



GOBIERNO DE CHILE
INIA



BANCO MUNDIAL

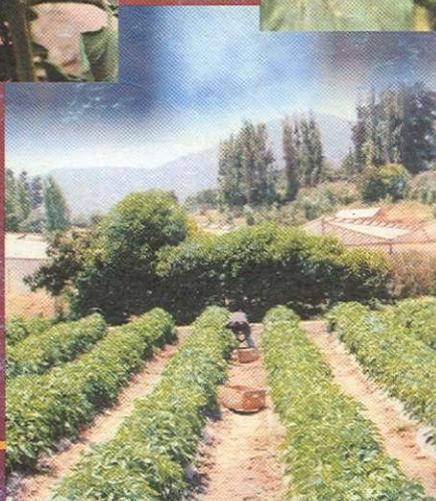
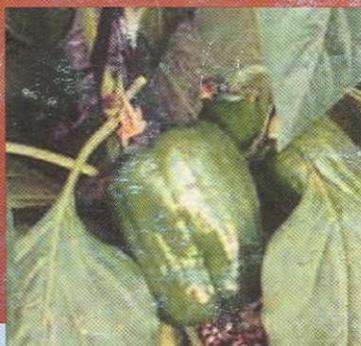
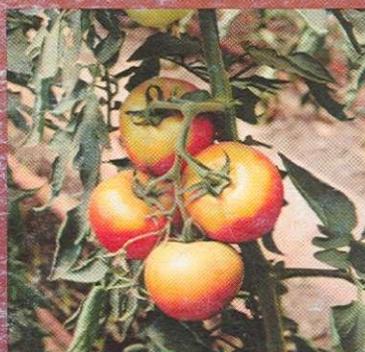


GOBIERNO DE CHILE
CONAMA

BOLETÍN INIA N° 88

ISSN 0717 - 4829

ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO PARA LA DESINFECCIÓN DE SUELOS EN TOMATE Y PIMIENTO



Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Rayentue
San Fernando, Chile, 2002.

EDITORES:
JORGE CARRASCO J.
SILVIA ALTAMIRANO S.
LILIANNETTE DROGUET I.
JOSÉ OLAVARRÍA M.
FELIPE PASTÉN D.



GOBIERNO DE CHILE
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS



BANCO MUNDIAL



GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

BOLETÍN INIA N° 88

ISSN 0717 - 4829

ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO PARA LA DESINFECCIÓN DE SUELOS EN TOMATE Y PIMIENTO

EDITORES:

JORGE CARRASCO J.

Ing. Agr. Dr.

SILVIA ALTAMIRANO S.

Ing. Agr.

LILIANNETTE DROGUETT I.

Ing. Agr.

JOSÉ OLAVARRÍA M.

Ing. Agr.

FELIPE PASTEN D.

Ing. Agr.

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Rayentue
San Fernando, Chile, 2002.

Editores:

Jorge Carrasco J.
Ingeniero Agrónomo Dr.
Silvia Altamirano S.
Ingeniero Agrónomo
Liliannette Droguett I.
Ingeniero Agrónomo
José Olavarría M.
Ingeniero Agrónomo
Felipe Pastén D.
Ingeniero Agrónomo

Director Regional INIA
Marcelo Zolezzi V.

Boletín INIA N° 88

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación Rayentue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial, citando la fuente y editores.

Cita bibliográfica correcta:

Carrasco J. et. al, 2001. 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. 128 p.

Diseño y diagramación
Jorge Berríos V.

Impresión
Impresos CGS Ltda.

Cantidad de ejemplares: 1.000

San Fernando, 2001.

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	9
INTRODUCCIÓN	13
Superficie y producción	13
El bromuro de metilo	15
Efecto en el ambiente	16
Intoxicación por bromuro de metilo	17
Consumo de bromuro de metilo en Chile	18
La capa de ozono	19
Adelgazamiento de la capa de ozono, una amenaza	20
El agujero en la capa de ozono	21
protocolo de Montreal	23
Chile en la protección de la capa de ozono	24
PATÓGENOS DEL SUELO QUE AFECTAN	
A TOMATE Y PIMIENTO EN CHILE	27
Enfermedades causadas por hongos	29
Problemas nematológicos	41
TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS	
AL BROMURO DE METILO	55
Alternativas químicas	57
Metam sodio	59
Disulfuro de carbono	63

Dazomet.....	65
Alternativas físicas	69
Vaporización de suelo	69
Vaporización de sustratos	72
Solarización	75
Alternativas orgánicas	79
Biofumigación con residuos agrícolas	79
<i>Allil isocianato–capcín, capsinoídes</i>	82
RESULTADOS TÉCNICOS	87
Nivel de control de hongos del suelo	89
Ensayos de producción de tomate y pimiento bajo diferentes tratamientos de desinfección de suelos	98
Pimiento en invernadero.....	98
Almácigo de tomate	100
Tomate en invernadero	103
RESULTADOS ECONÓMICOS	111
Metodología de evaluación	113
Análisis comparativo	113
Costos críticos en la desinfección de suelos en invernadero	116
CONCLUSIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

INTRODUCCIÓN

Jorge Carrasco J.

Ingeniero Agrónomo Dr.

José Olavarría M.

Ingeniero Agrónomo

INIA-Rayentué

Entre 1997 y el 2000, la superficie dedicada al cultivo de tomate y pimiento en Chile, ha aumentado desde 18.879 a 20.229 hectáreas en tomate, mientras que en pimiento ha disminuido de 3.572 a 3.176 hectáreas (ODEPA, 2000), alcanzando una producción de alrededor de 1 millón 280 mil y 61 mil toneladas anuales, respectivamente. La producción chilena de tomate y pimiento abastece casi todo el año el mercado nacional. Además, se ha explorado los mercados de Argentina y Estados Unidos, transformándose en una actividad productiva altamente tecnificada e intensiva en el uso del suelo.

Superficie y producción

En el Cuadro 1 se detalla la superficie estimada por regiones y tipo de cultivo. En ella se observa que la mayor superficie de tomate bajo invernadero se encuentra en la V Región, con un 74% de la superficie nacional bajo esa modalidad de cultivo. En tomate al aire libre para consumo fresco se destacan la Región Metropolitana (25%), y la VI (21%). La superficie de tomate para uso industrial se concentra mayoritariamente en la VI (32%) y VII Región (61%). En tanto que el 38% de la superficie de pimiento al aire libre se ubica en la IV Región y el 29% en la VII Región.

Las áreas productoras de tomate y pimiento presentan una amplia distribución de tipos de productores y tamaño de unidades de explotación, que van desde pequeños productores, con menos de 0,5 ha de cultivo, hasta grandes empresas, con más de 12 ha bajo invernadero, en la zona de Quillota. En el Cuadro 2 se presenta una estimación de la distribución del número productores de acuerdo al tamaño de sus explotaciones.

Cuadro 1. Superficie estimada para la producción de tomate y pimiento en Chile (1999/2000). Superficie estimada por Región y tipo de cultivo.

Tipo de cultivo	Superficie por Región (hectáreas)								Total
	I	III	IV	V	MR	VI	VII	VIII	
Pimiento									
Al aire libre	141	105	1.185	232	325	202	905	6	3.101
En Invernadero	0	5	15	18	20	5	12	0	75
Total	141	110	1.200	250	345	207	917	6	3.176
Tomate									
En invernadero	0	64	120	1.050	50	25	90	15	1.414
Al aire libre (fresco)	450	350	700	420	1.450	1.249	900	300	5.819
Aire libre (industrial)	0	0	20	445	350	4.161	8.000	20	12.996
Total	450	414	840	1.915	1.850	5.435	8.990	335	20.229

Fuente: INIA-ODEPA.

Cuadro 2. Estimación de la distribución de número de productores según tamaño de explotación

Superficie plantada por productor	Número de productores
Sobre 8 ha	650
Entre 3 y 8 ha	3.000
Menos de 3 ha	Más de 6.000
Total	Más de 9.650

Fuente: INDAP, INIA.

En el Cuadro 3, se entrega una estimación de la producción de tomate y pimiento por regiones y modalidad de cultivo, en la temporada 1999/2000, incluyendo las principales regiones del país.

Por sus características de producción e impacto económico, el sector hortícola chileno productor de tomates y pimiento, como en la mayoría de los países desarrollados, ha estado fuertemente vincula-

Cuadro 3. Estimación de la producción de tomate y pimiento en las Regiones productoras. Temporada 1999/2000

Cultivo	Producción por Región (toneladas)							Total
	I	IV	V	RM	VI	VII	VIII	
Pimiento	2.820	24.000	5.000	6.900	4.140	18.340	120	61.320
Tomate								
En invernadero		11.550	83.160	5.005	2.200	7.315	1.232	110.462
Al aire libre (fresco)	18.400	30.000	16.400	58.000	51.160	36.840	13.200	224.000
Al aire libre (Industrial)	0	1.875	32.250	21.000	343.050	659.625	2.250	1.060.050

Fuente: ODEPA.

do al uso del fumigante bromuro de metilo (unas 470 ton durante el 2001), para desinfectar los suelos que se usan intensivamente con estos cultivos.

El bromuro de metilo es un gran devastador de la capa de ozono, cuyo deterioro es una de las mayores preocupaciones de la humanidad, ya que el ozono es uno de los principales responsables de la vida en el planeta, y en consecuencia su destrucción sería letal.

El bromuro de metilo

El bromuro de metilo (BrMe) es un fumigante, que se utiliza ampliamente desde 1940 como desinfectante de suelos (70 a 75% del consumo total mundial). Es un líquido transparente, envasado en cilindros a presión de 100 kilos, con distintas formulaciones, solo o en mezcla con cloropicrina, y en bombonas de 680 gramos.

Esta sustancia posee suficiente fitotoxicidad para ejercer un control, en preplantación, de numerosos patógenos (hongos, nematodos), malezas y sus semillas. Se utiliza mayoritariamente en la producción de hortalizas en todo el mundo, para desinfección de suelos y substratos (almácigos y tratamientos de preplantación y replante), y

una moderada cantidad es usada para desinfectar productos no perecederos (granos, nueces y fruta seca) y productos frescos (frutas y hortalizas frescas, flores). En menor escala se ha utilizado en la desinfección de muebles y madera, edificios, bodegas de barcos y de aviones.

Históricamente América del Norte ha representado el mercado más importante, con el 41% de las ventas, seguido por Europa, con el 26%, Asia (incluyendo Israel y Oriente Medio) con el 23 %, y finalmente África, Sudamérica y Australia con el 9 %. Sin embargo, desde comienzos del siglo 21 se ha producido una disminución en el consumo mundial, destacándose los países de la Unión Europea, como España donde, en la última década del siglo 20, se redujo, en promedio, en un 50%.

Efecto en el ambiente: este producto, cuando se usa como fumigante de suelo, se libera entre un 50 y un 95% del gas a la atmósfera, lo cual afecta y reduce la capa de ozono. La capa de ozono ubicada en la estratosfera, al estar sometida a la radiación de alta energía del sol, rompe el enlace entre el bromo y el grupo metilo, dejando un átomo de bromo libre. Este átomo que se encuentra en un estado muy energético, reacciona con el ozono molecular (O_3), destruyéndolo y liberando una molécula de oxígeno (O_2) y un oxígeno libre. El proceso se repite una y otra vez en distintas moléculas de ozono.

En la estratosfera el átomo de bromo reacciona, además, con otras moléculas estables que contienen cloro, denominados clorofluorocarbonos (CFC), que son aportadas a la atmósfera por los refrigerantes. El cloro liberado también contribuye a la destrucción de moléculas de ozono. Debido a esta reacción en cadena, el bromo procedente del BrMe es 50 veces más destructor de la capa de ozono, que los átomos de cloro procedentes de los CFC.

Sumado al daño producido a la capa de ozono, la principal desventaja del BrMe radica en su alta toxicidad, por lo que es peligroso para los operarios que lo aplican, reduce la biodiversidad biológica del suelo, contamina el aire en zonas próximas a las aplicaciones,

contamina el agua en zonas con niveles freáticos altos, y puede originar problemas en algunos cultivos, por los residuos que permanecen en el suelo después de las aplicaciones.

Intoxicación por bromuro de metilo: la exposición del organismo humano a altas concentraciones de BrMe puede provocar distintos efectos y consecuencias en el sistema nervioso central, sistema respiratorio, ojos y piel.

Los síntomas más comunes de una intoxicación aguda son: debilidad, decaimiento, dolor de cabeza, perturbaciones visuales, náuseas y vómitos. Es común que estos síntomas aparezcan junto con irritación de las membranas de los ojos, vías aéreas y de la piel. Luego surgen síntomas en el sistema nervioso central, produciendo entumecimiento, descoordinación muscular, temblor, espasmos musculares, falta de equilibrio, agitación extrema, convulsiones y coma.

Dependiendo de la dosis puede causar incapacidad permanente, grave, o incluso la muerte por deficiencia respiratoria. En mujeres embarazadas puede producir malformaciones fetales. La exposición crónica al bromuro puede dañar las neuronas que regulan el proceso cognoscitivo, la coordinación física y el control muscular. Las personas expuestas a este producto han desarrollado problemas respiratorios, gastrointestinales y neurológicos, incluyendo inflamación de nervios y órganos, y degeneración ocular.

La exposición a BrMe cuando se hacen las fumigaciones, ha tenido una incidencia significativamente alta de irritación de ojos y garganta, afecciones de piel, dolor de pecho, náuseas, fatiga, vértigo y debilitamiento de las extremidades y en casos extremos, de exposición a concentraciones altas, ha provocado la muerte. La Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA) clasifica este producto como de categoría toxicológica I (la más alta) y su aplicación está permitida sólo a personas o entidades certificadas.

En Chile existen empresas especializadas que dan un servicio profesional en las aplicaciones de bromuro de metilo. Sin embargo, un

porcentaje importante de las aplicaciones la realizan los propios productores y operarios de campo, quienes normalmente no cuentan con las protecciones adecuadas para evitar intoxicaciones.

Consumo de bromuro de metilo en Chile: es el sexto país más consumidor de bromuro de metilo en América Latina. En 1996 importó 393,6 toneladas, cerca de 100 más que en 1995. En el 2000 llegó a un nivel significativamente mayor, al registrarse un consumo de 474 toneladas. Se estima que cerca de 1.400 hectáreas son fumigadas con BrMe a un costo de 2.000 a 2.500 dólares por hectárea.

En nuestro país se utiliza principalmente como tratamiento de desinfección de suelos en diferentes cultivos y sistemas productivos, tanto en tratamientos directos al suelo como para sustratos utilizados en viveros. Del volumen usado en agricultura, cerca de un 80% se emplea para esterilizar suelos en cultivos de tomate, pimiento, tabaco, flores y viveros de plantas frutales y forestales. El 20% restante se usa para desinfectar suelos en replante de frutales, tratamiento de sustratos para producción de plantas en bolsas, y en tratamientos cuarentenarios de frutas y hortalizas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Usos del bromuro de metilo en Chile durante el año 2000.

Usos	Cantidad (ton)	Porcentaje
1. Tratamiento de suelos	344	79,3
- Invernaderos (tomate y pimiento)	154	35,5
- Almacigos (tomate industrial)	56	12,9
- Tabaco	7	1,6
- Replante (viñas y árboles frutales)	98	22,6
- Viveros (árboles frutales, forestales y ornamentales)	29	6,7
2. Tratamientos cuarentenarios y otros	90	20,7
- Consumo anual promedio en agricultura	434	100
3. Otros (madera, muebles)	40	
Total importado	474	

En las regiones V, Metropolitana y VI, se utilizan grandes cantidades de bromuro de metilo para esterilizar el suelo que se cultiva con tomate y pimiento. Sólo en la V Región, hay aproximadamente 744 ha de tomate y 275 de pimiento bajo invernadero, todas fumigadas con este producto. En la VI Región, en las provincias de Cachapoal y Colchagua se encuentran las principales agroindustrias chilenas para producción de pasta de tomate, donde el consumo de bromuro de metilo es significativo.

La Capa de Ozono

El noventa y nueve por ciento del aire que respiramos es nitrógeno (78,03% en volumen) y oxígeno (20,99% en volumen), relación que no ha cambiado durante millones de años. Los otros componentes, tales como vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y gases inertes (argón, helio o neón) constituyen menos del 1% de las moléculas de aire, y de cada diez millones de moléculas de aire, sólo tres, en promedio, son de ozono.

Si todo el ozono de la atmósfera fuese transferido a la superficie de la tierra, podría presumirse un espesor de 3 mm. Aunque proporcionalmente menores, las moléculas de ozono juegan un papel muy importante en la vida de nuestro planeta, debido a que absorben la radiación solar ultravioleta nociva, protegiendo a los seres humanos y a todos los animales y plantas.

La capa de ozono se forma en la capa superior de la estratosfera (ubicada entre los 20 y 50 km de altura), contiene el 90 por ciento de todas las moléculas de este elemento que se encuentran en la atmósfera, y que se originan por la acción de la radiación solar sobre las moléculas de oxígeno, mediante un proceso llamado fotólisis (Figura 1). El ozono se destruye naturalmente por una serie de ciclos catalíticos que involucran oxígeno, nitrógeno, cloro, bromo e hidrógeno, y además por otros elementos producto de la acción humana.

Radiación UV rompe las moléculas de Oxígeno

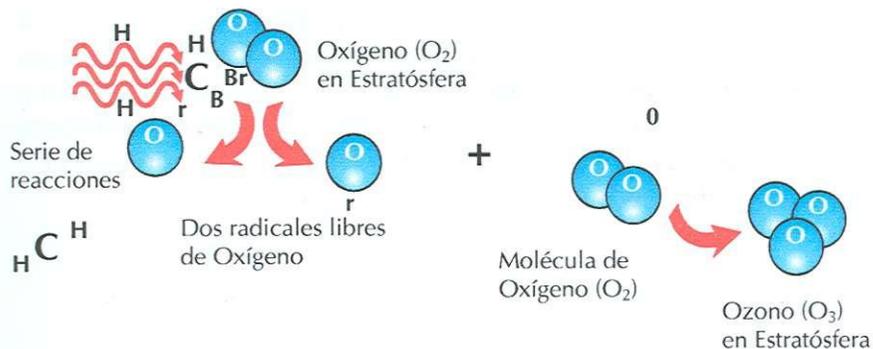


Figura 1. Formación de ozono en la estratósfera.

Adelgazamiento de la capa de ozono, una amenaza: la primera voz de alerta del daño a la capa de ozono se originó en 1974, cuando dos científicos norteamericanos manifestaron que los clorofluorocarbonados (CFC), usados en refrigeración, aire acondicionado y fabricación de espumas plásticas, eran responsables de la rápida destrucción de ozono. Años de evidencias han demostrado la efectividad en la destrucción de moléculas de ozono, que poseen los átomos de cloro y bromo contenidos en los CFC, halones, bromuro de metilo y otras sustancias. Estas moléculas al llegar a la estratósfera, por efecto de la irradiación ultra violeta, se descomponen rápidamente, liberando átomos de cloro o bromo, los cuales comienzan una cadena de reacciones fotoquímicas que terminan destruyendo el ozono estratosférico (Figura 2). Se estima que un átomo de cloro puede destruir 100 mil moléculas de ozono antes de ser neutralizado, y si se considera que el bromo tiene un efecto 50 veces mayor, se obtienen cifras realmente alarmantes.

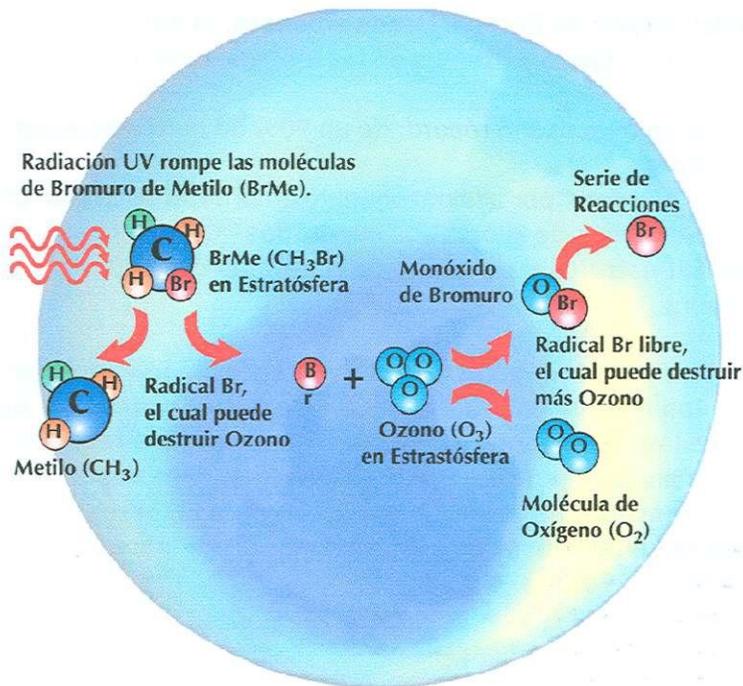


Figura 2. Efecto del bromuro de metilo sobre el ozono en la estratósfera

El agujero en la capa de ozono: la disminución de la capa de ozono es un problema global. La pérdida de ozono es especialmente importante sobre el congelado continente antártico (en una proporción muy superior a la del ártico), el cual durante el invierno presenta un intercambio de aire muy bajo con las latitudes medias a nivel de la estratosfera. Esto da lugar a temperaturas muy bajas (menores a -80°C) que favorecen la generación de nubes estratosféricas polares de partículas de hielo. En estas condiciones, se depositan en la estratosfera grandes cantidades de cloro y bromo que, cuando regresa la luz del sol en primavera, pueden romper las moléculas de ozono con una eficiencia asombrosa.

En octubre de 1987, las concentraciones de ozono sobre la Antártica cayeron a la mitad de su nivel normal y el agujero se extendió sobre

un área del tamaño de Europa. Desde entonces, la disminución se ha acelerado, alcanzando extremos en los últimos años, tales como:

- Un valor bajo de ozono récord, de un 70% de deficiencia durante varios días.
- El mayor “agujero” por adelgazamiento en la capa de ozono, próximo a 24 millones de kilómetros cuadrados.
- Un déficit estacional de ozono total de más del 40% durante la primavera.

