecuada.

- Cualquier actividad bacteriana se destruye a partir de 127 ° C. Sin embargo, la desinfección de vapor de agua no supera los 90 °C, a esta temperatura, sólo ciertos grupos de microorganismos se destruyen.



# Bibliografía

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Ajwa, H.A.S., Fennimore, Z., Kabir, F., Martin, J., Duniway, G., Browne, T., Trout, R., Goohue, S., and Guerrero, L., 2003. Strawberry yield under reduce application rates of cloropicrin and inline in combination with metham sodium and VIF. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 3-6 November. San Diego, California, U.S.A.

Ajwa H A, Klose S, Nelson S D, Minuto A, Gullino M L, Lamberti F, Lopez Aranda J M. 2003. Alternatives to methyl bromide in strawberry production in the United States of America and the mediterranean region. *Phytopathol. Mediterr.* 42, 220-244

Ajwa, H.A., Trout, T. (2004). Drip application of alternative fumigants to Methyl Bromide for strawberry production. *HortScience* 39, 1707-1715.

Angus, J. F., Gardner, P. A., Kirkegaard, J. A., Desmarchelier, J. M., 1994. "Biofumigation: Isothiocyanates released from Brassica roots inhibit growth of the take-all fungus", *Plant and Soil*, 162, 107-112.

Barel, M., 2003. Training Course Manual on Soil Steaming. UNEP, New York.  
[http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/6226-e-CTM\\_Second\\_Edition.pdf](http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/6226-e-CTM_Second_Edition.pdf)

Bausher MG, Kokalis-Burelle N, Roskopf E N., 2007. Evaluation of rootstocks for management of *Meloidogyne incognita* on grafted bell pepper. In: *International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*, October 29 November 1, 2007, San Diego, California, 112,1-3.

Bello, A., Escuer M., Saez J., López-Pérez, A. y Guirao, P. 1997. Biofumigación, nematodos y BRME en el cultivo del pimiento. En: López, A. y J.A. Mora (eds.). Posibilidades de alternativas viables al BRME en pimiento en invernadero. *Conserjería de Medioambiente, Agricultura y Agua, Murcia (España)*. pp. 67-108.

Bello A., J.A. López-Pérez, L. Díaz-Viruliche, J. Tello. 2001. Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. In: R. Labrada (Ed.) *Report on Validated Methyl Bromide Alternatives*. FAO, Rome, 13 pp.

Bello A., Díez-Rojo, M.A, López-Pérez, J.A, González-López, M.R, Robertson, L., Torres, J.M, De Cara, M., Tello, J., Zanón, M.J, Font, I., Jordá, C., Guerrero, M.M, Ros, C., Lacasa, A., 2008. The use of biofumigation in Spain. En: R. Labrada (Edit.) Workshop on non-chemical alternatives to replace methyl bromide as a soil fumigant. FAO, Rome, 79 pp.

Bello, A., López-Pérez, J. A., Díez-Rojo, M. A., López-Cepero, J., García-Álvarez, A. 2008. Principios ecológicos en la gestión de agrosistemas. En: ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura, CLXXXIV 729 enero-febrero, 19-29 ISSN: 0210-1963

Bello, A., López-Pérez, J.A., Díaz- Viruliche, L., Tello, J. 2001. Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. In: Labrada, R. (Ed.). Report on Validated Methyl Bromide Alternatives. FAO, Rome. 13p.

Benavides-Mendoza A, H Ramírez, V Robledo-Torres, J Hernández-Dávila. 2004., El efecto de tres fumigantes de suelo y dos cepas de bacterias sobre la productividad de frutilla (*Fragaria x ananassa*). Revista Internacional Botanica Experimental: 91-102

Besri, M. (2008a). New development with tomato grafting as alternatives to Methyl Bromide in Morocco. Journal of Plant Pathology, 90, 402

Bletsos, F.A., 2006. Grafting and calcium cyanamide as alternatives to methyl bromide for greenhouse eggplant production. *Scientia Horticulturae*, 107, 325-331.

