

# ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO PARA LA DESINFECCIÓN DE SUELOS

**Fabiola Sepúlveda S.**

*Ing. Agrónomo  
INIA La Platina.*

**Jorge Carrasco J.**

*Ing. Agrónomo, Dr.  
INIA Rayentue.*

**E**l bromuro de metilo es un fumigante, que desde la década de los cuarenta, hasta la firma del Protocolo de Montreal, fue ampliamente empleado para desinfectar suelos y sustratos para el crecimiento de plantas, tanto en campo como en viveros. Sin embargo, por tratarse de una sustancia agotadora de la capa de ozono, se hace necesario su remplazo, como fumigante de suelos y sustratos (González, 2006).

Es evidente que el uso masivo del bromuro de metilo fue debido a su alta eficacia en el control de nemátodos, hongos, bacterias y malezas, aún en condiciones de monocultivo intensivo, sin dejar residuos en el suelo y sin tener que esperar mucho tiempo para efectuar la próxima labor de plantación, trasplante, replante o siembra.

Por los antecedentes mencionados anteriormente, la experiencia mundial indica que el remplazo del bromuro de metilo por otro producto químico, tiene bajas posibilidades de sustentarse en el largo plazo. Ello debido fundamentalmente a la dificultad de encontrar una sustancia que muestre los mismos atributos en el alto potencial biocida, relativamente bajo costo, baja persistencia y fácil aplicación y que, además, no tenga riesgo de ser prohibido por las entidades regulatorias (Carrasco y González, 2003). Sin embargo, es posible identificar una serie de productos que, aplicados a suelo o sustrato, son eficientes en la esterilización de ellos. No obstante, no todos tienen los atributos del bromuro de metilo, diferenciándose en períodos de espera mayores, residualidad en el suelo, riesgo de contaminación en napas o aguas subterráneas y dificultad para su aplicación.

Lo anterior refleja que, a pesar de algunos casos particulares, lo más frecuente será que el remplazo definitivo del bromuro de metilo, como fumigante de suelos y sustratos, se alcance con una aplicación coordinada de una amplia batería de productos y/o estrategias tecnológicas de control de plagas, enfermedades y malezas (González, 2006).

## 4.1. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS QUÍMICAS

En este capítulo, se describen las alternativas químicas al bromuro de metilo, metam-sodio, dazomet, y Agrocelhone, productos autorizados por el Protocolo de Montreal, y efectivos para remplazarlo, como sustancias controladoras de semillas de malezas, insectos y patógenos del suelo. Estos productos fueron evaluados por INIA en la producción de tomate, bajo las condiciones de clima y suelo del Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

### 4.1.1. CONDICIONES DEL SITIO DE APLICACIÓN

La aplicación de los productos señalados requiere de ciertas condiciones, ya sean generales o específicas, de suelo y manejo para lograr el máximo control de hongos, nemátodos, insectos y malezas, según el producto. La temperatura, humedad, textura y preparación de suelos son factores que están íntimamente ligados al comportamiento de los fumigantes de suelo, por lo cual para lograr un óptimo resultado en el control, es necesario saber cuáles son las condiciones más adecuadas de aplicación.

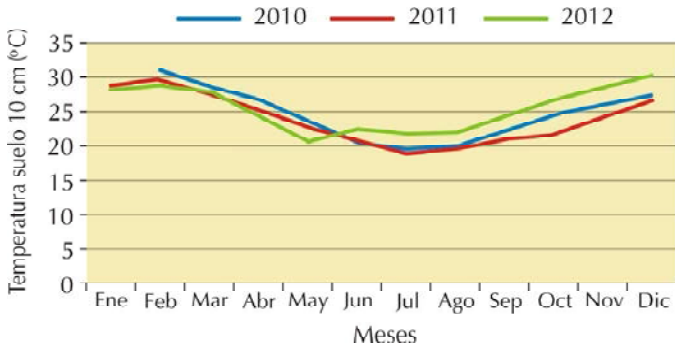
**A. Humedad del suelo:** en toda acción desinfectante, la humedad de suelo juega un papel preponderante. Es así, que al momento de la aplicación, el suelo debe tener una humedad media, equivalente a la humedad considerada óptima para la siembra o plantación. El suelo debe ser humedecido por lo menos una semana antes de la aplicación, para estimular la germinación de semillas de malezas y activar el crecimiento de nemátodos y hongos, y para poder lograr un mejor control. En suelos secos, la gasificación es muy rápida, sobre todo a nivel de la superficie, y no se consigue concentracio-