En el ámbito global, el ozono disminuyó, aproximadamente, en un 2% entre las décadas de los 70 y 80, y en la época de los 90 se estima que las reducciones fueron aún mayores. Si la reducción sigue aumentando, el problema para el planeta que se puede generar es de un potencial muy grande, en particular para los seres humanos, los cuales se verían afectados por problemas de cataratas a los ojos y cáncer a la piel (Foto 1).



Foto 1.

Protocolo de Montreal: en 1992 el protocolo de Montreal, en su reunión de Copenhague, creó un Comité de Expertos, el MBTOC (Methyl Bromide Technical Options Committee), con el fin de encontrar tecnologías de reemplazo al uso de bromuro de metilo en el mundo. Este comité definió como alternativas a aquellos tratamientos químicos y no químicos y a los procedimientos técnicamente factibles para controlar plagas y enfermedades, las cuales fueron publicadas en 1994. Los procedimientos no químicos descritos en ese informe, se refieren al uso del vapor de agua, materia orgánica (biofumigación), solarización de suelos, sustratos inertes, época de plantación, cubiertas con plástico, prácticas culturales, mejoramiento vegetal e injertos, rotaciones de cultivo, control biológico, barbechos, tratamientos con agua caliente, cubiertas vegetales, bajas temperaturas, fertilización y nutrición vegetal, e irradiación.

El Protocolo de Montreal pretende controlar la producción y el comercio de sustancias reductoras del ozono a nivel mundial, por lo cual el 17 de septiembre de 1997, en la reunión de las partes que lo componen, se estableció un calendario para la eliminación progresiva del bromuro de metilo, que llevaría a su supresión total en el 2005, en los países desarrollados y en el 2015, en los países en vías de desarrollo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Eliminación del bromuro de metilo según el Protocolo de Montreal. 1997

Fecha	Países desarrollados	Países en desarrollo
1999	Reducción 25%	
2001	Reducción 50%	
2002		Congelación a nivel promedio. Años 1995-1998.
2003	Reducción 70%	Revisión del calendario
2005	Eliminación	Reducción del 20%
2015		Eliminación

Los países en vía de desarrollo, como el nuestro, deben reducir su uso en forma gradual, con el congelamiento del nivel de consumo a partir de enero del 2002. Es decir el consumo máximo no debe exceder el promedio de consumo de los años 1995 a 1998, cifra que en nuestro país corresponde a 370 toneladas anuales (techo de consumo). Además, se debe establecer un plan de reducciones, de modo que a partir de enero del 2005 se reduzca en un 20% (Cuadro 5).

Chile en la protección de la capa de ozono: la magnitud del daño a la capa de ozono, ha puesto el mundo en campaña, y los países han firmado protocolos internacionales para disminuir el consumo de sustancias dañinas que la afectan. Chile, además de las restricciones establecidas internacionalmente, en las que ha contraído compromisos de ejecutar proyectos financiados por el Secretariado del Protocolo de Montreal, ha creado un calendario de reducciones, para alcanzar el objetivo de eliminar el uso del bromuro de metilo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Calendario de consumo máximo de bromuro de metilo en Chile según compromisos de CONAMA. (Proyecto INIA-CONAMA e implementado por el PNUD)

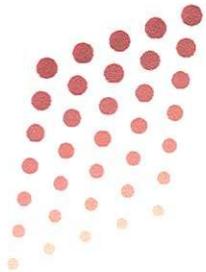
<u>Año</u>	<u>BrMe(Ton)</u>	<u>ODP (Ton)</u>
2001 - 2002	330	198,0
2002 - 2003	283	170,0
2005 - 2006	203	121,8

ODP: potencial agotador de la capa de ozono

La aplicación de estos acuerdos ha sido responsabilidad de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), institución que a través de la Unidad Ozono ha desarrollado una serie de actividades orientadas a disminuir el consumo de las sustancias dañinas, entre las que se incluyen campañas de movilización de la opinión pública, la creación de un sello ozono, subsidios para que las empresas reconviertan su tecnología a otras que no dañen la capa de ozono, y cursos de capacitación.

En este contexto, en diciembre de 1999, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), a través de los Centros Regionales de Investigación Rayentué y La Platina, con la supervisión y apoyo de la CONAMA, inició el "Proyecto demostrativo de alternativas al uso de bromuro en tomate y pimiento", financiado por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, a través del Banco Mundial. Este proyecto tuvo por objetivo validar y demostrar la factibilidad técnica y económica de alternativas de reemplazo al uso de este fumigante en almacigueras y en bandejas, cultivos en invernadero y al aire libre de las especies señaladas.

En las siguientes secciones se describen: las enfermedades producidas por hongos y los problemas nematológicos más importantes de tomate y pimiento. Luego las tecnologías químicas físicas y orgánicas factibles de reemplazar al bromuro de metilo en la desinfección de suelos y sustratos. La tercera sección se centra en los resultados técnicos y económicos, de las opciones probadas que fueron más provisorias. Por último, las conclusiones y recomendaciones.



PATÓGENOS DEL SUELO QUE AFECTAN A TOMATE Y PIMIENTO EN CHILE

En el proyecto se evaluó fundamentalmente el control de enfermedades causadas por hongos y de los nematodos fitoparásitos, porque son los problemas más importantes en los invernaderos. Los insectos del suelo son eliminados por el constante laboreo que se realiza en los cultivos intensivos. Las malezas en estas condiciones tampoco son un problema mayor, ya que sólo el uso de cubiertas plásticas inhibe la emergencia de la mayoría de las especies que se multiplican por semilla, y vegetativamente, con excepción de la chufa la cual al emerger, sus hojas filamentosas rompen el plástico invadiendo el cultivo.

Enfermedades causadas por hongos del suelo

Alicia Bruna V.

Ingeniero Agrónomo M.Sc

INIA-La Platina.

El tomate y el pimiento, en todos los países donde se cultivan, son afectados por un gran número de enfermedades causadas por hongos del suelo, en particular los cultivos de tomate en invernaderos con cubierta plástica, donde se hace un uso intensivo del suelo o monocultivo. En nuestro país se desarrollan dos modalidades productivas, la primera, que abarca una extensa superficie, destinada a la producción al aire libre durante la época de primavera-verano, y la segunda a producción de tomates en cultivo forzado, destinados a la obtención de frutos durante otoño y primavera.

En los últimos años se ha logrado identificar dos importantes enfermedades, cuya incidencia va en aumento, como son el cancro del tallo, causado por *Phytophthora nicotianae* var. *Parasitica*, y la verticilosis, provocada por la raza 2 de *Verticillium dahliae*.

A continuación se describen las principales enfermedades del suelo que afectan al tomate y pimiento en Chile, indicando los síntomas que las caracterizan, los medios de sobrevivencia y diseminación de los hongos que las causan y los métodos de control más adecuados.

CAÍDA DE ALMÁCIGOS O DAMPING-OFF

Es uno de los principales problemas que se presenta en almácigos. Es causado por un complejo de hongos del suelo entre los que destacan los géneros *Phytium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* y *Fusarium*. Estos organismos se encuentran diseminados en la mayoría de los suelos agrícolas y afectan a una amplia gama de cultivos hortícolas, frutícolas, forrajeros y forestales.

Sintomatología: existen dos síntomas que permiten reconocer a esta enfermedad. Uno de ellos es la caída de pre emergencia, es decir antes de la emergencia de las plantas, en el cual se produce la pudrición de la semilla al momento de germinar o bien la muerte de la plántula antes de emerger sobre el suelo. A veces este síntoma se confunde con una mala germinación de la semilla. El otro corresponde a la caída de pos emergencia, que se manifiesta después de la emergencia de las plántulas sobre el suelo. En este caso el complejo de hongos afecta los tejidos del cuello y de las raíces, produciendo un estrangulamiento en el tallo al nivel del suelo, y como consecuencia la caída y muerte de plántulas (Foto 1).

El período de mayor susceptibilidad de los cultivos es desde que se siembra la semilla hasta 25 días después de la emergencia. Luego los tejidos se endurecen y el riesgo de caída disminuye apreciablemente.

Esta enfermedad está asociada a condiciones climáticas de bajas temperaturas y alta humedad del suelo, las que se producen normalmente durante los meses invernales, época en que se realizan la mayoría de los almácigos.



Foto 1. Plantines de tomate afectadas por hongos del suelo en almácigueras. (Damping - off).

Control integrado: en primer lugar debe hacerse una buena preparación de los suelos de la almaciguera dejándolos sueltos, permeables, bien nivelados y con buen drenaje.

La dosis de semilla debe ser la adecuada para evitar una excesiva densidad de plantas, y dejar paso a la luz solar, de modo que la humedad del suelo se evapore más fácilmente.

También se debe evitar los riegos excesivos, que provoquen apozamientos en los sectores bajos de la almaciguera, ya que ello favorece el desarrollo de los hongos causantes del damping-off.

No es conveniente repetir el cultivo en el mismo suelo, a menos que éste se esterilice periódicamente, con dazomet o metam sodio.

El tratamiento de la semilla se puede hacer con cualquiera de los siguientes funguicidas: Pomarsol Forte 80% WP (thiuram), en dosis de 5-6 g/kg de semilla; Dimazin Plus 80% WP, Dithane M-45 80% WP o Manzate 200 WP (mancozeb), en dosis de 3 g/kg de semilla.

MARCHITEZ O FUSARIOSIS

Es causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. Este hongo afecta solamente a tomate cultivado y a ciertas especies de tomate silvestre. *F. oxysporum* es un habitante del suelo que puede sobrevivir casi indefinidamente en forma de clamidosporas. Otras fuentes de infección son los restos de cultivo y las semillas contaminadas. La penetración tiene lugar principalmente en la zona de elongación de la raíz y puede facilitarse por heridas o ataques de nematodos (nematodo de la raíz, *Meloidogyne* spp.; nematodo de las lesiones radiculares, *Pratylenchus* spp.); desde allí el hongo se extiende hacia arriba por el xilema (vaso conductor de savia cruda), donde bloquea los vasos y forma enzimas y toxinas que contribuyen a la expresión de la enfermedad.

Sintomatología: los síntomas se inician con un amarillamiento de las hojas basales, las que posteriormente se marchitan y mueren (Foto 2). La clorosis generalmente se presenta afectando un solo lado de los folíolos o de las hojas, lo que es característico también de otras enfermedades vasculares como la marchitez por *Verticillium* y el cancro bacteriano. Las señales de infección continúan apareciendo sucesivamente en las hojas más jóvenes.

Al efectuar un corte longitudinal del tallo, se aprecia una coloración pardo rojiza en el xilema, la que avanza en sentido ascendente desde la raíz al tallo y a los peciolo de la hoja. Puede llegar a producir la muerte de las plantas.

Sobrevivencia y diseminación: las condiciones del medio ambiente que favorecen el desarrollo de la enfermedad son; temperaturas de suelo elevadas, entre 22 y 32 °C, siendo la óptima 28 °C, los suelos arenosos y ácidos, los días cortos, una reducida intensidad de luz y humedad del suelo favorable para el cultivo.

La gravedad de la enfermedad depende también de la agresividad de las cepas y parece más importante cuando las raíces han sufrido por exceso o falta de agua, en algún momento, o han estado expuestas a temperaturas demasiado bajas. Existen tres razas descritas actualmente, siendo las más frecuentes la 1 y la 2.



Foto 2. Marchitez de plantas de tomate provocada por fusarium. Obsérvese el amarillamiento de las hojas basales.

Este hongo es capaz de colonizar o recolonizar muy rápidamente los suelos o sustratos recientemente desinfectados, pudiendo permanecer en ellos hasta 10 años, a más de 80 cm de profundidad. Sobrevive indefinidamente en el suelo; se le encuentra también en restos de cultivo y en las semillas.

Se disemina por el agua de riego, el viento, distintos insectos, herramientas de trabajo e incluso en los zapatos.

Control integrado: se recomienda usar variedades resistentes a las razas predominantes del hongo (F1 y F2). A veces la resistencia se pierde por ataque de nematodos y por exceso de salinidad.

En la fertilización es más conveniente aplicar nitrógeno nítrico (salitre sódico o salitre potásico), en vez de amoniacal (urea). El nitrógeno nítrico inhibe el crecimiento del hongo y aumenta los rendimientos.

La aporca de plantas infectadas favorece la emisión de raíces nuevas que reemplazan a las raíces necrosadas.

En los almácigos debe usarse sustratos sanos y semillas desinfectadas. En otros países ha tenido éxito el uso de portainjertos resistentes (KNFV) a nematodos y a los hongos causantes de raíz corchosa, verticilosis y fusariosis.

El suelo para los almácigos y de los invernaderos se puede desinfectar con vapor de agua, cloropicrina; dazomet, metam-sodio o mediante solarización (ver sección Tecnologías Alternativas al Bromuro de Metilo).

VERTICILOSIS

Es provocada por el hongo *Verticillium albo-atrum* y *V. Dahliae*. Actualmente se conocen dos razas: la raza 1 distribuida en todo el mundo, y la raza 2, reportada en Estados Unidos y actualmente presente en Chile.

Sintomatología: los primeros síntomas consisten en un amarillamiento (clorosis) entre las nervaduras de las hojas basales, a veces por un sólo lado del tejido, las hojas se marchitan y mueren. Durante esta etapa inicial la marchitez puede ser muy severa durante el día, con aparente recuperación en la noche. El follaje afectado pierde brillo, se produce un enrollamiento hacia arriba de los folíolos y necrosis foliar (Foto 3).

El sistema vascular presenta una coloración pardo-rojiza, la que puede extenderse desde la base del tallo hasta los brotes apicales. La infección se produce a través de las raíces pudiendo alcanzar toda la planta. Su desarrollo se favorece con temperaturas templadas a cálidas, siendo el óptimo entre 20 y 25 °C.

Sobrevivencia y diseminación: este hongo es habitante del suelo y puede sobrevivir en él por muchos años en forma de microesclerocios. También sobrevive en numerosas plantas hospederas, cultivadas o malezas (amarantos, berenjenas, tomatillo, etc.). El cultivo repetido de tomates selecciona las razas particularmente agresivas para este hospedero.



Foto 3. Plantas de tomate en invernadero con síntomas de verticilosis.

Se disemina por el viento, por el agua de riego, por transporte de suelo infestado en las maquinaria o herramientas agrícolas y por material de propagación enfermo.

Control integrado: se recomienda usar los cultivares resistentes, denominados V, que son resistentes sólo a la raza 1 del hongo

En almacigueras y cultivos protegidos, principalmente, una buena alternativa es desinfectar los suelos con vapor. Se estima que el mejor tratamiento con vapor es aquel que eleva la temperatura del suelo a 75°C en los primeros 20 cm de profundidad, lo que permite eliminar la mayoría de los insectos, nematodos, semillas de malezas, hongos y bacterias. En suelos con alto contenido de materia orgánica, si la temperatura excede los 82°C se producen niveles fitotóxicos de amonio, nitritos y manganeso. Otras alternativas de desinfección son los fumigantes del suelo, como cloropicrina, dazomet o metam-sodio

La eliminación de los restos de plantas enfermas, contribuye a disminuir el inóculo presente en el suelo.

CANCRO DEL TALLO, PUDRICIÓN DEL CUELLO, MILDIÚ TERRESTRE

El agente causal es el hongo *Phytophthora nicotianae* var. *parasítica*. Este hongo es polífago, ya que afecta a muchos cultivares hortícolas, cítricos, tropicales y ornamentales. En general la infección se inicia en las raíces, lo que puede retrasar el crecimiento, luego el hongo avanza hasta el cuello y la parte inferior del tallo, la planta colapsa y muere. Existe también un ataque directo al cuello cuando el agua de riego queda en contacto con el tallo, y allí son las zoosporas las que inician la infección. Los tallos y frutos pueden infectarse a partir del suelo, al salpicarles el agua.

Este hongo ataca especialmente a las plantas que han sufrido estrés a nivel de sus raíces (exceso de agua, temperaturas demasiado bajas del suelo), particularmente en las semanas que siguen a la plantación.

Sintomatología: en almácigos se produce damping-off, o caída de almácigos, en plantas jóvenes; en la parte basal de los tallos se produce un cancro húmedo de color pardo en la periferia. Si la infección es severa la planta se marchita y muere rápidamente.

Los síntomas más típicos de la enfermedad aparecen en los frutos que quedan en contacto con el suelo húmedo, manifestándose como manchas con círculos concéntricos de color pardo (Foto 4). El fruto puede llegar a la madurez, en que la parte enferma se observa de un color verde pardo o amarillo traslúcido, sobre un fondo verde y el resto del fruto rojo. Por exceso de humedad aparece sobre el fruto un moho blanco algodonoso, que corresponde a la presencia del hongo.

Sobrevivencia y diseminación: este hongo se conserva por mucho tiempo en el suelo en forma de clamidosporas o estructuras de resistencia, que le dan estabilidad. Además, como es polífago, puede sobrevivir en otros hospederos.

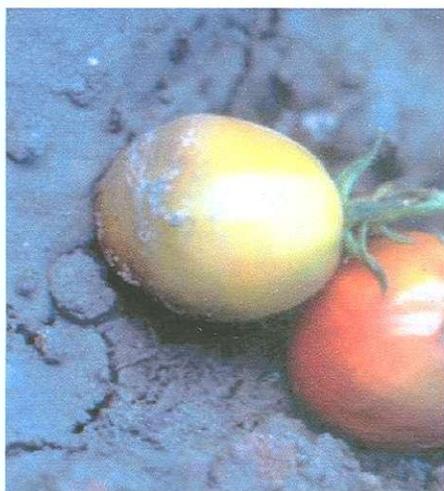


Foto 4. Frutos de tomate infectado por *Phytophthora nicotianae*.

Las temperaturas más adecuadas para su desarrollo son entre 15 y 30°C. Un exceso de agua en el suelo favorece una liberación masiva de zoosporas a partir de los esporangios que se encuentran en el suelo, así como su dispersión en el campo.

Además de la transmisión que se produce por los sustratos y por las salpicaduras de agua, las plantas se infectan en forma importante por agua de riego contaminada.

Control integrado: en almacigueras usar sustrato sano y desinfectado. Se debe evitar el trasplante a suelos muy fríos o con exceso de humedad y los suelos pesados con mal drenaje. Eliminar plantas enfermas y frutos afectados, y cuidar que el agua de riego no esté contaminada.

En el momento del trasplante efectuar una inmersión de las raíces en alguna de las siguientes mezclas de fungicidas: dimetomorf más mancozeb; cimoxanilo más mancozeb; metalaxil más mancozeb; propamocarb HCl o azoxystrobin. Dos a tres semanas después del trasplante asperjar la base de las plantas con cualquiera de los fungicidas señalados.

Para evitar el ataque en frutos, el suelo no debe permanecer húmedo por mucho tiempo y los frutos no deben estar en contacto con el suelo.

RAÍZ CORCHOSA, PUDRICIÓN PARDA DE LA RAÍZ

Es provocada por el hongo *Pyrenochaeta lycopersici*. Se han realizado numerosos estudios sobre el complejo fúngico asociado a la raíz corchosa, determinándose que existe una estrecha interacción entre *P. lycopersici* y *Fusarium oxysporum*; es así que la invasión primaria de éste último limita la posterior invasión por *P. lycopersici*. Por el contrario, la invasión primaria de *P. Lycopersici* potencia el colonialismo posterior de *Fusarium*.

Sintomatología: el primer síntoma visible es la amarillamiento progresivo de la planta, sin que se observe ningún otro daño en la parte aérea. Los síntomas más típicos se aprecian en las raíces, donde aparecen lesiones café necróticas, que luego se hinchan, se resquebrajan y toman un aspecto corchoso (Foto 5). Estas lesiones provocan la destrucción parcial del sistema radicular. Como consecuencia, se produce un menor vigor de las plantas, disminución de crecimiento y baja productividad. Posteriormente el cultivo presenta marchitez progresiva, en especial en los momentos de máximo calor. Durante la época de formación de los primeros racimos es notorio el decaimiento de las plantas.

Sobrevivencia y diseminación: las condiciones favorables de temperaturas para el desarrollo de la raíz corchosa son entre 15 y 20°C, para las razas frías, y entre 26 y 30°C en las razas mediterráneas. Los suelos húmedos también favorecen el desarrollo de la enfermedad. Sobrevive en el suelo por varios años como estructuras de resistencia (microesclerocios), en raíces de tomate u otros hospederos; melones, pimientos, berenjenas, zapallo, espinaca y lechuga. Se disemina por el riego, labores de cultivo y por almácigos infectados.

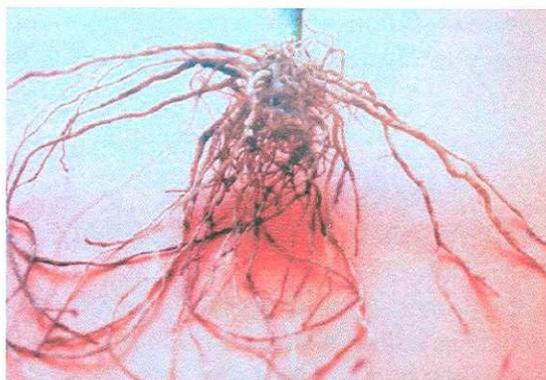


Foto 5. Raíz de tomate afectada por raíz corchosa. Lesiones de color café necróticas, con un aspecto corchoso es el síntoma típico.

Control integrado: una práctica adecuada para disminuir la población del hongo es la eliminación de raíces enfermas de cultivo anterior y hacer rotación de cultivos por 2 a 3 años. Se deben evitar los excesos de agua haciendo un buen manejo del riego. También existen portainjertos resistentes (KNVF).

Para la desinfección de suelo se recomienda aplicar cloropicrina, dazomet, metam-sodio, vaporización, o solarización, y biofumigación, entre otras, (ver sección Tecnologías Alternativas al Bromuro de Metilo).

Problemas Nematológicos

Héctor González R.
Ingeniero Agrónomo
INIA-La Platina

Los nematodos parásitos son organismos microscópicos, que se alimentan y desarrollan en las raíces y raicillas de los cultivos, produciendo pérdidas considerables en los rendimientos. Su forma típica es alargada con ambos extremos aguzados (Foto 1); el término que mejor los define, en su forma, es el de “gusanos anguilas”. Su longitud varía entre 0,2 a más de 6 mm. En ciertas formas la hembra adulta se ensancha notoriamente en el interior de los tejidos radiculares, adquiriendo la forma de limón, pera o riñón, produciendo el llamado “nódulo o nudo de la raíz”, característica del género *Meloidogyne*.