Bradley, H., and Shrestha, A., 2006. Weed control with methyl bromide alternatives. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, N°. 063

Braga, R., R. Labrada, L. Fornasari y Fratini, N., 2002. Capítulo VI: Descripción de las principales alternativas. En: Manual para la capacitación de trabajadores de extensión y agricultores. Alternativas al Bromuro de Metilo para la fumigación de los suelos. FAO-PNUMA. Unidad de energía y ozonización, Roma. pp.46-58.

Braga, R., Labrada, R., Fornasari, R, y Fratini, N., 2003 Manual para la capacitación de trabajadores de extensión y agricultores. Alternativas al Bromuro de Metilo, para la fumigación de suelos. FAO y PNUMA. En: [www.fao.org/docrep/005/Y1806S](http://www.fao.org/docrep/005/Y1806S)

Camacho F., y Fernández E., 2002. El injerto de hortalizas en los semilleros de Almería. C. Disponible en <http://www.terralia.comrevista> 12/pagina22.htm

Camacho, F., 2009. El injerto en hortalizas: técnica ecocompatible generadora de empleo. En: Agropalca, N° 5, p.21. Especial Primer Aniversario. Cuidado con el fuego. Canarias, España. ISSN 1889-4259, pp.38.

Carrasco, J., Pastén, J., Olavarría, J., Rojas, E., 2002. Alternativas físicas. En: Carrasco, J., Altamirano, S., Olavarría, J., Pastén, J.F., y Droguett L, (Ed.). Alternativas al Bromuro de Metilo para la desinfección de suelos en tomate y pimiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. San Fernando, Chile. Boletín INIA N° 88, 68-78 p.

Carrasco, J., Riquelme, J., 2004. Biofumigación de suelos para almácigos y plantación. Serie de cartillas Proyecto "Introducción de alternativas sustentables de reemplazo al Bromuro de Metilo en la producción de tomates en invernaderos de Colín". INIA-Raihuén. 8p.

Carrasco, J., Riquelme, J., y Varas, E., 2006a. Metham Sodio para almácigo y plantación. Capítulo 6. En: Riquelme y Carrasco (Eds.). Alternativas de desinfección de suelos, en la producción de tomates en invernaderos de Colín. Boletín INIA N° 155. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Villa Alegre, Chile. pp. 54-68

Carrasco, J., González, S., Lundsted, J., Fernandez, S., y Silva, R., 2006b. Tecnologías alternativas al Bromuro de Metilo para desinfección de suelos y sustratos. En: González, S. (Ed.) Bromuro de Metilo, un fumigante en retirada. Santiago, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie de Libros INIA N° 20. pp. 121-156

Carrasco, J., Riquelme, J., Torres, A., y González, S. 2006c. Como reemplazar el Bromuro de Metilo. Soluciones Biológicas para desinfectar el suelo. INIA Tierra Adentro. N° 69, julio-agosto. Santiago, Chile. pp. 14-16

Cebolla, V., Bartual, R., Giner, A., Busto, J., Pomares, F., Zaragoza, S., Tuset, J.J., Caballero, P., Mut, M., Cases, B., De Miguel, M.D., Fombuena, P., Maroto, J.V., Miguel, A., Porcuna, J.L., 1999. Chemical and non chemical alternatives to methyl bromide in the area of Valencia. *3<sup>rd</sup> International Workshop Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*. 7-10 December, Creta (Greece), 141-145.

Colombo, M. H., 2002a. Manejo de Enfermedades en Cultivos Protegidos de Tomate. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista Centro Regional Corrientes. Publicación Técnica N° 04 ISSN 1515-9299. <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210013.pdf>.

Colombo, M. H., 2002b. Manejo de Enfermedades en Cultivos Protegidos de Pimiento INTA – Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista Centro Regional Corrientes Publicación Técnica N° 05 ISSN 1515-9299

Cortez-Madrigal, H., 2010. Resistencia a insectos de tomate injertado en parientes ilvestres, con énfasis en *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera:Psyllidae). Bioagro 22 (1): 11-16

Cook R.J., Baker K.F., 1983. The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens. St. Paul American Phytopathology Society, 539 pp.