nes letales de fumigante. En suelos muy húmedos, una gran parte de los poros están saturados de agua, por lo cual el gas difunde con dificultad y de forma desigual a través del perfil del suelo, provocando una fumigación deficiente (Carrasco, 2001).

- B. Temperatura:** la temperatura es determinante para el estado en que se encuentran los organismos a combatir. Las temperaturas superiores a 10°C son óptimas para activar microorganismos, semillas e insectos, garantizando la sensibilidad necesaria frente a los diversos ingredientes activos usados en la desinfección de suelo. Un suelo con temperatura entre 10 y 25°C ofrece las mejores condiciones para un adecuado efecto fumigante. Si la temperatura del suelo es inferior a 10°C, el proceso de acción es más largo y se prolonga el tiempo de espera para el trasplante del cultivo. Cuando la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad es mayor a 25°C, los gases se difunden demasiado rápido y salen a la atmósfera (Carrasco, 2001), haciendo necesario el sellado del suelo con plástico o mulch.

En el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota, la temperatura anual promedio del suelo a 10 cm de profundidad es de 25°C, siendo los meses de noviembre a marzo los de mayor temperatura, donde se alcanza los 31°C en promedio. Sin embargo, entre los meses de mayo a agosto, esta temperatura alcanza entre los 18 y 23°C, lo cual significa que para las labores de desinfección de suelos, los productores deben sellar el suelo con plástico polietileno, con el fin de evitar pérdidas de calor y con ello mantener la temperatura en los primeros 10 cm de suelo, haciendo más eficiente la gasificación de los productos aplicados y, por lo tanto, un control más eficiente de patógenos. En la **Figura 1**, se puede observar la variación de temperatura del suelo a 10 cm de profundidad durante los meses del año, desde el 2010 al 2012, en el Valle de Azapa.

- C. Textura del suelo:** suelos arenosos y/o sueltos (friables) facilitarán la difusión y efectividad del fumigante, mientras que suelos arcillosos o pesados ponen dificultades a la difusión del producto, por presentar un bajo porcentaje de espacio poroso. Este último efecto, también, ocurre con suelos compactados (González, 2006).



**Figura 1.** Temperatura de suelo a 10 cm de profundidad (°C), Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

Fuente: Agroclima.cl (2013)

**D. Preparación del suelo:** Para lograr una buena desinfección, el suelo debe estar bien mullido, en los primeros 30 cm de profundidad, de modo que haya una mayor difusión de los gases desinfectantes y se aumente con ello el contacto entre el ingrediente activo y los organismos a controlar. La presencia de terrones en un suelo mal preparado impedirá en el mismo una penetración y difusión de los gases. Es importante que el terreno se encuentre limpio de restos del cultivo anterior, pues estos son hospederos naturales de plagas y enfermedades, y el producto al gasificarse no penetra por las paredes del material vegetal.

Una vez aplicado el fumigante, la superficie del suelo debe permanecer sellada para maximizar la eficiencia de su efecto. Generalmente, para el sellado se utiliza una cubierta de plástico o mulch, evitando de esta forma las pérdidas por gasificación directa y haciendo mucho más eficaz la aplicación de los productos. El tipo de plástico que se aconseja utilizar es el plástico totalmente impermeable (film totalmente impermeable TIF o virtualmente impermeable VIF), y en caso de utilizar polietileno (PE), el grosor recomendado debe ser de 50  $\mu$ m o más. Sin embargo, también se puede utilizar como sellado una lámina de agua o un sellado mecánico superficial (González, 2006).