La mayor parte de estos parásitos se reproducen en forma bisexual, en que el macho fertiliza a la hembra. Sin embargo, algunas especies tienen reproducción partenogénica, o sea, sin intervención del macho, y en otras la reproducción es hermafrodita, en que los huevos y el espermatozoides son producidos por la hembra. El ciclo de vida de la mayor parte de los nematodos es simple y directo, pudiendo ser dividido en seis estados evolutivos: huevo, cuatro formas larvianas y adulto.

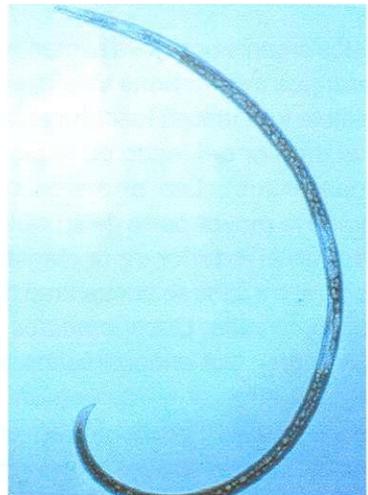


Foto 1. Forma típica de un nematodo fitoparásito, con ambos extremos aguzados.

Su aparato digestivo, consiste en boca, esófago e intestino. La boca, en la mayor parte de los nematodos está provista de una estructura semejante a una aguja hipodérmica, conocida como "estilete" (Foto 6), con la cual se alimentan y succionan el jugo celular de las raíces y raicillas. Al mismo tiempo inyectan secreciones tóxicas que destruyen las células, provocando deformaciones en la zona afectada.

Importancia

Los tomates sufren enormes daños por la acción de los nematodos fitoparásitos. Aparte del daño directo que provocan, las heridas que dejan en las plantas son una puerta de acceso para algunos hongos, bacterias o virus.

Estos organismos, para alimentarse, perforan las membranas celulares con su estilete y se ubican fuera (ectoparásitos) o al interior del tejido de la planta (endoparásitos). Los primeros cumplen todo o la mayor parte de su ciclo evolutivo, en el exterior de la planta hospedera (entre ellos se encuentran los géneros *Xiphinema*, *Criconemoides*, *Helicotylenchus*). Los endoparásitos, en cambio, penetran al tejido vegetal, total o parcialmente, produciendo nódulos, hinchazones (Foto 2), deformaciones o simplemente lesiones y necrosis en la raíz de la planta afectada (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*).

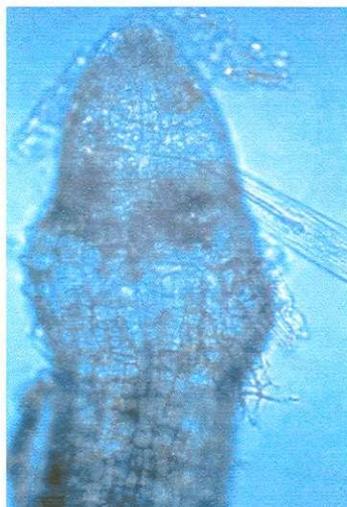


Foto 6. Estilete de nematodo daga (*Xiphinema*) semejante a una daga o puñal, alimentándose desde el exterior.



Foto 2. Raíces de tomates con hinchazones producidas por *Meloidogyne*. Obsérvese la presencia de hembras viables al interior del tejido radical.

En ataques leves, es difícil diagnosticar la presencia de nematodos, y es posible confundir los síntomas con aquellos producidos por una falta de riego, de abonos, o con problemas de adaptación de las plantas al medio ambiente. Esta es una de las razones por la cual los agricultores frecuentemente se inclinan a culpar la reducción de los rendimientos, a la carencia de fertilidad del suelo, a deficiencias de ciertos elementos, a la sequía, a la muerte invernal, quemaduras de sol, a falta de luz y otros factores, en circunstancias que en innumerales casos los nematodos pueden ser la causa de estas anomalías.

Síntomas y daños

Los síntomas que resultan de la infestación con nematodos incluyen: marchitez, detención del desarrollo, hinchazones y nódulos en las raíces, amarillamiento y deformaciones de hijas y brotes, enanismo, falta de vigor y productividad (Foto 3).

Los nematodos parásitos en las plantas al alimentarse pueden producir dos tipos de daño: uno **me-cánico**, al destruir las membranas de las células de los tejidos, y uno **químico**, al inyectar a las células sustancias químicas, que pueden destruirlas o hacer que éstas se desarrollen de forma irregular. El resultado final es la disminución, parcial o total, de la capacidad vegetativa y de la producción, a causa de que las raíces dañadas no pueden aprovechar adecuadamente la humedad, siendo menor la eficiencia en la extracción de nutrientes del suelo, en especial del potasio.

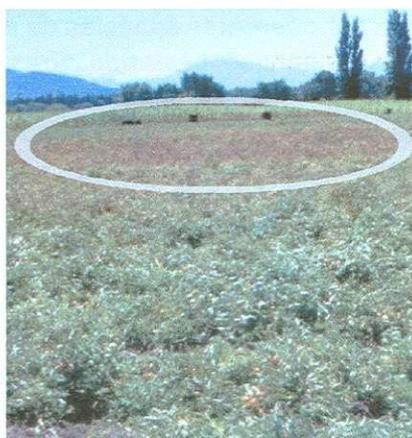


Foto 3. Síntoma de un ataque severo de nematodos parásitos en tomates.

Se observa plantación con manchas amarillas y falta de vigor de las plantas (interior del óvalo marcado en la foto).

Las plantas jóvenes pueden ser destruidas, al ser afectadas directamente por el parásito, en tanto que las plantas adultas pueden detener su desarrollo, pero, a pesar de estar debilitadas, conservan la capacidad de permanecer con vida, durante un tiempo mayor.

El debilitamiento de las plantas infestadas, es a menudo acelerada por enfermedades secundarias provocadas por hongos, bacterias o virus.

Sin embargo, los síntomas como marchitez, amarillamiento y detención del desarrollo, no son específicos y pueden ser causados, no sólo por diferentes especies de nematodos parásitos, sino que también por hongos, bacterias, virus, insectos, y por un medio ambiente desfavorable. La identificación específica de los nematodos generalmente, sólo puede ser realizada por el aislamiento y el examen microscópico.

Relación planta nematodo

Los nematodos parásitos permanecen durante la mayor parte de su vida en el suelo o asociados a las raíces u otros órganos de las plantas tales como tubérculos, tallos o semillas. Habitan por lo general, alrededor de la zona radical de las plantas, donde se encuentran en mayor cantidad. Si los nematodos existentes en el suelo disponen de un hospedero favorable, la población va aumentando mientras existan raíces y raicillas sanas como fuente de alimento. En cambio, la densidad de población va disminuyendo cuando el sistema radical de la planta hospedera queda destruido o se encuentra en mal estado.

En ausencia de un huésped apropiado, la población disminuye rápidamente. No obstante, ciertos estados individuales (quistes, larvas) en virtud de mecanismos protectores, sobreviven en el suelo durante varios años, sin alimentarse. Tan pronto disponen de un hospedero apropiado, los nematodos sobrevivientes empiezan a alimentarse y se multiplican rápidamente.

Condiciones favorables de desarrollo

Las altas temperaturas favorecen el desarrollo y ataque de los nematodos. En cambio las temperaturas bajas prolongan la duración de su ciclo biológico, disminuyendo, por lo tanto, la intensidad del daño. De allí que el verano sea, en general, la época más favorable para el ataque y desarrollo de estos microorganismos, siendo entre los 15 y 30° C el rango más adecuado para la producción de huevos, reproducción, desarrollo y supervivencia. Fuera de estos extremos y por debajo de los 10° C o por encima de los 40° C, los nematodos se inactivan o llegan a morir.

También, durante la primavera y el verano, las poblaciones aumentan más rápido cuando hay abundancia de plantas hospederas y un ambiente favorable, fresco y húmedo.

Un exceso de humedad determina la carencia de oxígeno en el suelo y la desecación conduce a la inactividad y eventual muerte de los nematodos. El contenido de humedad óptimo está entre el 40 y el 80% de la capacidad de retención del suelo.

Los suelos livianos y arenosos, dadas las características físicas que presentan de permeabilidad, falta de elementos finos como arcilla, limo y materia orgánica, son los que más favorecen el desarrollo y multiplicación de los nematodos. En cambio, los suelos arcillosos son menos favorables, ya que son menos aireados y, por lo tanto, se reduce la supervivencia y la densidad poblacional. El pH del suelo no los afecta directamente.

Diseminación

Los nematodos fitoparásitos pueden diseminarse por varios medios:

- El material vegetativo procedente de una almaciguera no fumigada o de un terreno altamente infestado (transplante), permite en gran parte la diseminación de estos microorganismos, a través de las raíces de las plantas o bien por el suelo adherido a ellas.

- El agua de riego constituye otro vehículo de transporte de huevos, larvas, y restos de raíces infestadas, especialmente cuando el agua, previo al riego de tomates, se utiliza para regar cultivos susceptibles al ataque de nematodos. En un sistema de riego por goteo, la posibilidad de diseminación es mucho menor.
- La tierra adherida a las rueda de los tractores u otros implementos agrícolas que hayan sido usados en campos altamente infestados, puede diseminar una gran cantidad de nematodos parásitos.
- Los cultivos susceptibles, como ají, pimentón, papas, sandías, zapallos, porotos, etc., asociados a una plantación de tomates y pimientos, contribuyen a incrementar enormemente las poblaciones de nematodos en el suelo, principalmente *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. Lo mismo ocurre con la presencia de ciertas malezas hospederas de estos fitoparásitos, tales como: asta de cabra (*Bidens pilosa*); bolsita del pastor (*Capsella bursa-pastoris*); bleo (*Amaranthus deflexus*); correhuela (*Convolvulus arvensis*); clarincillo (*Vicia villosa*); hierba del té (*Bidens aurea*) (Foto 4); lechuguilla (*Lactuca serriola*); mostacilla (*Brassica spp.*); Quinguilla (*Chenopodium album*); suspiro (*Ipomoea purpurea*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), etc.



Foto 4. Hierba del té (*Bidens aurea*) con nódulos producidos por *Meloidogyne*.
Sirve de reservorio y diseminación de este parásito.

Principales especies

Tomate y pimiento son huéspedes de numerosos géneros y especies de nematodos, tales como *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. hapla*, *Helicotylenchus nannus*, *Pratylenchus penetrans*, *Pratylenchus brachyurus*, *Trichodorus spp.*, *Tylenchorhynchus spp.*, *Criconemoides xenoplax*, *Globodera rostochiensis*, *Xiphinema americanum* y otros.

En nuestro país, a través de numerosas prospecciones realizadas por el INIA, se ha demostrado que los nematodos de mayor importancia económica en el cultivo del tomate y pimiento, son: *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Xiphinema americanun* y *Pratylenchus spp.*

El “nematodo de la raíz” (*Meloidogyne*) endoparásito, ocasiona daños de consideración al cultivo. La amplia gama de cultivos huéspedes de *Meloidogyne* a lo largo del país, así como las rotaciones de cultivos inadecuados permiten la existencia de poblaciones tan severas, que en varias localidades, principalmente de la V Región (Limache, Quillota, Olmué) y Valles del Norte, el rendimiento y la productividad del tomate se ven severamente afectados, con presencia de nódulos, necrosis y deformaciones en raíces y raicillas (Foto 5).



Foto 5. Infestación severa en raíces y raicillas de tomate con formación de nódulos por efecto del nematodo de la raíz (*Meloidogyne*).

El “nematodo daga” (*Xiphinema americanum*) es un ectoparásito caracterizado por producir lesiones y necrosis en raíces y raicillas, disminuyendo el vigor y productividad de las plantas. Además es un eficiente portador y transmisor de numerosas enfermedades a virus, en un gran número de plantas hortícolas y frutales.

El “nematodo de las lesiones” (*Pratylenchus spp*) es un endoparásito, que causa lesiones, necrosis, picaduras y muerte de raíces jóvenes y suculentas del tomate. En general, los síntomas de este parásito consisten en la mutilación de las raíces como el resultado de la formación de las lesiones.

Control

El control de los nematodos parásitos no es fácil, ya que ellos poseen una cutícula poco permeable que les confiere gran resistencia a los agentes controladores, físicos y químicos. Además se distribuyen en el suelo a una profundidad variable, dependiendo del largo de las raíces y su gran actividad y capacidad de desarrollo les permite recuperar rápidamente una población disminuida. Por todo ello, el control de los nematodos parásitos en el suelo es difícil y a veces de alto costo, pero, sin duda, es imprescindible para obtener rendimientos satisfactorios.

Existe una serie de medidas tendientes a controlar y reducir las poblaciones de nematodos parásitos, que se describen a continuación:

Vapor de agua: el calentamiento del suelo efectuado con vapor de agua, es eficaz contra nematodos y otros agentes nocivos tales como semillas de malezas, larvas de insectos, hongos, etc. (ver sección Tecnologías Alternativas al Bromuro de Metilo).

Inundación: consiste en mantener un cierto nivel de agua sobre un terreno no cultivado por un período no inferior a 30 días. En los campos inundados la materia orgánica sufre una descomposición, desarrollándose sustancias letales para los nematodos tales como el ácido butírico y propiónico, así como también el sulfuro de hidrógeno, que actúan como verdaderos nematicidas.

Labores culturales: los nematodos parásitos viven preferentemente en las capas superficiales del suelo (30 cm) y las araduras y labores profundas del terreno, en especial durante el verano y con suelo seco, pueden producir la muerte, principalmente de huevos y larvas de los nematodos por deshidratación (aire, sol), al quedar expuestos a la superficie y sin presencia de raíces y raicillas.

Solarización: es un método no convencional para el control de nematodos parásitos, malezas, insectos y hongos. Consiste en la desinfección del suelo por medio de la energía solar; esto se logra cubriendo la superficie del suelo con un polietileno fino y transparente, en la época de mayor radiación solar (verano) por un período de 4 a 6 semanas.

El suelo debe estar suelto y bien mullido, sin terrones y, antes de la colocación del plástico se debe mojar, a fin de que quede con la humedad necesaria para lograr el punto de capacidad de campo y de este modo favorecer la conductividad del calor.

La intensidad de la luz solar es muy importante, ya que a mayor intensidad de la radiación solar y exposición, habrá una mayor efectividad sobre los organismos nocivos del suelo.

Barbecho: consiste en dejar un suelo, en el cual se haya detectado la presencia de nematodos, sin cultivar por un cierto período, principalmente durante los meses de primavera y verano, removiéndolo en forma periódica. Los nematodos parásitos al no tener raíces, ni raicillas para alimentarse, disminuyen sus poblaciones al mínimo. Este método es muy efectivo para reducir poblaciones de *Meloidogyne*.

Materia orgánica: la agregación de materia orgánica al suelo (guano, orujo de uva, sarmiento picado, paja, etc.) incrementa considerablemente el número de nematodos saprofitos, depredadores, hongos capturadores y otros enemigos naturales de los nematodos parásitos, lo cual reduce los niveles de infestación en forma satisfactoria. La materia orgánica mejora, además, la textura, estructura y aireación del suelo.

En el Cuadro 1 se presentan los diferentes géneros de nematodos saprofitos (que se alimentan de nematodos parásitos) determinados en diferentes tipos de materiales orgánicos.

Cuadro 1. Géneros de nematodos saprófitos en diferentes tipos de materiales orgánicos. Centro Regional de Investigación La Platina.

Materia Orgánica	Número de ejemplares por 250 gr de material orgánico			Total
	<i>Rhabditis</i>	<i>Mononchus</i>	<i>Dorylaimus</i>	
Guano de vacuno	260	120	—	380
Guano de gallina	180	240	10	430
Guano de cerdo	100	20	—	120
Guano de oveja	80	90	20	190
Guano de cabra	110	70	30	210
Humus de lombriz	320	200	—	520

Fuente: González, 1991.

Rotación de cultivos: este método es eficiente y es una práctica común para reducir las poblaciones de nematodos en el suelo. Se basa en alternar especies de cultivos que constituyen huéspedes susceptibles a los nematodos a controlar, con otras plantas hospederas tolerantes o resistentes. Esta forma de control no es fácil de aplicar cuando se desea controlar nematodos que se alimentan de muchas especies de plantas, tal como ocurre con el "nematodo de la raíz". En este caso, solamente las plantas gramíneas (trigo, avena, cebada, centeno) lo reducen eficazmente.

Control biológico: los nematodos parásitos son atacados por numerosos organismos tales como hongos, ácaros, colémbolos, amebas y también por nematodos saprofitos. Entre estos últimos el INIA ha logrado identificar los géneros *Mononchus*, *Dorylaimus*, *Rhabditis*, *Diplogaster* y *Tripyla*, los cuales reducen satisfactoriamente nematodos parásitos y también larvas de insectos.

Plantas tóxicas: en los últimos años ha habido gran interés, por aquellas plantas cuyas raíces contienen sustancias que reducen las poblaciones de nematodos. Entre estas plantas se encuentran el clavelón (*Tagetes patula*), cuyas raíces contienen el compuesto llamado terthienil, el espárrago (*Asparagus officinalis*), que contiene el ácido asparagúsico, la manzanilla (*Helenium sp.*), que contiene el compuesto catecho. Todas estas sustancias son eficientes para el control de nematodos parásitos, principalmente de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*.

Cultivos trampas: son plantas muy susceptibles a nematodos parásitos y, una vez que su desarrollo ha terminado, sus raíces están infestadas en forma severa, principalmente por *Meloidogyne*, y deben ser rápidamente destruidas. Por ejemplo, la crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), el tabaco y tomate silvestres, etc.

Varietades resistentes: el cultivo de este tipo de variedades ha mostrado hasta ahora que su resistencia a nematodos se mantiene en forma indefinida. El desarrollo rápido y amplia distribución de biotipos de las especies de *Meloidogyne* que rompan la resistencia ha permanecido como una posibilidad remota. Tales biotipos no han sido encontrados en gran escala en campos agrícolas.

La resistencia a *Meloidogyne* puede definirse como una o más característica de las plantas que inhiben la reproducción de estas especies nematodos. Para que una variedad tenga valor en el control del nematodo del nódulo de la raíz, debe inhibir su reproducción en un 90% o más, con relación a los cultivares susceptibles de la misma especie.

La naturaleza de la resistencia de plantas a las especies de *Meloidogyne*, se conoce sólo parcialmente. En la mayoría de plantas resistentes examinadas, no se ha constatado una incapacidad de las larvas para penetrar en las raíces por falta de atracción, puesto que penetran en las raíces de plantas resistentes o susceptibles en números casi iguales. En las raíces de plantas susceptibles, la formación de células gigantes es estimulada por la alimentación de la larva y

ésta se desarrolla normalmente hasta la maduración, produciendo huevos de los cuales emergen larvas viables. En las plantas resistentes, en cambio, esta secuencia puede ser interrumpida o fallar en cualquier punto: las larvas pueden morir a causa de una reacción inmune rápidamente después que han comenzado a alimentarse; sus células gigantes pueden no formarse o ser defectuosas. Si la formación de las células gigantes no es normal, las larvas pueden fallar en su desarrollo como adultos machos o hembras, o quizás producir pocos huevos viables o ninguno.

Las plantas tolerantes o resistentes, infectadas por *Meloidogyne* experimentan menor daño en su desarrollo y rendimiento, que las que carecen de tolerancia o resistencia. El concepto de tolerancia se usa, generalmente, para indicar una moderada susceptibilidad.

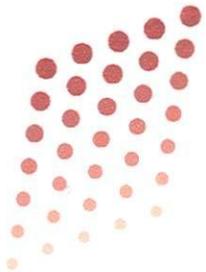
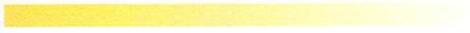
Control químico: es otro método efectivo para controlar nematodos, en el cual se emplean productos químicos denominados nematicidas. El objetivo final de un control químico, es reducir las poblaciones hasta un nivel que no limite el normal funcionamiento de raíces y raicillas, de tal manera, que se asegura un buen crecimiento y desarrollo de las plantas tratadas. Existen tratamientos de pre y postplantación.

Existen diferentes productos que se pueden aplicar para el control de nematodos en tomate y pimiento. En la desinfección de las almacigueras, se recomiendan los productos: Carbodan 10% G, Curaterr 10% G, Nema-cur 40% EC, Furadan 4F, Mocap 6% EC, Cier-to 900 EC, Temik, 15% G, incluyendo el bromuro de metilo, que es el producto más eficiente, pero por las razones descritas se debe reemplazar.

El Carbodan 10% G, Curaterr y Temik son productos granulares y deben aplicarse localizados e incorporados a 20 cm de profundidad, tapando y regando en forma lenta. Furadan, Nema-cur, Mocap y Cier-to son solubles en agua, por lo cual pueden aplicarse con bomba de espalda, motobomba o bien ser incorporados más eficientemente a un sistema de riego por goteo.

En plantaciones de tomates con problemas de nematodos parásitos, solamente se podrá trabajar con productos que tengan registro, tolerancia y la carencia adecuada para su aplicación. Los nematicidas sistémicos pueden controlar efectivamente nematodos endo y ectoparásitos y con los de contacto sólo se logran controlar satisfactoriamente los ectoparásitos.

El control químico debe ser complementado con las otras medidas de control señaladas: rotación de cultivos, barbecho, limpieza de suelo de restos del cultivo anterior, eliminación de malezas u otras plantas huéspedes, desinfección del material de cultivos y uso de cultivares de tomate resistentes o tolerantes a nematodos, principalmente *Meloidogyne*. El empleo de fumigantes nematicidas para suelo, puede ser asimismo más ventajoso, si se tiene la oportunidad de destruir otras plagas, de importancia económica en el cultivo del tomate.



TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO

En esta sección se presentan las alternativas químicas, físicas y orgánicas que fueron las más promisorias, en cuanto a sus resultados técnicos y económicos, para sustituir al bromuro de metilo en la esterilización de suelos y sustratos. La información relativa a cada una de ellas está basada en las especificaciones técnicas que entregan las distribuidoras de los productos, revisión bibliográfica de experiencias extranjeras, así como de las obtenidas en la ejecución de los ensayos realizados durante los dos años del proyecto, en distintas localidades de las regiones V, Metropolitana y VI.

Alternativas Químicas

José Olavarría M.

Ingeniero Agrónomo

Felipe Pastén D.

Ingeniero Agrónomo

Liliannette Droguett I.