Chen, G., and Wang, R., 2008. Effects of salinity on growth and concentrations of sodium, potassium, and calcium in grafted cucumber seedlings. Acta Horticulturae, 771, 217-224.

Davis, A.R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., Levi, A., King, S.R., and Zhang, X., 2008. Grafting effects on vegetable quality. HortScience, 43 1670-1672.

Duniway, J.M., 2002. Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation of soil. Phytopathology 92:1337-43.

Franco, M.J.; Scaglia, E; Salto, C; Belavi, A., 2006. Evaluación de alternativas al uso de Bromuro de Metilo en cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo cubierta, presentado en la IX Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral

Garibaldi, A., Minuto, A. and Gullino, M.L., 2005. Verticillium wilt incited by *Verticillium dahliae* in eggplant grafted on *Solanum torvum* in Italy. Plant Disease, 89, 777.

Gelsomino, A., Petrovicová, B., Zaffina, F., and Peruzzi, A., 2010. Chemical and microbial properties in a greenhouse loamy soil after steam disinfection alone or combined with CaO addition. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 1091-100.

Gilreath, J.P., Bielinski, M. S., Motis, T.N., Noling, J.W., Mirussoc, J.M., 2005a. Methyl bromide alternatives for nematode and *Cyperus* control in bell pepper (*Capsicum annuum*). *Crop Protection* 24: 903–908

Gilreath J.P, Motis, T.N., Santos, B.M., Mirusso, J.M., Gilreath, P.R., Noling, J.W., 2005b. Influence of supplementary in-bed chloropicrin application on soilborne pest control in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Crop Protection*; 24:596–9.

González, F.M., Hernández, A., Casanova A., Depestre T., Gómez, L., y Rodríguez, M., 2008. El injerto herbáceo: alternativa para el manejo de plagas del suelo. *Rev. Protección Veg.* Vol. 23, No. 2. La Habana, Cuba. Pp.69–74

Guerrero, M.M., Lacasa, A., Ros, C., Bello, A., Martínez, M. C., Torres, J., y Fernández, P. 2004. Efecto de la biofumigación con solarización sobre los hongos del suelo y la producción: fechas de desinfección y enmiendas. En A. Lacasa, MM. Guerrero, M. Oncina y JA. Mora Eds. *Desinfección de suelos en invernaderos de pimiento*. Publicaciones de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia. Jornadas 16, 209–238.

Hauser, A., 1996. Los depósitos de turba en Chile y sus perspectivas de utilización. *Revista Geológica de Chile*, Diciembre, Vol. 23, No. 2, p. 217–229, 6.

Jarvis, W.R. 1997. *Managing Diseases in Greenhouse Crops*. A.P.S. Press. St. Paul, Minnesota, USA. 228p.

Jiang, W., Liu, W., Yu, H. and Zheng, G., 2000. Development of soilless culture in mainland China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 17, 10–15

Katan, J. y Devay, J. 1991. *Soil Solarization*. CRS Press. Florida, U.S.A. 267 P. Kokalis-Burrelle, N., Rosskopf, E.N., Bausher, M.G., McCollum, G., and Kubota, C., 2008. Alternative fumigants and grafting for tomato and double cropped muskmelon production in Florida. In: International Research Conference on methyl bromide alternatives and emissions reductions, November 11–14, Orlando, Florida. 63–1; 63–2.

Koohakan, P., Ikeda, H., Jeanaksorn, T., Tojo, M., Kusakari, S., Okadac, K., and Sato, S. 2004. Evaluation of the indigenous microorganisms in soilless culture: occurrence–

ce and quantitative characteristics in the different growing systems. *Scientia Horticulturae* 101: 179–88

Kubota, C., McClure, M.A., Kokalis-Burelle, N., Bausher, M.G., and Roskopf, E.N., 2008. Vegetable grafting: History, use, and current technology status in North America HortScience, 43, 1664–1669.

Labrada, R. and Fornasari, L. (eds.). 2001. Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation. FAO, Rome. Plant Production and Protection Paper Nº 166. 98p.

Lee, S.G. 2007. Production of high quality vegetable seedling grafts. Acta Hort. 759:169–174.