Antes de iniciar el cultivo, se debe ventilar el suelo fumigado, para favorecer la disipación de gases residuales del fumigante, que pudieran afectar las plantas a establecer. Para verificar que el terreno está preparado para el trasplante, se recomienda realizar un test de germinación de semillas de lechuga o colocar plantines de lechuga sobre el terreno tratado (**Foto 6**), previo al establecimiento del cultivo. En el caso de pruebas de germinación, las semillas deberán colocarse en un recipiente (balde de plástico o frasco conservero de vidrio) con 200 a 250 g del suelo (obtenido entre 10 a 15 cm de profundidad). Si existiera ausencia de germinación y emergencia de lechugas, no se debe trasplantar, por lo cual se deberá esperar unos días y repetir la prueba hasta conseguir más de un 90% de germinación. Si las semillas germinan, significa que se han dado las condiciones para establecer el cultivo. De esta misma forma, para el caso de utilizar la técnica de plantación de lechuga en un suelo tratado, si el 100% de ellas se establece, significa que el suelo está en condiciones para ser plantado. Por el contrario, si existe caída de plántulas, significa que aun están activas en el suelo las sustancias tóxicas liberadas, lo cual nos indica que se debe esperar unos días más para el establecimiento del cultivo.



**Foto 6.** Prueba de trasplante de lechuga, en un suelo desinfectado con Metam Sodio. INIA Ururi, 2012.

## 4.2. ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO

Los productos que se describen a continuación han sido evaluados en la desinfección de suelo en parcelas destinadas al cultivo del tomate en el Valle de Azapa.

### 4.2.1. Metam-sodio (n-metil-ditiocarbamato de sodio anhidro)

Este producto se emplea mundialmente con bastante éxito para el control de nemátodos, hongos, y malezas, incluidas sus semillas.

El metam-sodio, al diluirse en el agua del suelo, se descompone y da origen al gas metil-isotiocianato (MIT), que es el que actúa sobre los organismos existentes en el suelo o sustrato. Su descomposición, grado de difusión y, en consecuencia, su efectividad de control, como todos los fumigantes, depende de la temperatura, humedad, textura y preparación del terreno (Labrada y Fornasari, 2001).

La efectividad del metam sodio está influida por el pH y el contenido de materia orgánica del suelo. El pH del suelo afecta, de manera considerable, la descomposición del metam-sodio en el sentido que en suelos con pH neutro o ligeramente alcalino, se obtiene más MIT que en los de pH ácido, condición bajo la cual, la eficiencia es menor. Esta condición favorece la aplicación de este producto en los suelos del Valle de Azapa, debido a que se caracterizan por presentar pH ligeramente alcalinos a alcalinos.

En soluciones alcalinas concentradas (2-3%), inyectadas al suelo, el metam-sodio es estable, descomponiéndose en varios días, mientras que en soluciones diluidas (< 1%), se descompone en pocas horas, no siendo aconsejable su aplicación. Por ello, para garantizar la efectividad de la desinfección, es aconsejable realizar un análisis del agua por emplear en laboratorio especializados, para conocer la alcalinidad de la solución y controlar el aporte de agua durante el tratamiento y el sellado (González, 2006).

La materia orgánica y la temperatura del suelo o sustrato son dos factores importantes para una adecuada acción del producto. En suelos ricos en materia orgánica (4% y más), el MIT difunde con dificultad, porque es absorbido por las partículas orgánicas (González, 2006). En general, los suelos del norte de Chile se caracterizan por poseer un bajo porcentaje de materia orgánica (< 1%). Sin embargo, uno de los manejos comunes que realizan los productores de hortalizas de la zona es la incorporación de materia orgánica a través del guano de ave, cordero o compost en la preparación del suelo. En este caso, se recomienda que una vez incorporada la materia orgánica al suelo, se realice un riego y se deje pasar unos días antes de su desinfección.

Respecto de la temperatura, se requiere una temperatura sobre 12°C en el suelo o sustrato, actuando por ocho a 10 días continuos, para que el producto gasifique bien y ejerza el efecto controlador de patógenos, insectos y semillas de malezas que se requiere.