Ingeniero Agrónomo

Jorge Carrasco J.

Ingeniero Agrónomo Dr.

Los productos que se describen a continuación corresponden a los fumigantes químicos que presentaron una efectividad homogénea en los ensayos de campo y que económicamente pueden ser una alternativa viable al bromuro de metilo. Estos son: metam sodio (BL-1480) disulfuro de carbono (Enzone) y dazomet (Basamid).

Los tres productos, al momento de ser aplicados, requieren de ciertas condiciones, ya sea generales o específicas, de suelo y manejo para lograr el máximo de control de hongos, nematodos, insectos y malezas, según el producto.

La literatura señala que la temperatura, humedad, textura y preparación de suelos son factores que están íntimamente ligados al comportamiento de los fumigantes de suelo, por lo que para lograr un óptimo resultado en el control, es necesario saber cuáles son las condiciones más adecuadas de aplicación.

Humedad: en el 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 las semillas de malezas y activar el crecimiento de nematodos y hongos, para lograr un mejor control. En suelos secos, la gasificación es muy rápida, sobre todo a nivel de la superficie, y no se consiguen concentraciones letales de fumigante. En suelos muy húmedos, una

gran parte de los poros están saturados de agua, por lo que el gas difunde con dificultad y de forma desigual a través del perfil del suelo, provocando una fumigación deficiente.

Temperatura: un suelo con temperatura entre 10 y 25°C ofrece las mejores condiciones para tener un adecuado efecto fumigante. Los microorganismos, semillas e insectos se activan a temperaturas superiores a 10°C, luego, sobre esa temperatura tienen la sensibilidad necesaria a los ingredientes activos, que garantiza una rápida efectividad. 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 a prisa y salen a la atmósfera, por lo cual se hace necesario sellar el suelo.

Textura y preparación de suelos: en suelos arenosos y sueltos la difusión del ingrediente activo es más fácil y efectiva, en tanto que los suelos pesados o arcillosos pueden tener los espacios porosos bloqueados, lo que limita la difusión del producto. Para lograr una buena desinfección, el suelo debe estar bien mullido —a una profundidad de 25 a 35 cm—, de modo que se aumente la superficie de contacto entre el ingrediente activo y los organismos a controlar. Es importante sacar los restos del cultivo anterior.

Para lograr el objetivo de control, después que el suelo se ha fumigado, es necesario sellarlo por varios días, ya sea con polietileno o con una lámina de agua. Posteriormente, antes de iniciar el cultivo, el suelo debe ventilarse por algún tiempo para precaver daños a las plantas por eventuales emanaciones de gas de los residuos del fumigante utilizado. En cualquier caso, para cerciorarse que no queda ningún residuo fitotóxico en el suelo se puede colocar algunas plantas de cultivos sensibles, por ejemplo plantines de lechuga. Estas prácticas, así como las especificaciones técnicas, dosis, forma de aplicación u otros factores de suelo que implican recomendaciones inherentes a un producto en particular, se tratan en forma individual.

METAM SODIO

Ingrediente activo	:	Metam sodio
Producto comercial	:	BL-1480
Formulación	:	Concentrado soluble
Concentración	:	42% v/v
Grupo químico	:	Ditiocarbamatos
Aspecto	:	Líquido color naranja
Densidad	:	1,20 g/cm ³
Solubilidad	:	Soluble en agua (722 g/L a 20°C) Moderadamente soluble en metanol y etanol, e insoluble en otros disolventes orgánicos.
Compatibilidad	:	No mezclar con otros productos
Toxicidad aguda	:	
DL50 (oral en rata)	:	4.096 mg/kg
DL50 (dérmica en conejo):	:	1.928 mg/kg

Es un producto que se ha empleado con mucho éxito en el mundo en el control de nematodos, hongos, malezas, y sus semillas. Sus residuos son tóxico para los peces, por lo que los equipos utilizados en la aplicación, no debe lavarse en los cursos de agua, para no contaminarlos.

Forma de acción

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 a controlar.

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. Pero, además, es influido por el pH y el contenido de materia orgánica del suelo.

pH del suelo: afecta de manera considerable la descomposición de metam sodio. En la gran mayoría de los suelos agrícolas de pH neu-

tro o ligeramente alcalinos, se obtiene mayor cantidad de metil isotiocianato (MIT) que en los suelos de pH ácido, en los que la eficiencia del producto es menor.

En soluciones alcalinas concentradas (2 a 3%), inyectadas al suelo, el Metam sodio es estable, se descompone en varios días, mientras que en soluciones diluidas (inferiores a 1%), se descompone en pocas horas, no siendo aconsejable su aplicación. Por ello, para garantizar la eficacia de la desinfección, es aconsejable hacer un análisis de agua en laboratorios especializados para conocer la alcalinidad de la solución y controlar el aporte de agua durante el tratamiento y el sellado.

Materia orgánica: en suelos ricos en materia orgánica (4%, según el proveedor del producto) el MIT se difunde con dificultad, porque es adsorbido por las partículas de materia orgánica.

Recomendaciones de aplicación

Metam sodio esta recomendado para la desinfección de suelos destinados a todo tipo de cultivos (hortícolas, ornamentales, frutales, etc.). No debe aplicarse en cultivos establecidos. Si existe algún cultivo o cualquier planta cerca de donde se va a fumigar, debe dejarse una distancia mínima de seguridad de diez metros, en especial si se trata de producción de plantines en almáciguera o en bandeja.

Se puede aplicar en cualquier época del año, antes de la plantación o siembra, teniendo en consideración que el suelo debe estar mullido, con una temperatura de entre 10 y 25°C y una humedad similar a la que se usa cuando se va a transplantar.

Dosis: las recomendaciones de dosis de ingrediente activo oscilan entre 80 y 120 cc/m² (0,08 a 0,12 L/m²) de suelo efectivamente cultivado. Si se prevén ataques débiles de hongos, nematodos o insectos se aplican dosis medias a bajas (100 a 80 cc/m²), pero si se esperan ataques fuertes de estos patógenos y para controlar malezas es necesario usar la dosis más alta. El nivel de ataque de patógenos se

puede pronosticar de acuerdo al historial del predio o por análisis fitopatológicos de suelos que se realizan en laboratorios especializados.

En suelos livianos o arenosos se usa una dosis baja a media (80 a 100 cc/m²), en cambio en suelos más pesados o arcillosos debe ser de media a alta (100 a 120 cc/m²). En suelos ricos en materia orgánica, debido a la gran retención y a la dificultad de difusión del producto, debe aplicarse la dosis más alta. Sin embargo, se debe tener cuidado, para no correr riesgos de fitotoxicidad por liberación posterior de restos de desinfectante adsorbidos por la materia orgánica.

Para calcular la cantidad de ingrediente activo necesario, primero se determina la superficie (m²) que efectivamente se cultivará. Luego se multiplica la superficie por la dosis (L/m²).

Ejemplo de cálculo de cantidad de producto por superficie de un fumigante líquido.

Cantidad de BL-1480 (metam sodio) que se necesita para fumigar una hectárea de invernaderos:

Datos

Nº de naves/ha	:	43
Largo de la nave	:	30 m
Nº de mesas por nave	:	4
Ancho de mesa	:	0,8 m
Dosis producto comercial	:	120 cc/m ² (0,12 L/m ²)

Entonces

Superficie efectiva	:	$30 \times 0,8 \times 4 \times 43 = 4.128 \text{ m}^2$
Litros producto comercial	:	$4.128 \text{ m}^2 \times 0,12 \text{ L/m}^2 = 495 \text{ L}$

Esto significa que deben aplicarse 495 litros de producto comercial por hectárea de invernadero.

$495 \times \text{Densidad metam sodio} = 495 \times 1,2 = 594 \text{ kilos/ha}$

Sistema de aplicación: se aplica a través del riego por goteo. Teniendo la información del caudal (litros/hora/gotero), número de goteros por superficie y superficie de cobertura, es fácil calcular el tiempo necesario para incorporar la dosis de metam sodio a la concentración deseada. Posteriormente se realiza un riego ligero para lavar el sistema.

Sellado: en los invernaderos, para el sellado se aprovecha el mismo plástico color naranja (mulch) que se utiliza para el control de malezas. En el caso de aplicaciones de metam sodio en cultivos al aire libre, en otros países se utiliza una máquina especial (Spalding machine) que aplica el producto y sella el suelo con un plástico transparente.

Tiempo de acción: para obtener un buen resultado de control, el suelo debe mantenerse sellado por un período de 6 a 12 días, dependiendo de la época (Cuadro 1). Pero si los suelos son muy compactos, o bien tienen un alto contenido en materia orgánica, su temperatura es inferior a los 10°C o la humedad es excesiva durante el proceso de desinfección, debe esperarse una semana más, con el fin de asegurar el control.

Tiempo de ventilación: transcurrido el tiempo de acción se deben realizar los hoyos de plantación varios días antes de plantar (Cuadro 1), para ayudar a que no queden residuos en el suelo.

Cuadro 1. Tiempo de acción y tiempo de ventilación de la desinfección de suelo para tomate y pimiento con metam sodio, en invernaderos

Cultivos	Tiempo (días) de acción	Tiempo (días) de ventilación
Primor (invierno)	10-12	10-12
Tardío (verano)	6-8	6-8

DISULFURO DE CARBONO

Ingrediente activo	:	Tetratiocarbamato de sodio (disulfuro de carbono)
Producto comercial	:	Enzone
Formulación	:	Concentrado soluble
Concentración	:	31,8% v/v
Grupo químico	:	Carbamatos
Aspecto	:	Líquido color amarillo, olor similar al amoniaco
Densidad	:	1,26 g/ml
Solubilidad	:	Soluble en agua
Compatibilidad	:	No mezclar con fertilizantes, ni con otros productos de carácter ácido.
Toxicidad aguda		
DL50 (oral en rata)	:	631 mg/kg
DL50 (dérmica en conejo)	:	sobre 2.000 mg/kg

Posee un amplio espectro de acción contra diversos microorganismos del suelo. Se recomienda para el control de nematodos, insectos y hongos. Puede aplicarse en pre y pos trasplante y en cualquier estado del cultivo, respetando las recomendaciones para cada caso.

Forma de acción

El anión tetratiocarbamato de sodio al entrar en contacto con un suelo húmedo, se descompone en disulfuro de carbono, sulfuro de hidrógeno, hidróxido de sodio y azufre. Los dos primeros son tóxicos, pero el principal es el disulfuro de carbono, el cual posteriormente se degrada en su totalidad, liberando azufre y carbono, de modo que no deja residuos en el suelo.

Recomendaciones de aplicación

El disulfuro de carbono puede ser usado en cualquier época del año, siempre que la temperatura del suelo, medida a 10 cm de profundi-

dad, sea mayor de 10°C. Es importante que el suelo esté mullido y húmedo.

Dosis: Aventis Crops Science Chile S. A., representantes del producto en Chile recomiendan aplicar 1.200 ppm (partes por millón) de producto comercial. Para calcular la dosis por hectárea de invernadero aplicada a través del riego, proponen la siguiente ecuación:

$$L = \frac{1.200 \text{ ppm} \times Q_{\text{sist.}} \times T}{400.000}$$

$Q_{\text{sist.}}$ = Caudal del sistema de riego (L/hr/ha)

T = Tiempo en fracción de horas.

L = Litros de producto a aplicar.

En los ensayos del proyecto se usó una dosis del orden de 10 cc/m² (0,01 L/m²) de producto comercial. El cálculo de la cantidad de producto a aplicar en una hectárea de invernadero, se hace utilizando la fórmula indicada.

Sistema de aplicación: se aplica a través del riego por goteo. Teniendo la información del caudal (litros/hora/gotero), número de goteros por superficie y superficie de cobertura, es fácil calcular el tiempo necesario para incorporar la dosis del producto a la concentración deseada. Posteriormente se realiza un riego ligero para lavar el sistema.

Sellado: en los invernaderos para el sellado se aprovecha el mismo plástico color naranja (mulch), que se usa para el control de malezas y para aumentar la temperatura del suelo.

Tiempo de acción: este producto debe permanecer en el suelo entre 5 a 8 días, según la época de cultivo (Cuadro 2).

Tiempo de aireación: cumplido el tiempo de acción, se deben hacer los hoyos de plantación y algunos días antes de plantar (Cuadro 2), para evitar residuos tóxicos en el suelo.

Cuadro 2. Tiempo de acción y tiempo de ventilación de la desinfección de suelo para tomate y pimiento con tetratiocarbamato de sodio, en invernaderos

Cultivos	Tiempo (días) de acción	Tiempo (días) de ventilación
Primor (invierno)	6-8	3-4
Tardío (verano)	5-7	3-4

DAZOMET

Ingrediente activo	: Dazomet
Producto comercial	: Basamid
Formulación	: Microgranulado
Concentración	: 98 a 100%
Grupo químico	: Thiadiazinas
Aspecto	: Microgránulos blanco grisáceos
Solubilidad	: Producto soluble en agua (0,3 g/100 g a 20°C). Solubilidad relativamente buena en acetona y cloroformo.
Toxicidad	
LD50 (dermal)	: 510 mg/kg
LD50 (oral)	: 653 mg/kg
No tiene antídoto específico.	

Dazomet posee un amplio espectro de acción contra nematodos, hongos, insectos del suelo y malezas. Se recomienda en plantas ornamentales, hortalizas, viveros frutales, almácigos, sustratos y transplante. Puede usarse en cualquier época siempre que la temperatura del suelo medida a 10 cm de profundidad, sea superior a 10°C.

Forma de acción

El ingrediente activo es dazomet en contacto con el suelo húmedo ejerce su acción desinfectante, en el proceso de descomposición se

forma una pequeña cantidad de formaldehído, que también es desinfectante. La descomposición del producto depende de la textura del suelo, la temperatura, la humedad y del tiempo de acción. Además incide el estado fisiológico de los organismos a controlar.

Recomendaciones de aplicación

Dosis: en general se recomienda dosis de 40 a 60 g/m² de producto comercial. En tomate y pimiento se ha usado la dosis de 60g/m².

Ejemplo de cálculo de dosis de producto granulado.

Cantidad de producto comercial que se necesita para fumigar una hectárea de invernaderos:

Datos

Nº de naves/ha	:	43
Largo de la nave	:	30 m
Nº de mesas por nave	:	4
Ancho a tratar	:	0,8 m
Dosis	:	60 g/m ²

Entonces

Superficie	:	$30 \times 0,8 \times 4 \times 43 = 4.128 \text{ m}^2$
Kilos de producto	:	$4.128 \text{ m}^2 \times 60 \text{ g/m}^2 = 247,7 \text{ kg}$

Es decir deben aplicarse 247,7 kg de producto comercial por hectárea de invernadero

Sistema de aplicación: se esparce sobre la superficie del suelo en forma manual o con máquina, inmediatamente se incorpora con un rotovator, pues los gases empiezan a formarse en cuanto los gránulos entran en contacto con el suelo húmedo. Dazomet por el hecho de ser microgránulado se puede esparcir con la misma maquinaria con la que se aplica fertilizantes.

Sellado: para mantener la temperatura sobre 10°C y evitar el escape de gas, el suelo se sella con plástico transparente.

Tiempo de acción: son aproximadamente entre 10 y 16 días, de acuerdo a la época de aplicación (Cuadro 3).

Tiempo de aireación: primero se retira el plástico, luego se recomienda remover la tierra, procurando no profundizar más de 20 cm, de tal manera que no se mezcle suelo fumigado con capas inferiores sin desinfectar. Esto permite la disipación de los gases con mayor rapidez y acortar el tiempo de aireación (Cuadro 3) a siete días. Es posible utilizar el mismo implemento utilizado para la incorporación (rotovator). Finalmente una prueba de germinación, con semillas de lechuga, permite determinar si todavía existen trazas de gas en el suelo tratado.

Cuadro 3. Tiempo de acción y tiempo de ventilación de la desinfección de suelo para tomate y pimiento con dazomet, en invernaderos.

Cultivos	Tiempo (días) de acción	Tiempo (días) de ventilación
Primor (invierno)	15–16	15–16
Tardío (verano)	10–12	10–12

Alternativas Físicas

Jorge Carrasco J.
Ingeniero Agrónomo Dr.
Felipe Pastén D.
Ingeniero Agrónomo
José Olavarría M.
Ingeniero Agrónomo
Eduardo Rojas D.
Ingeniero Agrónomo (c)
INIA-Rayentué

Las alternativas físicas para desinfección de suelos y sustratos, probadas en el estudio de tecnologías de reemplazo al bromuro de metilo, corresponden a la aplicación de vapor de agua (vaporización) y la solarización.

La vaporización es un método de esterilización basado en el calor que transfiere el vapor de agua, aplicado con equipos especiales. La solarización, ocupa la energía solar para subir la temperatura de suelos y sustratos. La importancia que se le atribuye a estas tecnologías es el bajo impacto ambiental que representan.

VAPORIZACIÓN DE SUELOS

Los equipos vaporizadores de suelo disponibles en Chile, de fabricación nacional y extranjera (Foto 1), logran una temperatura de aplicación que oscila entre los 70 y 90°C, por un tiempo de proceso que va de 30 a 40 minutos.

Antes de adquirir un equipo es necesario hacer un estudio de factibilidad de uso de este procedimiento en el predio, considerando la facilidad de traslado, suministro de agua, electricidad y combustible.

En la elección del equipo es importante tener en cuenta la capacidad de generación de vapor, la cual determina la superficie que efectivamente se puede tratar por cada proceso de esterilización. Para definir cuál es la capacidad del equipo requerida para una superficie, se debe considerar que para vaporizar a 20 ó 30 cm de profundidad, se necesitan 15 kilos de vapor por metro cuadrado y que un kilo de vapor es producido por un litro de agua con una presión de salida mínima de 30 psi, equivalente a 2 bares de presión. Además, se debe obtener información sobre el rendimiento del equipo o tiempo de proceso y la dotación de mano de obra que requiere en su operación, de modo de lograr aplicaciones oportunas.



Foto 1. Vaporizador de fabricación nacional, apropiado para la inyección de vapor al suelo en invernaderos.

Forma de acción

Las temperaturas obtenidas con este procedimiento (70 a 90°C) destruyen insectos, ácaros, nematodos, hongos y malezas.

El vapor generado por los equipos (Foto 1), se distribuye mediante tubos de fierro galvanizado que se entierran en el suelo, el cual se tapa con una carpa resistente a las altas temperaturas. (Foto 2 y 3, vaporizador con carpas). Con este sistema se puede desinfectar hasta una profundidad de 20 a 25 cm.

Para optimizar el proceso —manteniendo un trabajo constante del equipo—, es recomendable contar con un par de unidades (dos sistemas de tuberías y dos lonas) de aplicación del vapor, que operan con



Foto 2. Sistema de inyección de vapor al suelo.
Obsérvese la capa hermética que impide
pérdidas de vapor desde el suelo.



Foto 3. Ubicación de tuberías y «pipas» de inyección
sobre las mesas de plantación previo a la vaporización.

el mismo equipo vaporizador, en forma alternada (mientras se instala una unidad, la otra ya está funcionando). Con esta implementación se disminuyen los tiempos muertos de la operación (Figura 1).

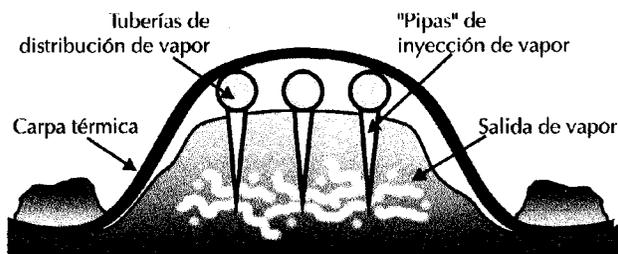


Figura 1. Esquema de flujo de vapor en un sistema de vapor inyectado.

VAPORIZACIÓN DE SUSTRATOS

Los sustratos pueden ser materiales inertes (perlita, arena) u orgánicos (tierra de hoja, humus). En las empresas productoras de plántulas de tomate y pimientos utilizan sustratos que son mezclas de los materiales inertes y orgánicos.

Lo mismo que en los vaporizadores de suelo, para la adquisición de un equipo vaporizador de sustrato, se debe hacer primero un estudio de factibilidad. Para estimar la conveniencia de incorporar este procedimiento al sistema productivo, se considera la cantidad 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, electricidad monofásica y combustible (petróleo).

Respecto al equipo que se va a adquirir, un aspecto importante a considerar es su capacidad de generar vapor, la cual debe ser acorde con el volumen de sustrato que se maneja en el predio. Se necesitan 15 a 20 kilos de vapor por metro cúbico de sustrato.

Forma de acción

El vapor de agua se aplica en un contenedor en el cual se encuentra el sustrato. Los equipos pueden alcanzar una temperatura de aplicación de entre 90 y 100°C, con un tiempo de proceso que varía de 30 a 50 minutos por metro cúbico de sustrato, dependiendo de si el sistema utilizado corresponde a un sistema de vaporización pasiva o vaporización activa.

El proceso normal de aplicación de vapor en contenedores cerrados se denomina vaporización pasiva, es decir, el vapor se mueve y penetra en el sustrato lentamente forzado por su propia presión de entrada.

La vaporización activa, llamada también vaporización a presión negativa, se hace con equipos de proceso pasivo a los cuales se les adiciona un 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 20% y 30%. Con este sistema activo el vapor se distribuye en forma más homogénea y se reduce el costo de desinfección, al requerir menor tiempo de uso de energía (petróleo y electricidad), o sea es más eficiente (Figura 2).

Los equipos vaporizadores de sustratos, nacionales e importados, disponibles en el comercio, no cuentan con la implementación necesaria para trabajar el sistema de vapor activo. En todo caso es fácil adaptarlos, adicionándoles un extractor que se puede construir en maestranzas locales.

Recomendaciones para la vaporización del suelo y sustrato

La vaporización, se realiza antes de la plantación y siembra, con el suelo o el sustrato ni muy seco ni muy húmedo. Investigaciones españolas, aconsejan no iniciar el cultivo hasta después de 6 a 10 días de haber aplicado el tratamiento, ya que se produce una rápida acumulación de nitrógeno amoniacal, por descomposición de la materia orgánica, el cual en exceso es tóxico para las plantas.