Lin, C., Hsu, S.T., Tzeng K.C., and Wang, J.F. (2008). Application of a preliminary screen to select locally adapted resistant rootstock and soil amendment for integrated management of tomato bacterial wilt in Taiwan. Plant Disease, 92, 909–916.

Loannou, N., 2001. Integrating soil solarization with grafting resistant rootstock managemet soil borne pathogen of tomato, eggplant. J. Horticultural Science; 29:391–401.

López, A., J. A. Mora (Eds). 1997. *Posibilidades de Alternativas Viables al Bromuro de Metilo en Pimiento de Invernadero*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, Murcia, 130 pp.

López-Pérez, J.A., Arias, M., Sanz, R., y Escuer M., 2003. Alternativas al Bromuro de Metilo para el control de Meloidogyne incognita en cultivos de pepino. Nematrónica 33:189–196.

Louws, F.J., Ferguson, L. M., Welker, R.M., Ivors, K., Driver, J., Jennings, K., Milks, D., Shoemaker, P.B. and Monks, D.W., 2005. Research on Methyl Bromide Alternatives in Tomato Production Systems in North Carolina.

Louws, F., 2009. Grafting tomato with interspecific rootstocks provides effective management for southern blight and root knot nematodes. Annual International

Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reduction, Nov 10–13, San Diego, CA ,40.

Mazuela, P., Urrestarazu, M., and Bastias E., 2012. Vegetable waste compost used as substrate in soilless culture pp. 179–198. In: Peeyush Sharma (Ed.) Crop Production Technologies. ISBN:978-953-307-787-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/crop-production-technologies/vegetable-wastecompost-used-as-substrate-in-soilless-culture>

MBTOC., 1998. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment of Alternatives to Methyl Bromide*. UNEP, Nairobi, Kenya, 354 pp.

MBTOC. 2007. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment*

MBTOC. 2009. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment*

MBTOC. 2010. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment* Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. [http://ozone.unep.org/Assessment\\_Panels/TEAP/Reports/MBTOC/index.shtml](http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/MBTOC/index.shtml)

Messenger, B., and Braun, A., 2000. Alternatives to Methyl Bromide for the Control of Soil-Borne Diseases and Pests in California. Soil uses. Pest Management Analysis and Planning Program, California, USA. 55pp.

Minuto, G., Gilardi, G., Kejji, S., Gullino, M. L., and Garibaldi, A., 2005. Effect of physical nature of soil and humidity on steam disinfestation. *Acta Horticulturae*, 698, 257–262.

Mitidieri, M., 2007. El uso de portainjertos resistentes en el cultivo del tomate bajo cubierta: resultados sobre la sanidad y el rendimiento del cultivo, Argentina. Consultada: 3 Enero 2013. Disponible en: [http:// www.Infoagro.com](http://www.Infoagro.com)

Morra L., Bilotto M., Castrovilli M., 2007. Integrated approach with grafting and soil disinfection to protect pepper in greenhouse. *Colture Protette* 36, 57–63.



Navarro A., R. (1) y Gaviria G., B.M. (2), 2009. Métodos alternativos a fumigantes del suelo, (1) Unidad de Sanidad Vegetal. Universidad Católica de Oriente, (2) Laboratorio Sanidad Vegetal UCO, sanidadveg.inv2@uco.edu.co (GISAVE Grupo de Sanidad Vegetal) 3 Asesora, Investigadora UCO

Nelson S.D, Locascio SJ, Allen Jr LH, Dickson DW, Mitchell DJ., 2002. Soil flooding and fumigant alternatives to methyl bromide in tomato and eggplant production. *HortScience*; 37:1057-60.

Neshev, G., 2008. Major soil-borne phytopathogens on tomato and cucumber in Bulgaria, and methods for their management. En: Labrada (Ed.) Alternatives to replace methyl bromide for soil-borne pest control in east and central Europe. Manual. FAO/UNEP. Rome, Italy. pp 94

Oda, M., 2007. Vegetable seedling grafting in Japan. *Acta Hort.* 759:175-180. Researchers look at grafting to solve problems in tomatoes. The vegetable growers news. November 2006:20, 22.