**Foto 7.** Aplicación de Metam Sodio, para una plantación de tomate. Km 21 del Valle de Azapa. INIA Ururi, 2012.

### Recomendaciones generales de aplicación de metam sodio

**Aplicación:** Es recomendado para suelos destinados a cultivos hortícolas, ornamentales, frutales y forestales. No debe aplicarse en cultivos ya establecidos. Si existe algún cultivo o plantación en las proximidades del sitio a fumigar, se debe dejar a lo menos una distancia mínima de tres metros desde la zona a desinfectar hasta cualquier planta a proteger.

Este fumigante puede ser aplicado en cualquier época del año, antes de la plantación o siembra, teniendo en cuenta un suelo mullido, completamente libre de restos del cultivo anterior. No se deben enterrar a no ser que se trituren finamente para evitar posibles fuentes de reinfección, y con una temperatura superficial (a 20 cm) entre 12 y 24°C y una humedad similar a la existente en el suelo cuando se va a realizar el trasplante hortalizas.

**Dosis:** Las dosis de ingrediente activo recomendadas oscilan entre 80 y 120 cc m<sup>-2</sup> (0,08 a 0,12 L m<sup>-2</sup>) de suelo efectivamente cultivado. Con bajos niveles de infestación de hongos, nemátodos o insectos, se puede aplicar dosis bajas a medias (80 a 100 cc m<sup>-2</sup>). Por el contrario, con altos niveles de infestación, se requiere de dosis mayores (120 cc m<sup>-2</sup> o más), que son adecuadas para un efectivo control de malezas.

Es recomendable nunca lavar los equipos utilizados en la aplicación en cursos de agua - sean naturales o artificiales- dado que sus residuos son tóxicos para los peces o para los animales que puedan beber de ellos.

**Sistema de aplicación:** En el caso de tomate en invernadero, se debe aplicar el metam-sodio sobre los camellones 25 a 30 días previos a la plantación. La aplicación puede efectuarse directamente a través del sistema de riego por goteo (utilizando cintas o goteros) o, bien, por una vía mecánica, utilizando para ello un equipo inyector con "venturi" o "dosatrón". Esta forma de aplicación requiere del uso de polietileno para cubrir el área tratada, evitando pérdidas de producto en su proceso de gasificación. Para el sellado en los invernaderos, se puede utilizar polietileno estándar o plásticos menos permeables, que permiten un mejor aprovechamiento del gas biocida (mulch).

**Tiempo de acción:** Para obtener un buen control con este fumigante, el suelo se debe mantener sellado por un período de seis a doce días, dependiendo de la época del año (**Cuadro 5**). Sin embargo, si se dan una o más de las siguientes condiciones:

- Suelos muy compactos o compactados.
- Alto contenido de materia orgánica.



**Cuadro 5.** Tiempo de acción y tiempo de ventilación de la desinfección de suelo con metam-sodio, para tomate y pimiento en invernaderos.

Cultivos	Tiempo (días)		
	de acción	ventilación	total
Primor (otoño)	12-14	12-14	24-28
Tardío (verano)	6-8	8-10	14-18

- Temperatura inferior a los 10°C.
- Humedad excesiva durante el proceso de desinfección.

Debe prolongarse el tiempo de acción por una semana más, con el fin de asegurar un adecuado control.

Los tiempos de ventilación necesarios, previo al establecimiento de cultivos de tomate y pimiento en invernadero se señalan en el Cuadro 5.

#### 4.2.2. Dazomet (3,5-dimetil-1,3,5-tiadiazinan-2-tiona)

Fumigante para el tratamiento del suelo en pre-plantación, utilizado para el control de plagas y enfermedades, es capaz de combatir hongos, nemátodos (formas móviles y formadores de nódulos), insectos y malezas. Además, presentó eficacia frente a diversas bacterias en plantas hortícolas, ornamentales, tubérculos, bulbos, solanáceas y replantes de frutales. El producto puede aplicarse tanto en invernadero como en campo abierto, incorporándolo al terreno en la fase previa al cultivo, mostrando una alta eficacia si se respetan los plazos de espera entre desinfección, aireación y plantación.