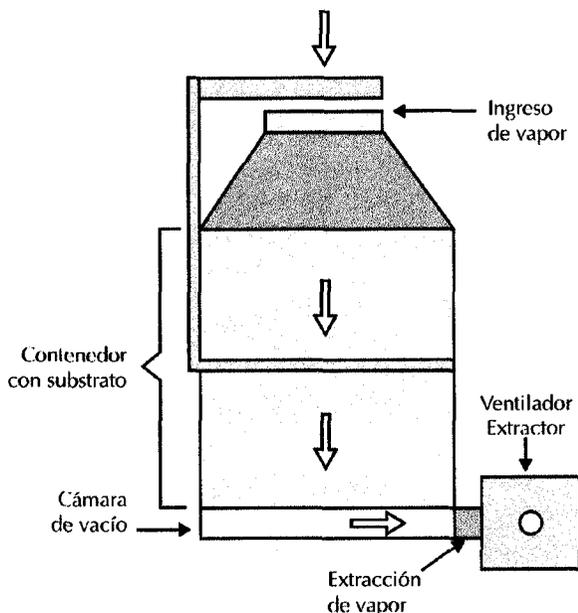


Figura 2. Esquema de flujo de vapor en un sistema de vaporización activa o sistema Barel, diseñado y patentado por Marten Barel, 1993. Consultor holandés del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

(¹ Sistema diseñado y patentado por Marten Barel, 1993. Consultor holandés del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).

Para mantener el sustrato limpio y evitar que se contamine luego de haber sido esterilizado, se requiere de un espacio protegido de trabajo del equipo y almacenamiento del sustrato. El lugar asignado debe contar con un espacio adecuado para que los operadores puedan trabajar sin peligro de accidentes.

No es aconsejable sobrepasar los 90°C; sobre esta temperatura se destruyen organismos benéficos para el suelo, lo que podría originar una rápida proliferación de los microorganismos perjudiciales, posterior a la esterilización.

SOLARIZACIÓN

Es un proceso térmico o de calentamiento del suelo que utiliza la radiación solar. Consiste en cubrir el suelo húmedo con un film de polietileno transparente, durante cuatro a seis 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. Además, la solarización induce una serie de cambios biológicos, físicos y químicos en el suelo modificando positivamente la composición microbiológica del suelo.

La efectividad de la solarización depende de la temperatura que se logra en el suelo, la cual es función de la estructura del suelo, temperatura del aire, humedad del suelo, largo del día, intensidad de la luz solar y de la capacidad del film de polietileno para dejar pasar la luz y retener la energía transmitida (grosor). Algunos autores señalan también, como factores importantes que influyen sobre la efectividad del proceso, el contenido materia orgánica, los tipos de patógenos e insectos presentes, el historial de cultivos del suelo tratado, y todos aquellos componentes propios de la ecología del suelo.

Formas de acción

Los mecanismos a través de los cuales la solarización logra controlar enfermedades, insectos y malezas, son principalmente tres. El más importante es el efecto producido por el golpe de calor que reciben los microorganismos. Luego están la liberación de compuestos volátiles, como amoníaco y anhídrido carbónico, y la modificación de la microflora del suelo, hacia un aumento de organismos benéficos, de los cuales algunos actúan en la descomposición de la materia orgánica y otros son controladores o inhibidores biológicos de los microorganismos perjudiciales que se desea controlar.

Recomendaciones de aplicación

Suelo: el suelo debe estar lo más mullido posible, de modo que quede la mínima cantidad de aire que actúe como aislante, nivelado,

libre de malezas y restos vegetales. De esta forma se tiene las mejores condiciones para el sellado superficial del suelo.

Humedad del suelo: el éxito de la solarización depende en gran medida de la humedad, cuya acción es relevante en la activación de la flora y fauna del suelo. Es decir, rompe la dormancia de estructuras de resistencia, estimulando la germinación de semillas de malezas y el desarrollo de los microorganismos patógenos e insectos, que quedan en un estado de mayor sensibilidad al calor. También permite una más rápida y profunda conducción del calor. Lo recomendable es regar hasta que la humedad alcance por lo menos 60 cm de profundidad y el suelo alcance un 70% de su capacidad de campo.

Temperatura del suelo: la mayor parte de los organismos indeseables existentes en el suelo mueren cuando la temperatura supera los 37°C durante un largo período. Para lograr esa condición y obtener un buen control, es necesario mantener el suelo en solarización por cuatro a seis semanas, puesto que las capas superiores se calientan más rápido e intensamente que las más profundas. Por ejemplo, en Israel, para eliminar entre el 90 a 100% de los esclerocios de *Verticillium dahliae*, mantienen la solarización por 30 a 42 días para alcanzar hasta los 50 cm de profundidad.

La duración del día y la intensidad de la luz solar obviamente afectan las temperaturas del suelo que se pueden obtener durante la solarización, por lo que los meses de verano son los más indicados para realizarla. La variación horaria de las temperaturas del suelo sometido a solarización tienen un efecto importante; durante el día, por efecto del calor, la humedad de las zonas más profundas sube hacia la superficie calentándose (se evapora), por la noche, cuando la temperatura se enfría, la humedad se condensa y baja nuevamente.

Cobertura o sello: la función del plástico es retener la energía calórica del sol y evitar la pérdida de vapor de agua desde suelo hacia la atmósfera, para alcanzar temperaturas entre los 40 y 70°C en el perfil del suelo. El plástico transparente es más eficiente que el negro

porque permite que penetre un mayor espectro de energía luminosa y mientras más transparente es mejor, pero, por razones prácticas, se recomienda que el film sea de un grosor de 150 a 200 micras, de modo que no se rompa y pueda servir para una segunda temporada.

Beneficios de la solarización

Control de enfermedades: muchos organismos causantes de enfermedades son controlados hasta profundidad de 45 cm o más. Resultados de investigaciones extranjeras, sugieren que la reinfección por algunos patógenos de un suelo solarizado es menor que en suelos tratados mediante otras técnicas. Un beneficio importante y adicional se refiere al efecto posterior, es decir, el tiempo que transcurre después de la solarización sin que una enfermedad se manifieste puede durar hasta dos temporadas de cultivo.

Control de malezas: semillas y plantas de un amplio espectro de malezas anuales y perennes son controladas con solarización del suelo. La sensibilidad de las malezas a la solarización es variable en función de la estructura de su semilla o estado y profundidad de crecimiento. Las semillas más resistentes requieren para su control una humedad óptima, un ajuste perfecto del plástico sobre la superficie del suelo y una alta radiación por más de 40 días.

Reduce efectivamente las poblaciones de nemátodos, pero es función de las temperaturas letales que se alcancen en profundidad y del grado y profundidad de infestación inicial. Los nemátodos generalmente son más tolerantes al calor y el control de ellos es menos efectivo en profundidades superiores a los 30 cm.

Las plantas que crecen en suelo solarizado frecuentemente se desarrollan más rápido y tienen mejores rendimientos y mejor calidad comparadas con las que crecen en suelo no tratado. Otros beneficios que se consiguen con el solarizado, es el aumento de la disponibilidad de algunos nutrientes solubles para las plantas, especialmente nitrógeno. También, algunos microorganismos benéficos, tales como

micorrizas, *Trichoderma* spp, actinomicetes y ciertas bacterias, que sobreviven al proceso, recolonizan rápidamente el suelo. Esto a su vez contribuye a un control biológico de patógenos y pestes y estimula el crecimiento y protección del cultivo.

Limitaciones

Una limitante de la solarización es la oportunidad de control. Si bien en un suelo solarizado en enero y febrero se obtiene un buen control de patógenos para cultivos primores que se plantan en mayo y junio, no sucede lo mismo con los cultivos de primavera y verano en que se debe esperar entre seis a ocho meses antes de usar el suelo solarizado y que debe permanecer durante el otoño e invierno sin manejo, período en que puede ocurrir una reinfestación por aguas de escurrimiento o de otros agentes climáticos o bióticos.

Alternativas Orgánicas

Jorge Carrasco J.

Ingeniero Agrónomo Dr.

Felipe Pastén D.

Ingeniero Agrónomo

Liliannette Droguett I.

Ingeniero Agrónomo

Entre las opciones orgánicas de desinfección de suelos se validó la biofumigación con materia orgánica y la aplicación del producto orgánico Champon-at, que está en proceso de registro en Chile (aún no se comercializa). Este último es un buen controlador de hongos y nematodos.

BÍOFUMIGACIÓN CON RESIDUOS AGRÍCOLAS

La biofumigación del suelo es una técnica que permite utilizar la materia orgánica (residuos agrícola y guanos, Foto 1), así como los productos de su descomposición, en el control de los patógenos presentes en el suelo. Adicionalmente se utiliza urea en dosis controladas, para balancear la relación carbono/nitrógeno en la descomposición de la materia orgánica, y aprovechar el amonio que libera este fertilizante en el suelo, como complemento al control de patógenos.



Foto 1. Residuos picados de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Material apropiado para biofumigación.

Es de un costo relativamente bajo y de fácil aplicación, lo que puede ser de gran interés en cultivos de bajo retorno económico, particularmente en producciones hortícola de pequeños agricultores. Además puede resultar una técnica interesante para quienes se dedican a la producción orgánica.

Forma de acción

La biofumigación, es una alternativa basada en principios similares de fumigación al bromuro de metilo, con la única diferencia de que en este caso los gases liberados provienen de la descomposición de materia orgánica. La alta temperatura que se origina del proceso de descomposición, potencia su efecto sobre los microorganismos del suelo.

Cuando se aplica materia orgánica al suelo se produce una secuencia de cambios microbiológicos. Al principio se produce una proliferación de microorganismos que se nutren y obtienen energía de la materia orgánica, iniciando su descomposición. Durante la descomposición, se estimula el desarrollo de otros organismos, tanto benéficos como perjudiciales (hongos nematófagos, nematodos predadores de nematodos fitoparásitos, lombrices, nematodos omnívoros, hongos, protozoos, algas y otros organismos).

La acción de microorganismos en la materia orgánica durante su descomposición, origina una gran cantidad de productos químicos que participan en el control de los patógenos del suelo. El amonio, nitratos, ácido sulfídrico, 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.

La adición de urea, junto con la materia orgánica, además de aumentar los niveles de nitrógeno del sustrato orgánico, incrementa la cantidad de amonio, y por lo tanto su efecto nematicida. Sin embargo, se debe tener cuidado en la cantidad que se agregue, puesto que un exceso puede desbalancear la relación nitrógeno/carbono. La metabolización del nitrógeno, en su transformación a proteínas y otros

compuestos, depende del carbono y de los microorganismos. El carbono es el componente principal de la materia orgánica y si se agrega mucho nitrógeno amoniacal, el carbono podría no ser suficiente para la metabolización del nitrógeno. En esas condiciones se acumularía amonio y nitratos en exceso, causando toxicidad a las plantas.

En biofumigación se han probado varios tipos de materia orgánica para el control de nematodos del suelo, hongos fitoparásitos y malezas, con buenos resultados, especialmente en el control de nematodos. Entre ellos: güano de vacuno, estiércol de pavo, residuos de plantas con componentes alelopáticos.

Recomendaciones

Es recomendable que el agricultor incorpore en sus sistema la producción de especies crucíferas al aire libre, como repollo, brócoli, las cuales le proporcionarán el material vegetal necesario para la realización de la biofumigación en la próxima temporada.

Para que los tratamientos de biofumigación sean eficaces, se requiere añadir de 5 a 10 kg de residuos orgánicos por cada 10 m² de suelo, condición que limita su uso a la posibilidad de disponer de materia prima suficiente y al costo de transporte.

La cantidad de urea a aplicar depende del material vegetal que se utilice. Puede variar entre 0,5 y 1 kilo de urea por cada 10 a 20 kilos de material vegetal fresco y trozado.

La incorporación de materia orgánica en el suelo debe complementarse con un riego para mantener húmedo el material incorporado, y cubiertas plásticas, con el propósito de captar energía solar, mantener la humedad y retener los gases en el interior del suelo durante el proceso.

Para resolver problemas posteriores de toxicidad para las plantas de tomate y pimiento que pueden presentarse por el uso de esta técnica

ca, se recomienda usar diferentes especies hortícolas, como lechugas (semillas o platines), las cuales reaccionan rápidamente ante la presencia de sustancias tóxicas en el suelo derivadas de la biofumigación.

Consideraciones ambientales

La biofumigación no tiene efectos negativos en el medio ambiente o en la salud de los consumidores. No tiene limitación en su uso en producción integrada o agricultura ecológica. El problema más importante es la variabilidad de los residuos orgánicos.

Allil Isotiocianato - capcin, capsinoides

Ingrediente activo	:	<i>Allil isotiocianato 3,7%</i> <i>Capcin y capsinoides 0,42%</i>
Nombre del producto	:	Champon - AT
Formulación	:	Concentrado soluble
Concentración	:	4,12 v/v
Aspecto	:	Líquido color marrón
Densidad	:	0,95 a 1 g/L
Solubilidad	:	100% en agua
Compatibilidad	:	Compatible con la mayoría de los pesticidas.
Estabilidad	:	Estable
Toxicidad aguda	:	
LD 50 (oral en rata)	:	sobre 5.000 mg/kg

Champon-at esta recomendado para el control de nematodos, hongos y algunas malezas en germinación. Es un producto orgánico desinfectante de suelos destinados a todo tipo de cultivos, especialmente hortícolas. Puede ser aplicado en cualquier época del año, antes de la plantación o siembra. No se recomienda para cultivos establecidos, porque afecta severamente el desarrollo y crecimiento de las plantas, incluso puede causarles la muerte.

Forma de acción

Es un producto certificado para agricultura orgánica, cuyos ingredientes activos son derivados de aceites esenciales de mostaza (*allil isotiocianato*) y de pimiento (*capcin* y *capsinoides*)

Recomendaciones de aplicación

Preparación del terreno: se debe eliminar completamente los restos de cultivos anteriores. Arar y rastrear a una profundidad de 25 a 30 cm, dejando el terreno suelto y sin terrones ni costras superficiales. Un suelo mullido permite una mejor movilidad del producto.

Humedad del suelo: en el momento de la aplicación el suelo debe tener una humedad media, equivalente a la humedad considerada óptima para la siembra o plantación.

Temperatura del suelo: la temperatura del suelo para efectuar la desinfección debe ser superior a 10°C.

Dosis: se recomiendan dosis de 10 a 15% de la solución aplicada. El procedimiento normal de preparación de la mezcla debe considerar la inyección de Champon-at (*allil isotiocianato – capcin, capsinoides*) de acuerdo al volumen de agua entregado por el sistema de riego en la superficie a tratar.

Primero se calcula el volumen de agua que se aplica por unidad de tiempo y luego se multiplica por 0,10 ó 0,15, para obtener la cantidad en litros de producto que es necesario aplicar en la superficie a desinfectar.

Ejemplo: Cantidad de producto comercial que se necesita para fumigar una hectárea de invernaderos.

Datos

- Nº de naves/ha : 43
- Nº de mesas por nave : 4
- Ancho de mesas : 0,8 m
- Nº de cintas de riego por mesa : 2
- Largo de la nave : 30 m
- Caudal de los goteros por metro lineal (Q L/hr) : 4 L/hr
- Tiempo de inyección del producto : 70 min.
- Q de inyección del producto (caudalímetro) : 10 L/min
- Dosis : 10%

Entonces

Caudal : $43 \times 4 \times 2 \times 30 \times 4 = 41.280 \text{ L/ha}$

En un suelo de textura franco arcillosa, se asume que el tiempo de formación del bulbo húmedo, es de 120 minutos. Si se inyecta el producto en el último 1/10 del tiempo de formación del bulbo, corresponde a los últimos 12 minutos (0,2 horas).

Entonces:

$41.280 \text{ L/ha} \times 0,2 \text{ hr.}$

$8.256 \text{ L} \times 0,10 (10\%) = 825,6 \text{ L de Champon-at}$

Si consideramos una superficie efectiva (S ef) cultivada igual a:

$S_{ef} = N^\circ \text{ naves} \times \text{largo de la nave} \times N^\circ \text{ de mesas por nave} \times \text{ancho de mesas}$

$S_{ef} = 43 \times 30 \times 4 \times 0,8$

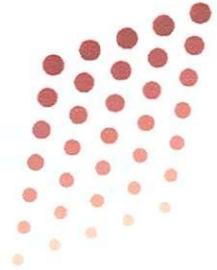
$S_{ef} = 4.128 \text{ m}^2$

Por lo tanto, la dosis aplicada es,

Dosis de Champon-at = $\frac{825,6 \text{ L}}{4.128 \text{ m}^2} = 0,2 \text{ L/m}^2$

Sistema de aplicación: se aplica a través del riego por cinta o goteo. Luego de la aplicación se realiza un riego ligero para lavar el sistema y sellar el suelo.

Tiempo de acción: de acuerdo a trabajos realizados por INIA, se estableció que para nuestras condiciones de suelo y clima, el periodo de espera normal para que este producto ejerza su acción desinfectante es de 4 a 7 días según la temperatura ambiente. Una vez transcurrido ese periodo, es posible realizar el establecimiento de plantines de tomate o pimiento.



RESULTADOS TÉCNICOS

Los ensayos de validación y demostración de tecnologías alternativas al bromuro de metilo para desinfección de suelo y sustratos, se llevaron a cabo durante dos temporadas (2000/01 y 2000/02), en las localidades más importantes en producción de tomates y pimientos, de las regiones V, Metropolitana y VI. El grueso de las actividades se concentró en Quillota y Limache, donde se encuentra la mayor superficie de cultivo de tomate bajo invernaderos y, por lo tanto, el mayor centro de consumo de bromuro de metilo del país.

Se trabajó en 14 campos de productores, pequeños y medianos, y en dos Centros Regionales de Investigación del INIA.

Con el objeto de dar a conocer las tecnologías evaluadas se realizaron diversas actividades de transferencia y difusión: seminarios, días de campo, charlas técnicas, entre otras. En la V Región, para este fin, se contó con la colaboración del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)

La efectividad del control, de los tratamientos químicos, físicos u orgánicos, se evaluó en lugares o predios que presentaban problemas sanitarios en el suelo, principalmente nematodos y hongos, como *Pyrenochaeta lycopersici* (causante de raíz corchosa), *Fusarium* (fusariosis), *Verticillium dahliae* (verticilosis) y *Phytophthora* (pudrición del cuello). En el caso de los hongos patógenos, para cuantificar más exactamente el grado de control, se trabajó también con fuentes artificiales de inóculo puestos en el suelo. Posteriormente, el efecto de los tratamientos se evaluó por rendimiento comercial y total cosechado.



Ensayo en invernadero en pimiento.
Repetición de u tratamiento de aplicación
de vapor al suelo por 30 minutos.

Nivel de control de Patógenos en el Suelo

José Olavarría M.

Ingeniero Agrónomo

Alicia Bruna V.

Ingeniero Agrónomo M.Sc.

Felipe Pastén D.

Ingeniero Agrónomo

La agricultura intensiva, normalmente se caracteriza por ser de monocultivos, sistema que potencia la manifestación de enfermedades y patógenos de suelos y dificulta el control. Es lo que pasa con la producción de tomate en invernadero, de flores de corte y de otras hortalizas, donde no se puede prescindir de tratamientos de desinfección y hasta la fecha lo más usado es el bromuro de metilo.

En este estudio se midió la efectividad del control, de las distintas opciones de esterilización, químicas, físicas y orgánicas, sobre los principales hongos patógenos de tomate (*Fusarium oxysporum*, *Pyrenochaeta lycopersici*, *Rhizoctonia solani* y *Verticillium dahliae*) y pimiento (*F. oxysporum* y *R. solani*), que afectan a estos cultivos al aire libre y en invernadero, en la zona central del país.

Como no es fácil determinar el nivel de patógenos presentes naturalmente en el suelo —conocimiento necesario para poder medir la eficacia de control de las tecnologías que se apliquen—, en el laboratorio del Centro Regional de Investigación La Platina, a un suelo se incorporó, en forma artificial, hongos patógenos de tomate y pimiento, cultivados sobre semillas de avena, que según la literatura, es el sustrato más adecuado para mantener viables muestras de patógenos.

Preparación del sustrato: primero las semillas se hidrataron por 24 horas en agua potable, luego se eliminó el agua y se pusieron en

conteniendo 125 g de semillas cada una, se esterilizaron en autoclave por tres veces, a 121°C por 20 minutos, con intervalos de 48 horas, agregando siempre agua destilada estéril para mantener una adecuada humedad en la semilla. Una vez realizadas las esterilizaciones, las bolsas con semilla se dejaron a temperatura ambiente por cuatro días con la finalidad de observar posibles contaminaciones.

Preparación y multiplicación de inóculo: para obtener una fuente importante y segura de los patógenos a evaluar, se multiplicó cada especie en placas de Petri, sobre agar papa dextrosa, incubándolas por 72 horas en una cámara de cultivo a 24°C. Posteriormente, se introdujeron pedazos de cultivo del hongo en las bolsas con avena esterilizada, las que se mantuvieron por 15 días en cámaras de cultivo a 24°C. Por último las bolsas se dejaron, por 15 días más, a temperatura ambiente.

Preparación y postura de mallas en el campo: en mallas elásticas de 15 cm, anudadas en los extremos, se pusieron 20 semillas contaminadas con hongo. Para facilitar la recolección e identificación en el campo, cada malla se amarró por un extremo con cuerdas plásticas de distinto color. Además, cada especie de hongo se identificó con el número del tratamiento y repetición, impreso en papel plastificado, el cual se puso dentro del saco y en el extremo de la cinta de color. Los sacos se colocaron a una profundidad de aproximadamente 20 cm, distribuidos en el campo sobre la mesa del cultivo, para los distintos tratamientos que se aplicaron al suelo.

Recuperación de muestras (mallas): las muestras se retiraron a los 30 días después de los tratamientos del suelo. En el laboratorio de Fitopatología del CRI La Platina, se lavaron con agua potable y luego con agua destilada hasta eliminar toda la tierra. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5% por un minuto y se dejaron secar en papel absorbente antes de sembrarlas en un medio de cultivo selectivo. Las placas se incubaron a 24°C durante 72 horas momento en que se cuantificó, bajo observación microscópica, la sobrevivencia de los distintos patógenos en las 20 semillas.

Los ensayos se realizaron en el CRI La Platina, Región Metropolitana, en cultivos de tomate y pimiento bajo plástico y al aire libre. En un suelo de textura franco arcillo arenosa, con un diseño estadístico de bloques completamente al azar con tres repeticiones. En todos los experimentos se dispuso de un testigo, sin tratar. La preparación de suelo siguió un manejo tradicional, con cobertura de mulch plástico y sistema de riego por cinta.