Ohr, H.D. *et al.* 1996. Methyl Iodide, an Ozone-Safe Alternative to Methyl Bromide as a Soil Fumigant. *Plant Dis.* 80:731-735.

Oka, Y., Tkachi, N. and Mor, M. 2007. Phosphite inhibits development of the nematodes *Heterodera avenae* and *Meloidogyne marylandi* in cereals. *Phytopathology* 97:396-404.

Ozores-Hampton, M., Zhao, X., y Ortez, M., 2010. Introducción a la Tecnología de Injertos a la Industria de Tomate en la Florida: Beneficios Potenciales y Retos. Departamento de Horticultural Sciences, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IUFAS). <http://edis.ifas.ufl.edu/hs1187>

Palencia, P., 2009. Tesis de Doctorado: Alternativas químicas al Bromuro de Metilo en el cultivo de la frutilla. Universidad de Huelva. España.

Pereyra, S.M.; A. de L. Avila y E. Orecchia. 2008. La biofumigación y el Metham Sodio como alternativas al uso de Bromuro de Metilo. Efecto sobre el control de malezas y las características químicas del suelo.

Paroussi, G., Bletsos, F., Bardas, G.A., Kouvelos, J.A. and Klonari, A., 2007. Control of Fusarium and Verticillium wilt of watermelon by grafting and its effect on fruit yield and quality. *Acta Horticulturae*, 729, 281–285.

Peil, R.M., 2002. Enxertia na produccao de hortalizas, Revisao Bibliografia. Univ. de Pelota; p. 15.

Pesticide Manual, 11th Edition. The British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, United Kingdom, 1997.

Pizano, M., 2006. Eliminación del Bromuro de Metilo bajo el Protocolo de Montreal con referencia especial a la floricultura. (Methyl Bromide Phase-out under the Montreal Protocol with special reference to floriculture). In: International Workshop on Alternatives to Methyl Bromide for strawberries and flowers, August 22 – 23, 2006 Ixtapan de la Sal, Mexico.

Ricárdez, M., Rodríguez, N., Díaz, M., and Camacho, F., 2008. Influence of rootstock, cultivar ad environment on tomato yield under greenhouse. *Acta Horticulturae* 797, 443–448

Riquelme, S., J. y Carrasco, J., J. (ed.). 2006. Alternativas de desinfección de suelo en la producción de tomates en invernaderos de Colín. Villa Alegre, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 155, 106 p.

Runia, W.T., 2000. Steaming methods for soils and substrates. *Acta Horticulturae*, 532, 115–123.

Ros, C., Guerrero, M.M., Bello, A., Barceló, N., Martínez, M.A., Martínez, M.C., Lacasa, A., 2004. Variaciones en la Patogeneicidad de Poblaciones de *Meloidogyne incognita*, en Pimiento. XII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Lloret de Mar

Ros, C., Guerrero, M.M., Martínez, M.A., Barceló, N., Martínez, M.C., Rodríguez, I., Lacasa, A., Guirao, P., and Bello, A., 2005. Resistant sweet pepper rootstocks integrated into the management of soilborne pathogens in greenhouse. *Acta Horticulturae*, 698, 305–310.

Roskopf, E. N., Chellemi, D. O., Kokalis-Burelle, N., and Church, G. T. 2005. Alternatives to methyl bromide: A Florida perspective. Online. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2005-1027-01-RV.

Runia, W.T., 2000. Steaming methods for soils and substrates. *Acta Horticulturae*, 532, 115-123.

Sakata, Y., Ohara, T., and Sugiyama, M., 2007. The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetables in Japan. *Acta Horticulturae*, 73,159-170.

Sorribas FJ, Verdejo Lucas S. Resistance response of the tomato rootstock SC 6301 to *Meloidogyne javanica* in plastic house. *European Journal Plant Pathology*. 2006;158:13-19.

Tello J., 2000. Tomato production in Spain without methyl bromide. *Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries*. UNEP, 161-172.

Tello, J. 2006. *Principios para el manejo integrado de enfermedades de hortalizas*. Consecuencias prácticas. Universidad de Almería, Departamento de Producción.