El Dazomet en contacto con la humedad del suelo, libera gases (Metil-iso-tiocianato MITC), que se difunde en las cavidades del mismo inactivando hongos, nemátodos, insectos, bacterias y malas hierbas (inhibición enzimática por bloqueo de grupos SH). El espectro de acción del producto es muy amplio; pero, sin embargo, respeta la mayoría de los microorganismos útiles del suelo. La actividad del Dazomet

depende, como en otros ingredientes activos, en primer lugar de la concentración así como de su tiempo de acción sobre el organismo patógeno, influyendo el estado en que se encuentra el organismo a combatir. Estos tres factores, a su vez, dependerán de la humedad y temperatura del suelo, así como de su tipo y estructura.

### Recomendaciones generales de aplicación

**Aplicación:** Es fundamental la preparación del suelo. Este debe trabajarse correctamente antes de la aplicación (desterronar, eliminar restos vegetales), en otro caso las sustancias gaseosas podrían evaporarse fácilmente entre los agregados de suelo causando problemas de eficacia. Se debe regar desde cinco a siete días antes de la aplicación. Previamente a su empleo, se debe comprobar que la humedad del suelo sea la adecuada (70%). Este se considera apropiado si el suelo al apretarlo mantiene su forma en la palma de la mano.

**Dosis:** En general, para profundidades de labor de 20-25 cm se recomienda una dosis entre 40 y 60 g m<sup>-2</sup> de producto comercial. En los casos en que se requiera desinfectar a mayor profundidad, se añadirá de 15 a 20 g m<sup>-2</sup> del producto comercial por cada 10 cm de aumento. Para el caso concreto de control de nemátodos formadores de agallas, como *Meloidogyne* sp. principal problema presente en el Valle de Azapa, la dosis recomendada es de 60 g m<sup>-2</sup> (Certis, 2012).

**Sistema de aplicación:** 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 (**Foto 8**). En caso de una aplicación manual del producto, se logrará una distribución más homogénea dividiendo la superficie en sectores más pequeños por medio de cuerdas, calculando y pesando la cantidad de producto por cada división y distribuyendo con un recipiente con pequeñas perforaciones en su base (Certis, 2012).

**Sellado:** para mantener la temperatura sobre 10°C y evitar el escape de gas, el suelo se debe sellar con film plástico, o en caso de superficies grandes, pasando un rodillo compactador superficial (rodón) o



**Foto 8.** Aplicación e incorporación de Dazomet (Basamid), para la desinfección del suelo en producción de tomate en el Valle de Azapa. INIA Ururi, 2012.

apisonador, o también por medio de un riego superficial para formar una ligera capa de sellamiento (Certis, 2012) .

**Tiempo de acción y aireación:** el tiempo de acción es de aproximadamente 10 a 16 días de acuerdo a la época de aplicación (Certis, 2012). Para la aireación primero se retira el plástico, luego se recomienda remover la tierra, procurando no profundizar a más de 20 cm, de tal manera que no se mezcle suelo fumigado con capas inferiores sin desinfectar (Certis, 2012). Esto permite la disposición de los gases con mayor rapidez, y acortar el tiempo de aireación a siete días. Es posible utilizar el mismo implemento usado para la incorporación del suelo (rotovator), verificando previamente que se encuentre muy limpio y desinfectado. Finalmente, se recomienda 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.

### 4.2.3. Agrocelhone

Producto emulsionado, fumigante de suelos, en forma de líquido inyectable, con acción nematicida y fungicida. Su composición es una mezcla de 1,3-dicloropropeno 79% p/v (59,6% p/p) y cloropicrina 46% p/v (34,6% p/p).

Posee una densidad relativa de 1,33 kg L<sup>-1</sup> y un límite de inflamabilidad, a los 68°C. Sus aplicaciones se encuentran autorizadas para frutilla, tomate, pimiento, vid y frutales.

Posee acción contra nemátodos y hongos del suelo, que atacan la raíz y el cuello de las plantas.