Análisis del los resultados de control

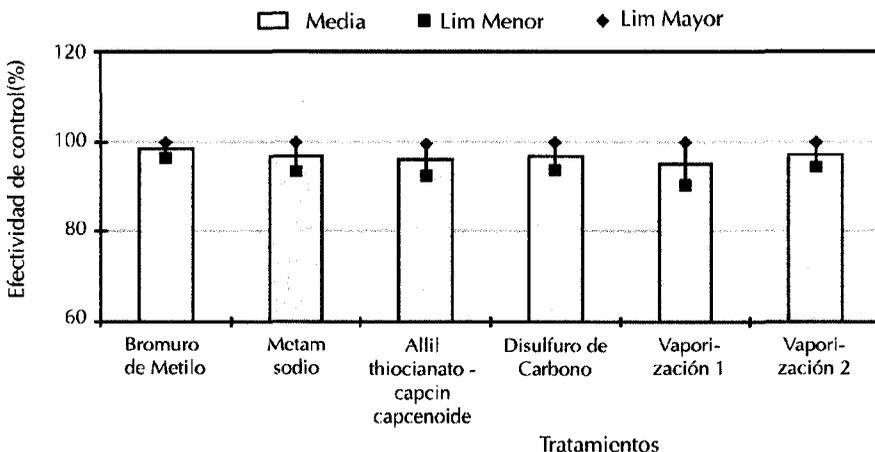
Tomate: los tratamientos utilizados para el control de los hongos patógenos de tomate se indican en el Cuadro 1. Las dosis corresponden al producto comercial señalados entre paréntesis. Las mediciones de control se hicieron a los 30 días de haber aplicado los tratamientos.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados al suelo para el control de hongos patógenos del tomate.

Tratamientos	<i>Verticillium dahliae</i>	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	<i>Fusarium oxisporum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
	Dosis			
1. Bromuro de metilo	68 g/m ²			
2. Metam sodio (BL-1480)	100 cc/m ²	120 cc/m ²		
3. <i>Allil thiocianato-capcin capcenoide</i> (Champon-at)	10%			
4. Disulfuro de carbono (Enzone)	1.200 ppm			
5. Dazomet (Basamed)				60g/m ²
6. Vaporización 1	Vapor inyectado por 30 min. y ventilación por 24 horas			
7. Vaporización 2	Vapor inyectado por 30 min. y ventilación por 48 horas			

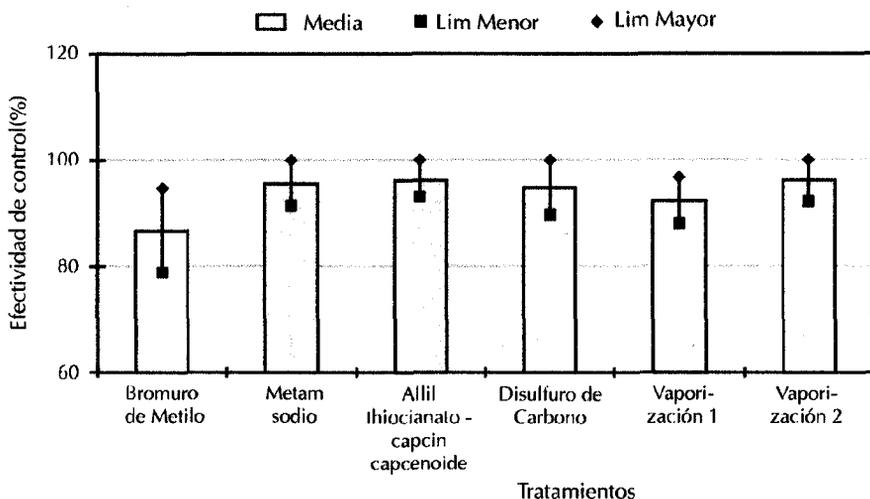
Como se observa en las figuras 1,2,3 y 4, no existen diferencias significativas entre el nivel de control de los distintos hongos patógenos del tomate, obtenido con las alternativas probadas y el bromuro de metilo. En los casos de *V. Dahliae* (figura 1), *P. lycopersici* (Figura 2) y *R. solani* (Figura 4) se observa un nivel de control superior a 95%. En tanto que en *F. oxisporum* (Figura 3) son algo menor.

Figura 1. Efectividad de tratamientos a los 30 días para el control de *Verticillium dahliae* inoculado al suelo (20 cm profundidad). Ensayo en tomate. INIA- La Platina. Temporada 2000-2001.



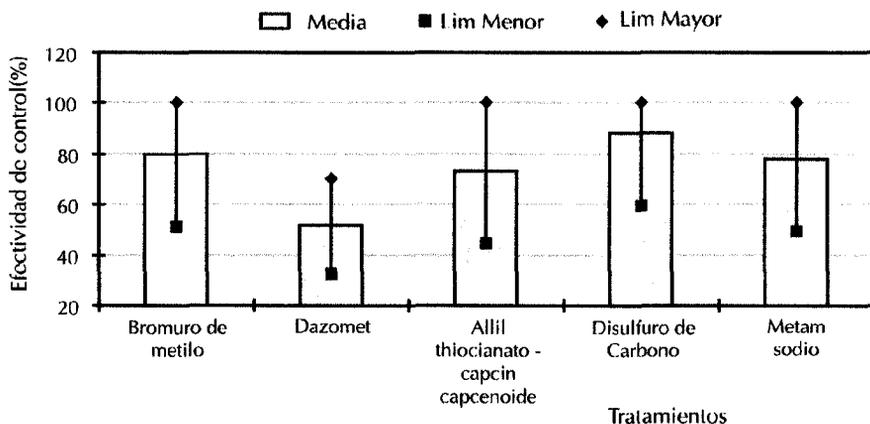
ANDEVA con $P \leq 0,05$ no indicó diferencias estadísticamente significativas

Figura 2. Efectividad de tratamientos a los 30 días para el control de *Pyrenochaeta lycopersici* inoculado al suelo (20 cm profundidad). Ensayo en tomate. La Pintana. INIA-La Platina. Temporada 2000-2001.



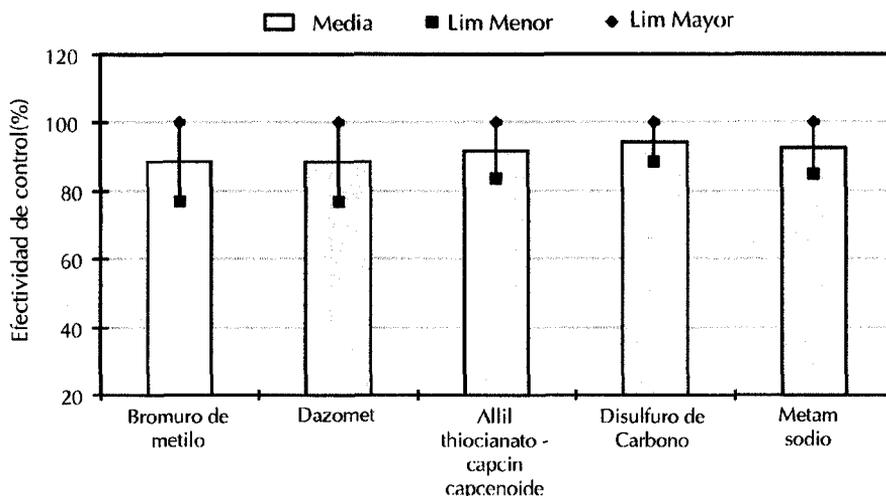
ANDEVA con $P \leq 0,05$ no indicó diferencias estadísticamente significativas

Figura 3. Efectividad de tratamientos a los 30 días para el control de *Fusarium oxysporum* inoculado al suelo (20 cm profundidad). Ensayo en tomate. La Pintana. INIA-La Platina. Temporada 2000-2001.



ANDEVA con $P \leq 0,05$ no indicó diferencias estadísticamente significativas

**Figura 4. Efectividad de tratamientos a los 30 días para el control de *Rhizoctonia solani* inoculado al suelo (20 cm profundidad).
Ensayo en tomate. La Pintana. INIA-La Platina.
Temporada 2000-2001.**



ANDEVA con $P \leq 0,05$ no indicó diferencias estadísticamente significativas.

Pimiento: en el Cuadro 2 se señalan los tratamientos aplicados para el control de hongos patógenos que afecta al pimiento.

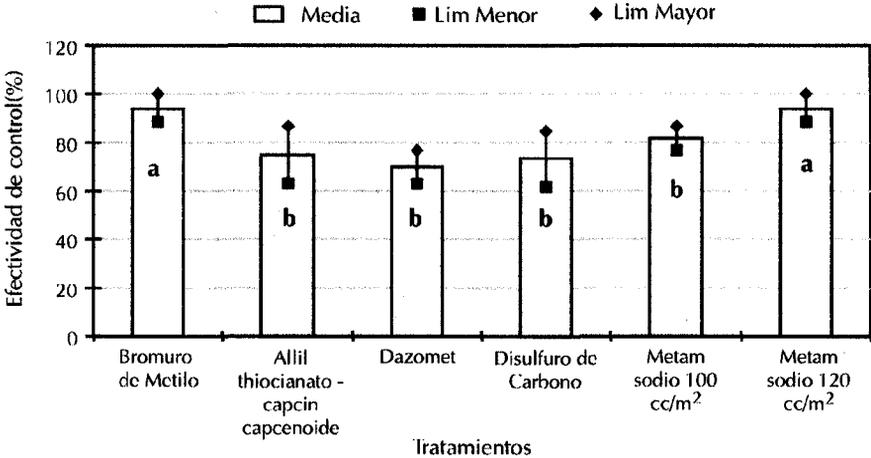
Cuadro 2. Tratamientos aplicados al suelo para el control de hongos patógenos del pimiento

Tratamientos	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
	Dosis	
1. Bromuro de metilo	68 g/m ²	
2. <i>Allil thiocianato–capcin capcenoide</i> (Champon–at)	10%	
3. Dazomet (Basamid)	60 g/m ²	
4. Disulfuro de carbono (Enzone)	1200 ppm	
5. Metam sodio (BL–1480)	100 cc/m ²	
6. Metam sodio (BL–1480)	120 cc/m ²	

En las figuras 5 y 6 se observan los resultados de control de *F. oxysporum* y *R. solani* pimientos, respectivamente. En el control de *Fusarium* las diferencias significativas indican una mayor efectividad del bromuro de metilo y el metan sodio en dosis de 120 cc/m², ambos superan el 94% de control, mientras que con los otros tratamientos este fue de alrededor del 80% (Figura 5). Las efectividades de los distintos fumigantes utilizados en el control de *R. solani* no indicaron diferencias estadísticas entre ellos y se obtuvieron valores que oscilaron entre 83 y 100 % de control (Figura 6).

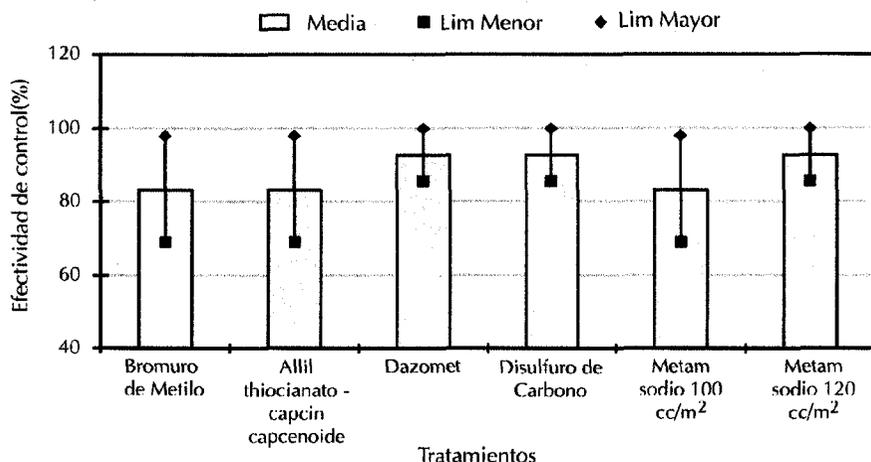
Es importante señalar que en todos los ensayos, tanto de tomate como de pimiento, se recuperó entre un 90 y un 100 % de la población de patógenos inoculados en el testigo (sin aplicación). Esto demuestra que los valores de efectividad obtenida con los distintos tratamientos se debió exclusivamente al efecto de dichos tratamientos y no a otras causas que hubiesen podido influir.

Figura 5. Efectividad de tratamientos a los 30 días para el control de *Fusarium oxysporum* inoculado al suelo (20 cm profundidad). Ensayo en pimiento. La Pintana. INIA-La Platina. Temporada 2000-2001.



Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según Duncan ($P \leq 0,05$)

Figura 6. Efectividad de tratamientos a los 30 días para el control de *Rhizoctonia solani* inoculado al suelo (20 cm profundidad). Ensayo en pimiento. INIA- La Platina. Temporada 2000-2001.



ANDEVA con $P \leq 0,05$ no indicó diferencias estadísticamente significativas

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que, de los hongos patógenos del tomate estudiados, *F. oxysporum* es el menos sensible a los tratamientos aplicados. No obstante la variabilidad de las respuestas —expresadas en los intervalos de confianza—, el análisis estadístico no expresó diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual indica que este hongo puede ser controlado con cualquiera de los productos probados, con la misma efectividad del bromuro de metilo.

Para los otros patógenos (*R. solani*, *P. lycopersici* y *V. dahliae*) al no existir diferencias estadísticamente significativas entre la efectividad de control obtenido con los distintos tratamientos, incluido el bromuro de metilo, se puede decir que este último puede ser sustituido por dazomet, alil tiocianato–capcin capcenoide, disulfuro de carbono o metam sodio.

En pimiento, el control de *F. oxysporum* fue estadísticamente mejor con la aplicación de bromuro de metilo y metam sodio 120 cc/m² que el obtenido con los otros productos. Para el control de *R. solani* todos los productos evaluados presentaron un mismo grado de efectividad y superior al 90%. Luego, lo mismo que en tomate, el bromuro de metilo puede ser reemplazado en el control de estos hongos.

Tanto en tomate como en pimiento, este estudio debiera repetirse con la misma metodología, en distintas condiciones de suelo, para precisar y seleccionar con más antecedentes las mejores tecnologías.

Ensayos de producción de tomate y pimiento bajo diferentes tratamientos de desinfección de suelos

Felipe Pasten D.
Ingeniero Agrónomo
Jorge Carrasco J.
Ingeniero Agrónomo Dr.
José Olavarría M.
Ingeniero Agrónomo

PIMIENTO EN INVERNADERO

En un predio de la localidad de Santa Rosa, comuna de Limache, V Región, se compararon seis tratamientos de esterilización de suelo (Cuadro 3) para pimiento, variedad Calaorra. El área de ensayo cubrió 994 m² de invernadero, cultivado con tomate la temporada anterior.

En el tratamiento con vapor de agua (T1) la presión de trabajo del equipo vaporizador fue de 45 psi y la temperatura varió entre 70 y 85°C. Los productos disulfuro de carbono (T2), metam sodio (T4) y allil tiocianato–capcin, capsenoide (T6) se aplicaron por el sistema

Cuadro 3. Dosis y fechas de aplicación de tratamientos de esterilización de suelos, y fecha de plantación de pimiento variedad Calaorra, en invernadero. Limache, V Región, (2001).

Tratamiento	Dosis	Aplicación	Plantación
T1. Vapor de agua inyectado	por 30 min	05-06-01	15-06-01
T2. Disulfuro de carbono	1200 ppm	08-06-01	15-06-01
T3. Testigo sin aplicación	—	—	15-06-01
T4. Metam sodio	120 cc/m ²	02-06-01	15-06-01
T5. Bromuro de metilo	62 g/m ²	01-06-01	15-06-01
T6. Allil tiocianato			

de riego por goteo. El manejo del cultivo, incluidos el programa fitosanitario, riego y fertilización, fue realizado según el programa del agricultor.

Resultados

Se evaluó la totalidad de las cosechas realizadas durante todo el período productivo. Los rendimientos obtenidos en los tratamientos realizados con bromuro de metilo y metam sodio fueron estadísticamente similares entre si y superiores a los de los otros tratamientos (Figura 7). Las diferencias significativas se expresan en las producciones de frutos de primera (Figura 8), no así en la de frutos de segunda.

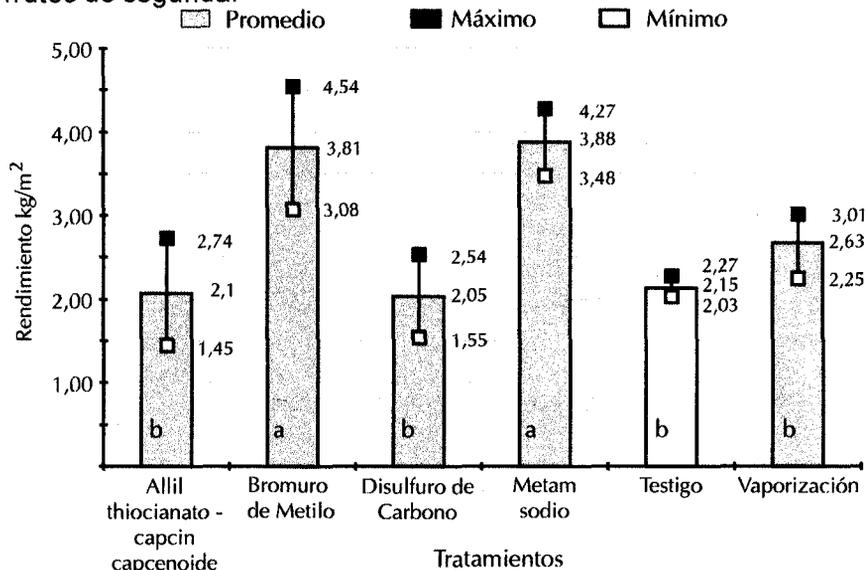


Figura 7. Efectos de diferentes tratamientos de desinfección de suelo sobre la producción total del cultivo de pimientos bajo invernadero, Limache V Región, Temporada 2001. Datos expresados como valores promedio por tratamiento.

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según Duncan ($P \leq 0,05$)

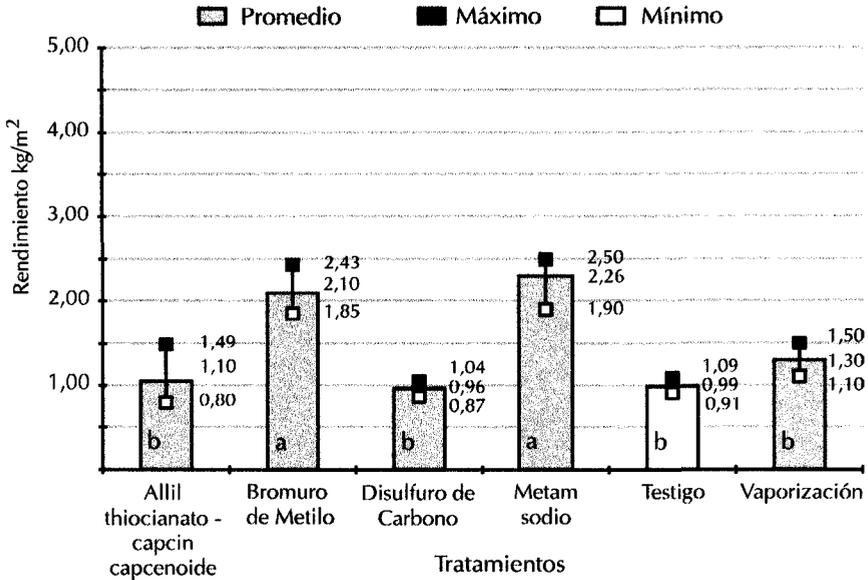


Figura 8. Efectos de diferentes tratamientos de desinfección de suelo sobre la producción de frutos de primera. Cultivo de pimientos bajo invernadero, Limache V Región, Temporada 2001. Datos expresados como valores promedio por tratamiento.

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según Duncan ($P \leq 0,05$)

ALMÁCIGOS DE TOMATE

En el Centro Regional de Investigación La Platina, comuna La Pintana, RM, en un área de ensayo de 50 m², ocupado anteriormente con alfalfa, se aplicaron cinco tratamientos de desinfección de suelos, incluido un testigo sin aplicación, para el establecimiento de almácigos de tomate, variedad estándar Cal Ace (Cuadro 4), de crecimiento determinado. Todos los tratamientos fueron aplicados 17 días antes de la siembra del almácigo.

Se sembraron 40 semillas por metro lineal, o sea con una densidad de 400 semillas por metro cuadrado.

Cuadro 4. Dosis y fechas de aplicación y siembra de tratamientos de desinfección de suelos probados para almácigo de tomate, variedad Cal Ace. La Pintana, Región Metropolitana (2002).

Tratamiento	Dosis	Aplicación	Plantación
T1 Testigo sin aplicación	—	—	30-11-02
T2 Allil thiocianato– capcin capcenoide	10%	13-11-02	30-11-02
T3 Metam sodio	120 cc/m ²	13-11-02	30-11-02
T4 Disulfuro de carbono	1200 ppm	13-11-02	30-11-02
T5 Bromuro de metilo (bombona)	68 gr/m ²	13-11-02	30-11-02

Resultados

A los 5, 15 y 30 días después de la siembra se evaluó el número de plantas emergidas/m² y altura de plantas. A los 30 días también se hizo un recuento del número de plantas de malezas.

A los 26 días, el número promedio de semillas de tomate germinadas por metro cuadrado (Figura 9), mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos y el testigo sin aplicación. Mientras que en este último se obtuvo una germinación inferior al 75%, en los tratamientos varió entre un 86,5% el más bajo (T2) y 97,5% el más alto (T3).

Respecto a la altura de plantas no se observó diferencias entre los tratamientos, incluido el testigo. Las alturas alcanzaron en promedio a 1,3 cm a los 5 días; 3,2 cm a los 15 días y a 31,3 cm, a los 30 días después de la siembra, alturas normales en un almácigo sin problemas.

El control de malezas con los tratamientos de metam sodio y allil thiocianato–capcin capcinoide, aunque fue inferior a la de bromuro de metilo, estadísticamente es similar con estos tres productos (Figura 10).