Tello, J., Palmero D., García A., M. de Cara. 2010. Biodesinfección del suelo para el control de micosis de origen edáfico, corrección de la "fatiga" y efecto sobre las propiedades físico-químicas del suelo. En: Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible. Coord: J.C. Tello y F. Camacho. Fundación Cajamar.

TEAP, 2012. Report of the UNEP Technology and Economic Assessment Panel May. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.

Uematsu, S., Nishi,K, Kita, N., 2003 "Hot water soil sterilization begins in Japan" *Farming Japan*, 37, 35 -41.

Unruh, J., Brecke, B., Dusky, J., and Godbehere, J., 2002. Fumigant Alternatives for Methyl Bromide Prior to Turfgrass Establishment. *Weed Technology*. 2002. Volume 16:379-387

Urrestarazu, M., Martínez, G. A., and Salas M. C., 2005. Almond shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Horticulturae* 103:453-460.

Yang, L., Liu, C., and Zhang, T., 2009. Design and experiment of vegetable grafting machine with double manipulators. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 40, 175-18

Zavaleta, E., Cid del Prado, I., Franco, F., y Sánchez, P., 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematrópica* 32:113-124. URL: [http:// fulltext.fcla.edu/DLData/NM/NM00000007/NM00995444/32\\_2/113\\_124.pdf](http://fulltext.fcla.edu/DLData/NM/NM00000007/NM00995444/32_2/113_124.pdf)

Zhang, W., McGiffen Jr., M.E., Becker, J.O, Ohr, H.D, Sims J.J., Campbell, S.D. Effect of soil physical factors on methyl iodide and methyl bromide. *Pesticide Science* 1998;53:71-9.

Anexos

# ETIQUETAS DE PLAGUICIDAS DESTINADO AL TRATAMIENTO DE SUELO



Proyecto Terminal Eliminación Nacional del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales

















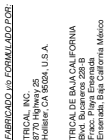


<sup>2</sup>fungicida de suelos en pre-siembra o pre-plantación - líquido (AL) de acción fungicida, para el control no selectivo de hongos del suelo, para ser usado en pre-siembra o pre-plantación.

## Autorización Sanidad Agrícola y Ganadera N° 1.622

Cote Nº \_\_\_\_\_ Fecha de vencimiento \_\_\_\_\_  
Contenido neto \_\_\_\_\_

## CORROSIVO-NO EXPLOSIVO-NO INFLAMMABLE



## IMPORTADO Y DISTRIBUIDO POR:

INDUSTRIAL SUDAMERICA, S.A.  
Ruta 5 sur Km. 103. Los Choapiños.  
Rengo. VI Región. Chile.



**MUY TÓXICO**

[illegible][illegible][illegible][illegible]

**EFFECTS OF AERATION ON THE GROWTH AND SURVIVAL OF LARVAE OF THE MOSQUITO ANTOBIO**

[illegible][illegible]

**ALFA ROMEO: IL PRIMO PASSO VERSO IL FUTURO**

• No contaminazione, emissioni a zero: l'auto che si carica a pila per tre ore e che si ricarica in 15 minuti. Perché Alfa Romeo ha deciso di puntare su un'auto che non emette CO<sub>2</sub> e che non produce rumori. Perché Alfa Romeo ha deciso di puntare su un'auto che non emette CO<sub>2</sub> e che non produce rumori. Perché Alfa Romeo ha deciso di puntare su un'auto che non emette CO<sub>2</sub> e che non produce rumori.

**CONFERENCIAS DE LA ASOCIACIÓN DE LOS PROFESORES**  
 de la Universidad de la Florida, en la que se presentaron los resultados de la investigación y se discutieron las implicaciones de los mismos para la práctica docente. Los profesores de la Universidad de la Florida, en la que se presentaron los resultados de la investigación y se discutieron las implicaciones de los mismos para la práctica docente.

















# Alternativas al Bromuro de Metilo

Proyecto Terminal Eliminación del Bromuro de Metilo

Documento Preparado para  
el Acuerdo de Producción  
Limpia de Viveros Frutales