#### Recomendaciones generales de aplicación

**Preparación de suelo:** el suelo debe estar limpio del cultivo anterior, bien mullido y libre de terrones. Para ello, se debe trabajar con rastra de discos y arado cincel, a una profundidad mínima de 30 a 40 cm. Para aumentar la penetración del producto, también se recomienda una labor con rotovalor, con el objetivo de micro nivelar el terreno y facilitar su distribución, de modo que este se encuentre relativamente húmedo (estado friable) y con temperatura sobre 12°C, con la finalidad de aumentar la efectividad sobre los patógenos (González, 2006).

**Modo de empleo:** Se aplica en presiembra o preplantación del cultivo, sobre suelo desnudo, a unos 25-30 cm de profundidad mediante técnicas de inyección mecánica, a todo el terreno o localizado sobre el camellón de plantación. Las máquinas inyectan el producto en el suelo, y lo van sellando en forma simultánea con una lámina de polietileno, que se mantiene al menos 10 días en el caso de aplicación a todo terreno (González, S, 2006).

**Dosis:** Las dosis empleadas en el cultivo del tomate y pimiento son de 300-400 L ha<sup>-1</sup>. En suelos de textura arcillosa, se puede reducir esta hasta un 20%. En tratamientos localizados en la hilera de plantación, la dosis por hectárea variará según el marco de plantación.

**Sellado de la superficie del suelo:** Se debe sellar la superficie con plástico, en tratamientos localizados, donde el sellado del suelo se ha realizado con plástico polietileno. Este puede permanecer durante todo el cultivo, considerando que a los 14 días de realizada la aplicación del producto es recomendable perforar el plástico en los puntos donde posteriormente se establecerán las plantas del cultivo programado, por lo cual los agujeros hechos deben coincidir con la ubicación posterior de las plantas.

**Tiempo de seguridad:** Antes de plantar, debe dejarse transcurrir, al menos 25 a 28 días, desde la aplicación del fumigante (González, 2006).

### 4.3 CONCLUSIONES

En función de lo señalado, existen productos químicos que pueden ser tan eficientes como el bromuro de metilo, para controlar organismos patógenos en el suelo. Las alternativas al bromuro de metilo se han visto enriquecidas en los últimos años, con la incorporación de nuevos productos al mercado nacional. Sin embargo, en este capítulo se han detallado las principales alternativas que se encuentran disponibles en la Región de Arica y Parinacota y que han sido evaluados por INIA.

Para cada alternativa química al bromuro de metilo, es fundamental la preparación del suelo para tener éxito en la desinfección del mismo, considerando la humedad, temperatura, tipo y estructura de este.

Por otra parte, una vez terminado el efecto de la fumigación, el suelo comienza de inmediato a ser reinfestado por los organismos que han sido controlados, los cuales nuevamente aparecen, sea de las áreas inferiores o aledañas a las tratadas, o a través del riego o de los implementos de cultivo. Por esto es importante tomar todas las medidas que aseguren un buen tratamiento, con el fin de obtener los resultados esperados y evitar, por el mayor tiempo posible la reinfestación con organismos patógenos resultantes de un tratamiento deficiente o de contaminación desde las fuentes externas señaladas. De esta forma, la efectividad de las alternativas puede potenciarse si el control de pla-

gas y enfermedades, que se transmiten a través de los suelos, se concibe dentro del sistema de manejo integrado, permitiendo la combinación coordinada de distintos métodos, productos y tecnologías, junto con estrategias de monitoreo, alerta temprana, y todo ello expresado a través de códigos de buenas prácticas agrícolas.

#### 4.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrasco, J. 2001. Alternativas al Bromuro de metilo para la desinfección de suelos en tomate y pimiento. Boletín INIA N°88. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. San Fernando, Chile. 131 p.

González, S. (ed.) 2006. Bromuro de Metilo: un Fumigante en Retirada. Colección de libros INIA N°20. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Platina, Santiago, Chile. 173 p.

Certis. 2012. Dossier Técnico de Referencia BASAMID Fumigante Soil Leadership. Alicante, España.

Labrada, R. and L. Fornasari. (eds.).2001. Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation. Plant Production and Protection Paper N°166. FAO, Rome. 98 p.