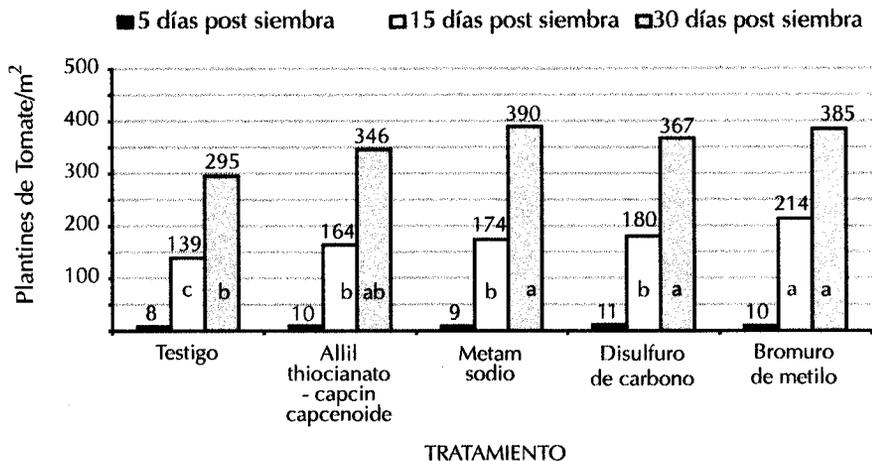


Figura 9. Población de plantines de tomate en almácigo. Efecto de cuatro tratamientos de desinfección de suelo en el CRI L a Platina. Temporada 2000. Datos expresados como valores promedio por tratamiento por fecha de evaluación.

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según Duncan ($P \leq 0,05$) para la segunda y tercera fecha de muestreo.

ANDEVA ($P \leq 0,05$) indicó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la primera fecha de muestreo.

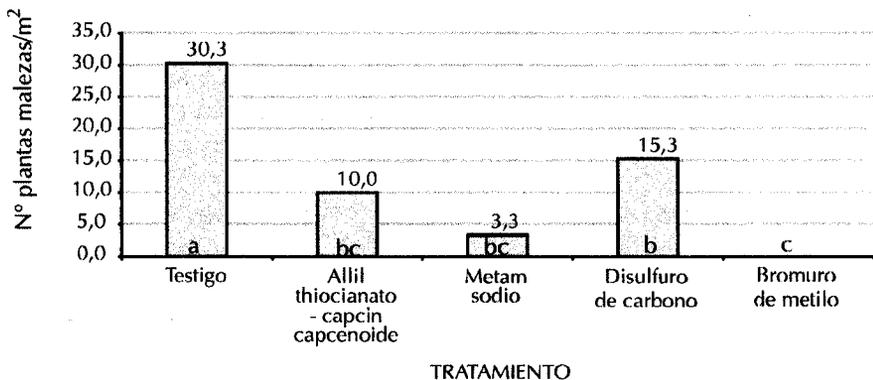


Figura 10. Población de malezas en almácigos el CRI La Platina. Recuento de plantas de malezas según cuatro tratamientos de desinfección de suelo. Temporada 2000. Datos expresados como valores promedio por tratamiento por fecha de evaluación.

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según Duncan ($P \leq 0,05$).

TOMATE EN INVERNADERO

La información que se desarrollo a continuación corresponde a cuatro ensayos realizados en las comunas de Quillota y Limache, V Región, en los años 2000 y 2001.

Ensayo 1

En la localidad de El Troncal, comuna de Quillota, V Región, en una superficie de 735 m² de invernadero, se realizó un ensayo de desinfección de suelo para tomate. Se usó la variedad FA-593, de hábito de crecimiento indeterminado, apropiada para cultivo entutorado. Se compararon cuatro tratamientos (Cuadro 5). La temporada anterior este suelo había sido utilizado con tomate.

El bromuro de metilo se aplicó con el equipo inyector del predio, lo que permitió ventilar al tercer día de la aplicación. Con el uso de equipos inyectores se disminuyen los tiempos de aplicación y ventilación, con relación al uso de bromuro de metilo en bombonas. Metam sodio, disulfuro de carbono y allil thiocianato-capcin capcenoide fueron aplicados por el sistema de riego por goteo.

El trasplante se realizó a los 11, 17, 13 y 12 días, para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente (Cuadro 5). La distancia de plan-

Cuadro 5. Dosis y fechas de aplicación de desinfección de suelos, y fecha de trasplante en invernadero de tomate, variedad FA-593. El Troncal, Quillota, V Región (2001).}

Tratamiento	Dosis	Aplicación	Plantación
T1 Bromuro de metilo inyectado	30 gr/m ²	25-01-01	05-02-01
T2 Metam sodio	120 cc/m ²	18-01-01	05-02-01
T3 Disulfuro de carbono	1200 ppm	23-01-01	05-02-01
T4 Allil thiocianato - capcin capcenoide	10 %	24-01-01	05-02-01

tación fue de 0,30 m sobre la hilera y 1,2 m entre las hileras. El manejo del cultivo, además del programa fitosanitario, riego y fertilizaciones fueron realizados según el programa de labores del agricultor.

Resultados: la evaluación se realizó sobre la producción de tomate, total y de primera. También se midió la presencia de nematodos en las raíces del cultivo.

Respecto a la producción, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, ya sea en producción total o comercial, las cuales fueron de alrededor de 16 y 13 kg/m², respectivamente. Lo mismo ocurrió con la presencia de daño de nematodos en raíces, en que en todos los casos se observó un nivel de nodulación inferior a 1 (nódulos escasos y pequeños difíciles de encontrar), según la escala hedónica, propuesta por Bridge y Page (1980), que mide este parámetro entre 1 y 10.

Ensayo 2

Este ensayo se ubicó en la localidad de Lo Varela, comuna de Quillota. Se probaron cinco tratamientos de desinfección de suelo (Cuadro 6), en una superficie de 1.104 m² de invernadero para tomate variedad Fortaleza.

Cuadro 6. Dosis y fechas de aplicación de desinfección de suelos, y fecha de trasplante en invernadero de tomate, variedad Fortaleza. Lo Varela, Quillota, V Región (2001)

Tratamiento	Dosis	Aplicación	Trasplante
T1 Metam sodio	80 cc/m ²	30-06-01	10-07-01
T2 Metam sodio	120 cc/m ²	30-06-01	10-07-01
T3 Allil tiocianato -capcin capcenoide	10 %	07-07-01	10-07-01
T4 Bromuro de metilo en bombona	58 g/m ²	30-06-01	10-07-01
T5 Disulfuro de carbono	1200 ppm	03-07-01	10-07-01

Los tratamientos 1, 2, 3 y 5 fueron aplicados a través del sistema de riego por goteo. Entre la aplicación y el trasplante de los tratamientos con metan sodio y bromuro de metilo transcurrieron 10 días. El tratamiento con allil thiocianato–capcin capcenoides se aplicó 3 días antes y el disulfuro de carbono 7 días antes del trasplante. La distancia de plantación fue de 0,30 m sobre la hilera y 1,2 m entre las hileras.

El manejo del cultivo, programa fitosanitario, riego y fertilizaciones se efectuaron según el programa de labores del agricultor.

Resultados: para efectos de evaluación se consideró la totalidad de las cosechas realizadas durante el período productivo, no encontrándose diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos, ya sea sobre la producción total o comercial.

Ensayo 3

En la localidad de Los Leones, comuna de Limache, V Región, en 315 m² de invernadero se comparó cinco tratamientos de desinfección de suelos: tres de solarización y dos de agroquímicos (Cuadro 7) con un testigo sin aplicación, para cultivo de tomate, variedad Fortaleza. Este cultivar es de hábito de crecimiento indeterminado, apropiada para cultivo guiado por tutores. En la temporada anterior el suelo había sido utilizado también con tomate.

Para la solarización, realizada cuatro meses antes del trasplante, el suelo se mulló con un rotovator, luego se regó y se cubrió con un film, el cual era diferente en cada tratamiento. Los agroquímicos, metam sodio y disulfuro de carbono, se aplicaron a través del sistema de riego por goteo, con 8 y 6 días de anticipación al trasplante, respectivamente (Cuadro 7).

La distancia de plantación utilizada fue de 0,30 m sobre la hilera y 1,2 m entre las hileras. El manejo del cultivo, programa fitosanitario, riego y fertilizaciones fueron realizados según el programa de trabajo del agricultor.

Cuadro 7. Dosis y fechas de aplicación de desinfección de suelos, y fecha de trasplante en invernadero de tomate, variedad Fortaleza. Los Leones, Quillota, V Región (2001).

Tratamientos	Dosis	Aplicación	Plantación
T1 Testigo	—	—	20-06-01
T1 Solarización film EVA	—	10-02-01	20-06-01
T2 Solarización film térmico	—	10-02-01	20-06-01
T3 Solarización film normal	—	10-02-01	20-06-01
T4 Metam sodio	120 cc/m ²	12-06-01	20-06-01
T5 Disulfuro de carbono	1200 ppm	14-06-01	20-06-01

Resultados: en el análisis de los resultados de rendimiento total y comercial (figura 11 y 12), se observa que, en ambos casos los tratamientos de solarización son estadísticamente similares al testigo sin aplicación. La producción más alta se alcanzó en el tratamiento con metam sodio, la que fue significativamente diferente.

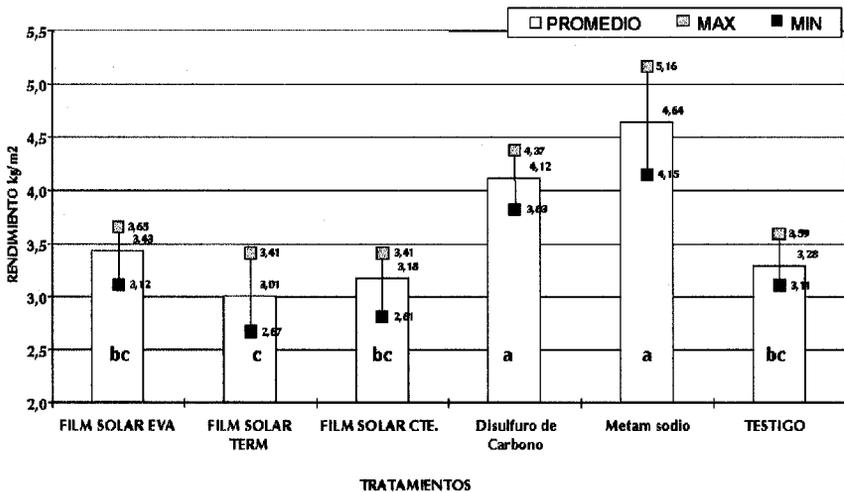


Figura 11. Rendimiento total del tomate en invernadero con distintos tratamientos de desinfección de suelo. Limache, V Región (2001).

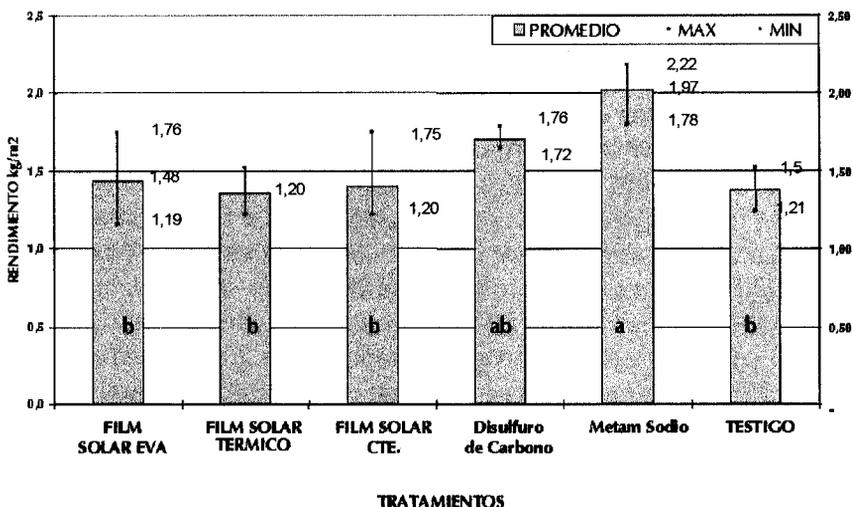


Figura 12. Rendimiento de tomate de primera en invernadero sometido a distintos tratamientos de desinfección de suelos. Limache, V Región (2001).

El hecho que el proceso de solarizado no haya resultado efectivo, se debió, probablemente a las condiciones en que se hizo el ensayo. Éstos se realizaron en un invernadero en cuyo plástico había mucho polvo acumulado, que no dejaba pasar bien los rayos solares. Otra explicación al bajo efecto del solarizado puede ser el corto período que transcurrió entre un cultivo y otro, lo que no dio cabida a mantener los suelos en proceso de solarización por el espacio de tiempo necesario para lograr una buena desinfección del suelo. Ambas condiciones son comunes en los invernaderos de la zona, donde el plástico se cambia cada dos años, y en la época de mayor temperatura (diciembre, enero) se está haciendo la plantación del tomate para tarde. A ello se suma la incertidumbre del comportamiento climático durante el tratamiento.

Ensayo 4

En la localidad de los Leones, comuna de Limache, V Región, en una superficie de 525 m² de invernadero de tomate, variedad Fortaleza, se comparó el efecto de cuatro tratamientos en la desinfección de suelo más un testigo sin aplicación (Cuadro 8). La temporada anterior se había cultivado tomate. En estos ensayos se probó dos tipos de sustratos: Kimitsu, subproducto derivado de la extracción de arginato de algas marinas, y Gromor, sustrato orgánico maduro, obtenido de corteza y acículas de pino compostadas. Estos sustratos se distribuyeron sobre las hileras y luego se incorporaron manualmente con una pala. El bromuro de metilo se aplicó con equipo inyector y en dazomet se utilizó un motocultivador para mullir el suelo, antes de la aplicación, e incorporar el producto, después de la aplicación.

El manejo del cultivo, programa fitosanitario, riego y fertilizaciones se efectuaron según el programa de trabajo del agricultor.

Resultados: en cada cosecha se evaluó el rendimiento total y de primera de cada parcela de muestreo. El análisis estadístico evidenció diferencias estadísticas significativas de los tratamientos bromuro de metilo y dazomet, con relación a los tratamientos Gromor, Kimitsu, los que fueron iguales al testigo (Figuras 13 y 14).

Cuadro 8. Dosis y fechas de aplicación de desinfección de suelos, y fecha de trasplante en invernadero de tomate, variedad Fortaleza. Los Leones, Quillota, V Región (2001)

Tratamiento	Dosis	Aplicación	Plantación
T1. Bromuro de metilo	60 g/m ²	31-05-00	04-07-00
T2 Kimitsu	3 kg/m ²	04-07-00	07-07-00
T3 Testigo sin aplicación	—	—	07-07-00
T4 Dazomet	60 g/m ²	18-05-00	04-07-00
T5 Gromor	3 kg/m ²	24-06-00	07-07-00

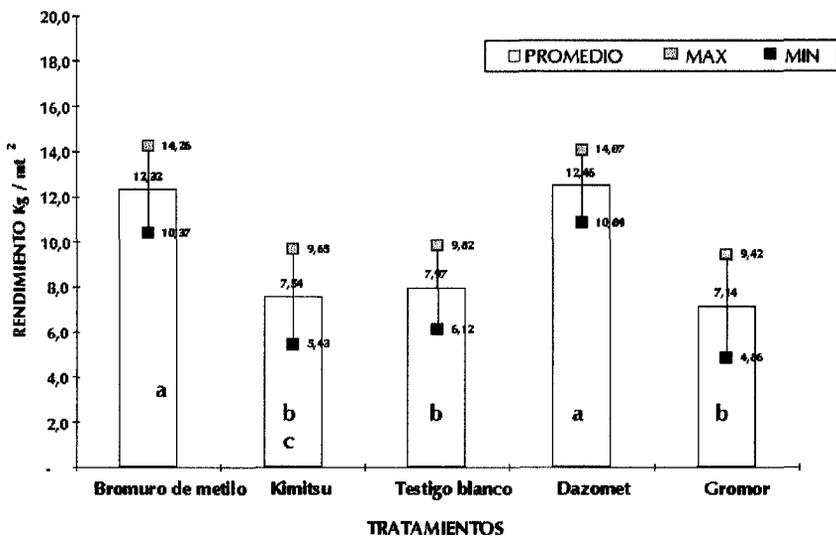


Figura 13. Efecto de cinco tratamientos de desinfección de suelo sobre la producción total del tomate bajo invernadero. Limache V Región. Temporada 2000 - 2001

Datos expresados como valores promedio por tratamiento.

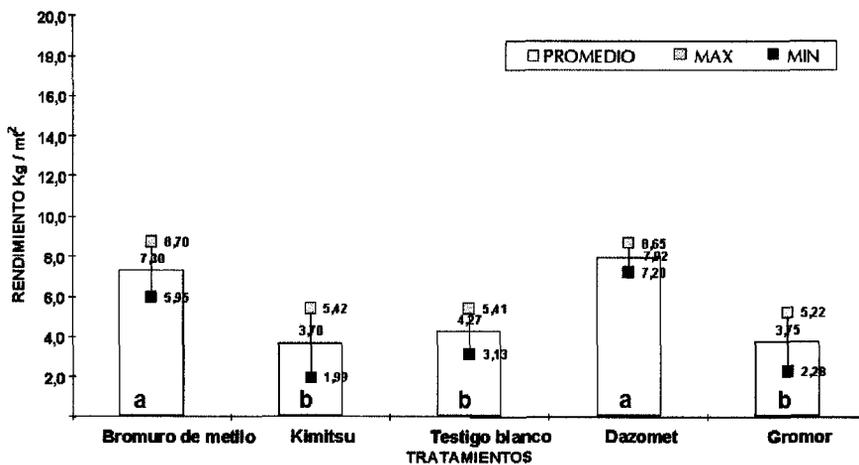


Figura 14. Efecto de cinco tratamientos de desinfección de suelo sobre la producción de frutos de primera de tomate bajo invernadero. Limache V Región. Temporada 2000.

Se encontró que la producción del cultivo estaba en directa relación con la presencia de daño de nemátodos en las raíces (Figura 15). Dazomet y bromuro de metilo poseen niveles de nemátodos, según la escala hedónica, inferiores a 0,5 puntos, lo que equivale a nódulos escasos y pequeños difíciles de encontrar. Los demás tratamientos, incluido el testigo, presentaron niveles superiores a 2 puntos, lo que equivale a presencia de nódulos grandes visibles y raíces principales sanas.

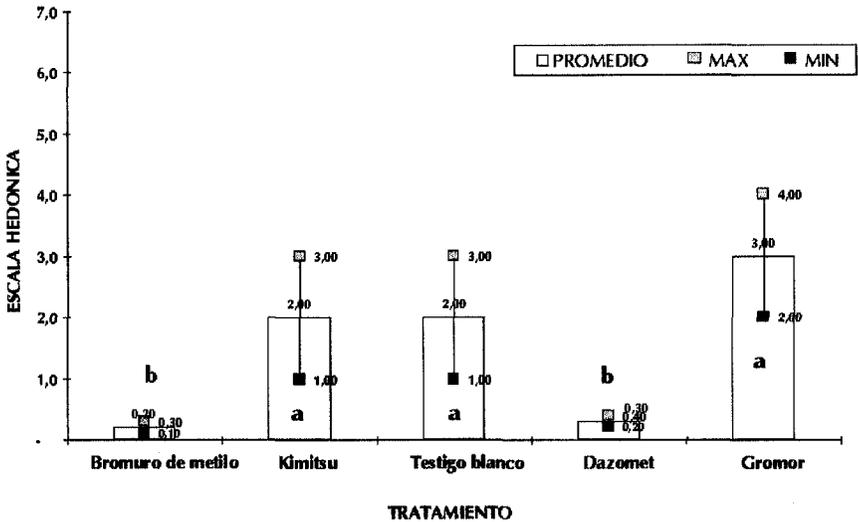
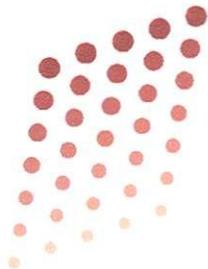


Figura 15. Nivel de nodulación, observado en raíces de plantas en el cultivo de tomate bajo invernadero. Limache V Región. Temporada 2000. Datos expresados como valores promedio por tratamiento.



RESULTADOS ECONÓMICOS

La evaluación económica se centró en la relación costo/beneficio de las alternativas al bromuro de metilo que técnicamente fueron las más eficientes en los ensayos de campo. Entre los productos químicos se analizan: metam sodio, tetratiocarbamato de sodio (Enzone) y dazomet (Basamid), incluyendo las aplicaciones al suelo de bromuro de metilo inyectado y en bombonas. De los métodos físicos: vaporización al suelo, vaporización al sustrato y solarización y de los orgánicos, la biofumigación.

Metodología de Evaluación

Ximena Ortega F.
Ingeniero Agrónomo M.B.A.
Felipe Pastén D.
Ingeniero Agrónomo
INIA-Rayentué

El análisis comparativo que se presenta a continuación, considera los costos directos equivalentes a una hectárea de manejo de suelo o cultivo, proyectados sobre la base de los costos registrados, por actividad y por alternativa, para la superficie de los ensayos. En el caso de la vaporización al suelo y al sustrato se incluyeron costos indirectos o fijos relativos a la adquisición de maquinaria.

Si bien los costos directos son los que representan los desembolsos reales del productor, para dar mayor rigurosidad al análisis económico, se sumaron los costos indirectos que, aun cuando no significan un gasto efectivo, son importantes para comparar la relación costo/efectividad de diferentes tecnologías.

Entre los costos directos se incluyen los insumos, mano de obra y servicios complementarios. Los costos indirectos están configurados por: la reposición de los equipos (depreciación), el costo alternativo del uso del dinero (interés al capital 10% anual), al capital invertido en el equipo, el costo de mantención (12% del costo del equipo) y el costo del seguro de la inversión (2% del capital invertido). La depreciación en este caso se consideró de tipo lineal, con una vida útil de 15 años y un valor residual en función de las características de cada equipo. También se consideró un 10% de imprevisto.

ANÁLISIS COMPARATIVO

El análisis de los costos totales por alternativa (Cuadro 1 y Figura 1) indica que, desde el punto de vista económico, el bromuro de metilo usado en la desinfección de suelos, puede ser sustituido, ya sea por otros productos químicos o por metodologías físicas y orgánicas.

Cuadro 1. Costos de aplicación de bromuro de metilo en invernadero y de algunas alternativas validadas en Chile

Tratamientos	Costos	
	(\$/ha)	(US\$/ha)
Químicos		
Bromuro de metilo inyectado*	1.471.099	2.132
Bromuro de metilo en bombonas**	2.749.765	3.985
Dazomet (Basamid)	2.621.847	3.800
Metam sodio (BL-1480)	2.301.461	3.335
Tetratiocarbamato de sodio (Enzone)	748.860	1.085
Físicos		
Vaporización suelo	2.131.793	3.090
Vaporización sustrato***	2.791	4
Solarización	1.818.267	2.635
Orgánicos		
Biofumigación	1.161.730	1.684

*Calculado sobre la base de servicio de aplicación externo.

**Bombonas 1,5 libras.

***Costos expresados por m³ de sustrato.

Todos los valores incluyen IVA: valor del dólar a abril del 2001 \$690.

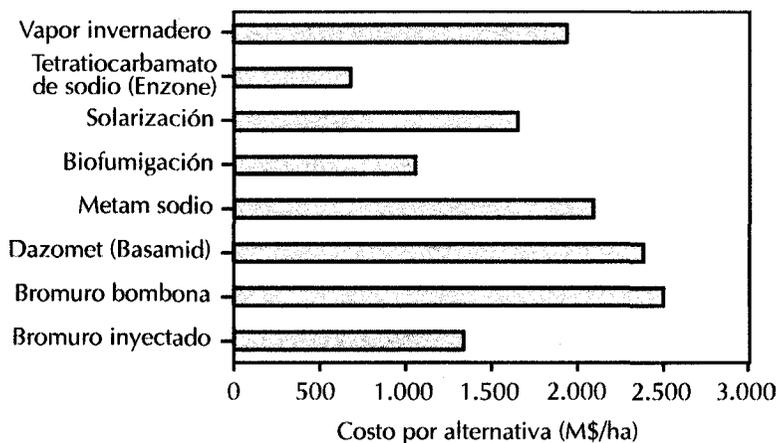


Figura 1. Costos directos por hectárea de distintas alternativas de desinfección de suelos

Las alternativas de desinfección de suelos de mayor costo por hectárea, son las que involucran al bromuro de metilo en bombona, dazomet y metam sodio. Mientras que las de menor costo corresponden a, tetratiocarbamato de sodio, biofumigación y bromuro inyectado. No obstante, cada alternativa presenta diferentes grados de complejidad y efectividad, señaladas en el capítulo Tecnologías alternativas al bromuro de metilo, lo cual permite definir, en forma general, lo siguiente:

- La aplicación de bromuro de metilo utilizando bombonas de 1,5 libras es la técnica de desinfección de suelo de más alto costo. En tanto que la de bromuro de metilo inyectado al suelo, si bien requiere de un servicio especializado de aplicación, todavía es una técnica competitiva (hasta que no suba su precio y los costos de aplicación).
- Las desinfección por biofumigación y solarización tienen costos más bajos que el bromuro de metilo, pero son de difícil aplicación debido a la intensidad de uso de suelo que se hace en los invernaderos, donde el período de tiempo que transcurre entre un cultivo y otro y las condiciones climáticas, la mayoría de las veces no permiten aplicarlas oportunamente.
- El tetratiocarbamato de sodio (Enzone), es el de más bajo costo, sin embargo, se requiere hacer más estudios para verificar sus posibilidades de uso en tomate y pimiento.
- Metam sodio es una alternativa interesante, ya que su acción es similar a la de bromuro de metilo, y aunque sus costos son superiores al bromuro de metilo inyectado. Se espera que a futuro bajen los precios internacionales de este producto.
- La vaporización, a pesar de presentar costos competitivos y buena efectividad en el control de patógenos, es una práctica lenta y de difícil manejo en el campo en la modalidad utilizada (pipas). Sin embargo, es recomendable para el tratamiento de sustratos usados en la producción de plantines en bandejas. Además, es posible mejorar su eficiencia con el sistema de presión negativa que se está validando en ensayos de campo.

- Dazomet es efectivo, pero sus costos son casi el doble a los de bromuro inyectado. Además, su aplicación es compleja y su uso se ve limitado por la intensidad de uso del suelo y condiciones climáticas.
- Champon-at no fue evaluado económicamente por estar en proceso de registro, por lo cual, no se dispone del precio del producto

COSTOS CRÍTICOS EN LA DESINFECCIÓN DE SUELOS EN INVERNADERO

A continuación se analizan los costos relevantes o críticos en cada una de las alternativas analizadas, lo cual permitirá a los usuarios ajustarlos a su realidad productiva, puesto que siempre existe más de una posibilidad económica, por lo que debe ser evaluada en el contexto predial y de los cultivos en que se utiliza. Los costos que se analizan no incluyen el 10% de imprevistos.

Bromuro de metilo inyectado: los costos directos están conformados por la contratación de un servicio de aplicación que requiere de un equipo inyector más el tractor y la mano de obra que interviene en la aplicación y ventilación. Sin duda, el costo relevante de esta alternativa está representado por el costo del bromuro de metilo (Figura 2).

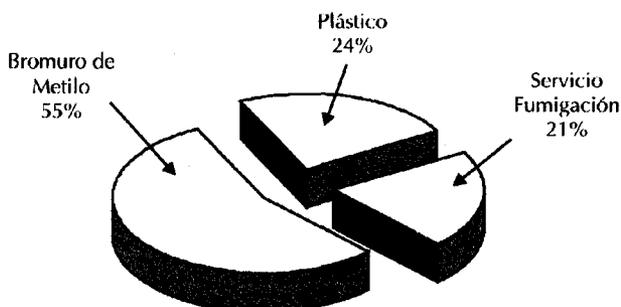


Figura 2. Distribución porcentual de los costos directos por hectáreas de desinfección de suelo en invernaderos con bromuro de metilo inyectado.

Bromuro de metilo bombona: lo mismo que en el caso anterior, el más crítico es el costo del producto, con una incidencia muy superior al de inyección, lo que comparativamente limita su uso (Figura 3).

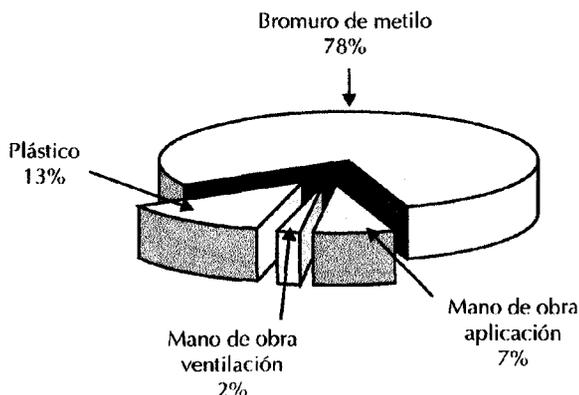


Figura 3. Distribución porcentual de los costos directos por hectáreas de desinfección de suelo con bromuro en bombonade.

Dazomet (Basamid): también el costo del producto es el de mayor incidencia en la desinfección de suelo (Figura 4). Para obtener una aplicación y ventilación efectiva requiere de un motocultor, lo que puede ser una limitante para un gran número de agricultores que trabajan en forma individual. No obstante, se recomienda la estrategia de trabajo asociado, en especial entre agricultores dedicados a la producción de primores bajo invernadero.

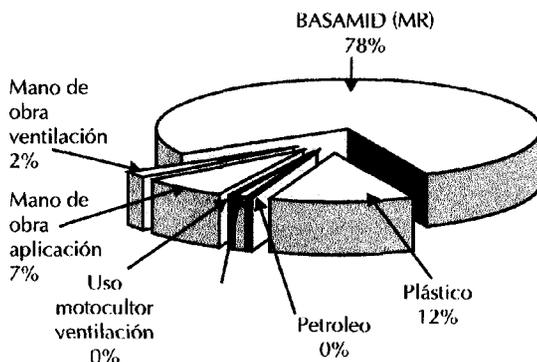


Figura 4. Distribución porcentual de los costos directos de desinfección de una hectárea de suelo de invernadero.

Metam sodio (BL-1480): sigue la tendencia de las alternativas que utilizan productos químicos, es decir el costo relevante es el metam sodio, el cual explica el 77% del costo directo total de esta alternativa de desinfección de suelo (Figura 5).

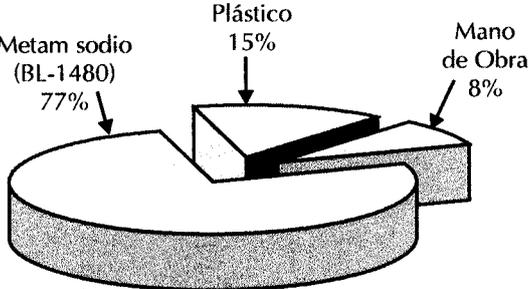


Figura 5. Distribución porcentual de los costos de desinfección con metam de sodio de una hectárea de suelo en invernadero.

Biofumigación: está entre las opciones de mejores perspectivas de ahorro de costos de desinfección de suelo; los ítem más incidentes corresponden a los insumos (urea y plástico) con un 59% del costo directo, y mano de obra con un 35% (Figura 6). También requiere de un motocultor, pero debido a su baja incidencia debería imputarse un costo de arriendo del equipo.

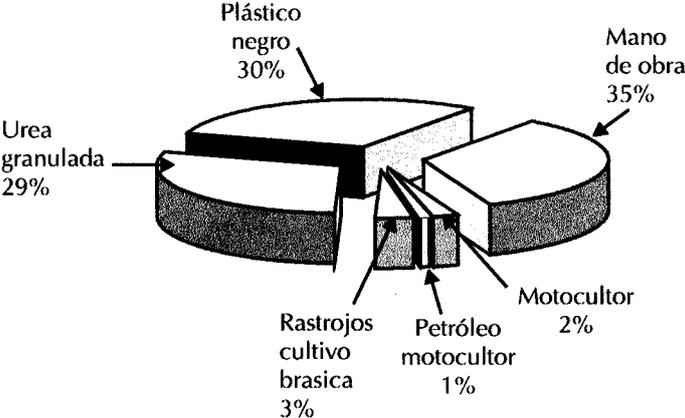


Figura 6. Distribución porcentual de los costos directos de desinfección de sukos por biofumigación de una hectárea de invernadero.

Solarización: es una tecnología de costos medios y el costo crítico es el del plástico que alcanza un 69% (Figura 7). Existe la posibilidad de adquirir este insumo a menor precio, lo cual si significara un ahorro importante, pondría a esta opción en condiciones más competitivas.

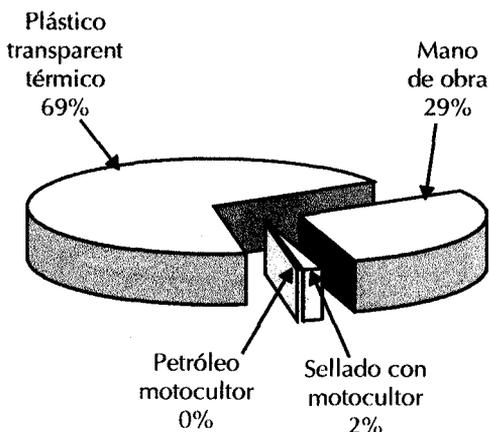


Figura 7. Distribución porcentual de los costos del solarizado de una hectárea de suelo de invernadero.

Tetratiocarbamato de sodio (Enzone): cerca del 75% se explica por el costo del producto y el plástico para el sellado (Figura 8). Aunque esta opción en la desinfección de suelo en invernadero es la de menor costo, su efectividad no ha sido consistente en los ensayos, por lo que se requiere de más estudios para concluir acerca de su relación costo/efectividad.

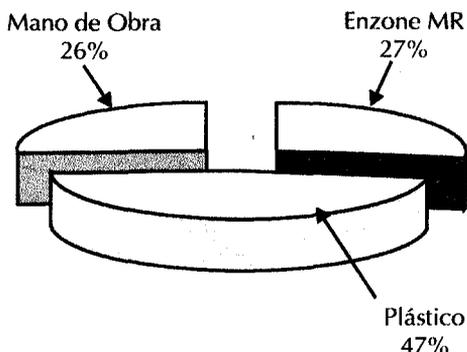


Figura 8. Distribución porcentual de desinfección con tetratiocarbamato de sodio (Enzone) de una hectárea de suelo en invernadero.

Vaporización de suelo: aun cuando su efectividad es satisfactoria, los altos costos de mano de obra, petróleo y agua limitan su aplicación (Figura 9). Además, por el método de aplicación utilizado (pipas), es una práctica lenta y de difícil manejo en el campo. En todo caso, no se descarta, pues aún es posible mejorar su eficiencia.

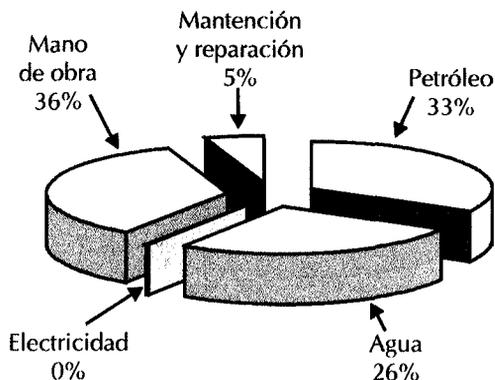


Figura 9. Distribución porcentual de los costos de vaporización de una hectárea de suelo de invernadero.

Vaporización de sustratos para almácigos: también el costo de insumos (petróleo) es el más relevante (Figura 10).

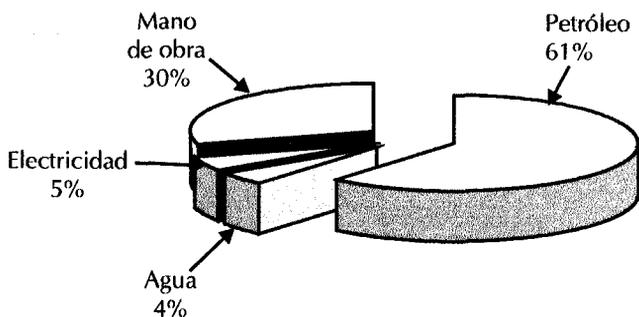


Figura 10. Distribución porcentual de los costos directos de la vaporización de un metro cúbico de sustrato para almácigos.



CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Las evaluaciones de los trabajos de terreno del proyecto permitieron establecer que existen alternativas al bromuro de metilo disponibles para la desinfección de suelos en tomate y pimiento. Algunas de ellas pasan por el uso de productos químicos, otras por el uso de alternativas físicas, como la vaporización, y otras por el uso de alternativas orgánica.

Cualquiera de las técnicas que seleccione el productor, debe ser analizada cuidadosamente en función de su sistema productivo y en función de los costos que involucra cada una de ellas. Cuando la tecnología que se aplique requiera de la adquisición de equipos, además de los costos directos es necesario incluir los costo indirectos, con el objeto de aprovisionar el reemplazo, la reparación y el costo del capital invertido en ellos.

La metodología y herramientas de análisis entregadas en este documento, son una guía para que los usuarios de esta información puedan desarrollar estudios comparativos de alternativas de desinfección de suelo, sobre la base de los estándares de eficiencia de aplicación y efectividad de control obtenidos en los ensayos. Es decir, el productor debe incluir sus propias condiciones de trabajo y exigencias del sistema productivo, así logrará aproximarse más al nivel óptimo de la relación costo/beneficio de una determinada labor. Con ello conseguirá mejorar su posición competitiva y minimizar el impacto negativo en el medio ambiente. Esto último, es un activo estratégico de oferta productiva y de posicionamiento a nivel de los mercados más exigentes.

Las cartas ya están puestas sobre la mesa, el bromuro de metilo, de acuerdo al Protocolo de Montreal, está condenado a desaparecer, gradualmente, del mercado mundial, hasta hacerlo por completo en el 2015. No porque no sea efectivo en la desinfección de suelos, u otros materiales, de hecho es el más eficiente; su alto poder destructor de la capa de ozono, elemento vital para la vida en el planeta, ha marcado su destino: su proscripción.

Pero también está en juego la producción, el bromuro de metilo ha sido un gran aliado de los agricultores en el control de aquellas plagas y pestes que desde el suelo atacan a sus cultivos, especialmente las hortalizas, por lo que algún mérito tiene en los aumentos experimentados en la producción de alimentos.

Por estos motivos, durante el tiempo que aún le queda, antes de su completa extinción, es imprescindible buscar productos o procedimientos que lo reemplacen en la función que ha cumplido por más de 60 años en la agricultura mundial. De hecho, en los países desarrollados, donde ya existen avances importantes al respecto, el plazo propuesto para la sustitución total del bromuro de metilo es bastante más corto (2005), que en los países en vías de desarrollo, como Chile, donde recién se están iniciando las investigaciones sobre adaptación de nuevas tecnologías, que ya han sido probadas en otros países, a las condiciones nacionales.

No obstante existir agricultores de una gran racionalidad en el uso del bromuro de metilo, en lo referente a dosis, frecuencia de aplicación —que en un número importante son bianuales—, y uso localizado, en casos muy concretos de riesgos de infección para ciertos cultivos, el consumo de bromuro de metilo en Chile ha aumentado en los últimos años. Las razones básicas de este aumento son: la intensificación en las labores de desinfección de suelos en cultivos de tomate y pimiento bajo invernadero, y al ingreso de otras especies al proceso intensivo, como la producción de melones primores en túneles de plástico, en las regiones Metropolitana y VI, y el aumento de la superficie de tomate industrial.

Chile debe preocuparse en forma seria en cumplir con los calendarios de reducciones de bromuro de metilo, porque se corre el riesgo de perder mercado dado que los países en desarrollo, que son importadores de nuestros productos, ya han disminuido considerablemente su consumo. España, por ejemplo, a alcanzado reducciones de casi un 50%.

Existe sólo una instancia en la que se ha planteado la necesidad de seguir usando bromuro de metilo y es en los viveros de plantas frutales, que según antecedentes del Departamento de Protección Agrícola del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), son los únicos que podrían considerarse como de «uso crítico». El principal argumento, es la exigencia que este mismo departamento impone a los productores de plantas, de entregar patrones con cero presencia de nematodos, lo cual, en la actualidad, se consigue sólo con aplicaciones de bromuro de metilo. No obstante dicha exigencia, dado los peligros que encierra, lo aconsejable es eliminarlo también en los viveros, sin olvidar los intereses de los productores, a quienes deberá proporcionárseles alternativas, económicamente viables, para lograr el mismo efecto de control.

Como consecuencia de la proyectada eliminación del uso de bromuro de metilo, el mercado nacional cada vez está ofreciendo más productos sustitutos, los cuales, salvo algunos, no han sido evaluados en las condiciones locales. Sin esos estudios las posibilidades de obtener buenos o malos resultados, son igualmente válidas. En este sentido el INIA, ya tiene experiencias con productos y otras tecnologías que si han sido sometidas a evaluación, durante la ejecución del proyecto. Entre los productos químicos estudiados están: metam sodio, disulfuro de carbono y dazomet; entre las tecnologías de acción física: vaporización y solarización y entre las orgánicas: la biofumigación con materia orgánica y el producto allil isotiocianato-capsin, capsenoide. Unos más que otros pueden ser usados, de acuerdo a las consideraciones establecidas en los ensayos y que se han descrito en esta publicación.

Los estudios sobre alternativas al bromuro de metilo deben continuar. De hecho el INIA ha iniciado un nuevo proyecto orientado a frutales y ornamentales. Además, en convenios con las empresas que los distribuyen, se están probando algunos de los nuevos productos que ya están en el mercado o que están en vía de ser introducidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avnimelech, y., 1986.** Organic residues in modern agriculture. The role of organic matter in modern agriculture. *Developments in Plant and Soil Sci.* The Netherlands, 25 :1-10.
- Bello, A.; M. Escuer; R. Sanz; J. A. López-Pérez; P. Guirao., 1997.** Biofumigación, nematodos y bromuro de metilo en el cultivo de pimiento. En: A. López; J. A. Mora (Eds). *Posibilidad de Alternativas Viables al Bromuro de Metilo en Pimiento de Invernadero.* Consejería de Medioambiente, Agricultura y Agua, Murcia, España, 67-108 p.
- Bello A., J.A. González, J. Pérez Parra, J. Tello., 1997.** Alternativas al Bromuro de Metilo en Agricultura. Junta Andalucía, Sevilla 44/97, 192 p.
- Bello A., J. Tello., 1998.** El bromuro de metilo se suprime como fumigante del suelo. *Phytoma-España* N° 101:10-21 p.
- 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 p.
- Bonneau, M. y Souchier, B., 1987.** *Edafología. Constituyentes y propiedades del suelo.* Versión española traducida de Pédologie, 2. Constituans et propriétés du sol. Masson, S.A., Barcelona, 461 p.
- Bruna, V., A., 1995.** Enfermedades de hortalizas en los cultivos bajo plástico. Tizón temprano y tizón tardío en tomate. Chile Agrícola. N° 21. 334 p.
- Bruna, V., A., 1996.** Enfermedades en los cultivos bajo plástico. Virus del Mosaico del Tomate (TOMV). Chile Agrícola N° 21. 56-57 p.
- Bruna, V., A., 1999.** *Verticillium dahliae* raza 2. Un problema para la producción de tomate en Chile. Empresa y Avance Agrícola (Junio 1999) N° 69: 4-5.

- Bruna, V., A., 2000.** Principales enfermedades de los cultivos hortofrutícolas y su Control. En: Bruna V., A. et al. Limitantes de la productividad y competitividad de los cultivos hortícolas. Boletín INIA-Instituto de investigaciones Agropecuarias N° 25: 18-19.
- Carrasco, J., 1998.** Influencia de diferentes sistemas de manejo del suelo, en las propiedades físicas y químicas de un Luvisol Cálcico de la Meseta Central de España. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. España. 450 p.
- Costa, F., García, C., Hernandez, T., y Polo, A.,1991.** Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización. Caja Murcia. 181 p.
- Chacón, A., y Carrasco, J., 1992.** Costos de uso de la maquinaria agrícola. Primera parte. Investigación y Progreso Agropecuario. La Platina. (Enero-Febrero). N° 69: 47-53 p.
- Davies, B., Eagle, D. y Finney, B., 1987.** *Manejo del suelo.* Trad. del original. "Soil management". Editorial el Ate-neo. Buenos Aires. Argentina.228 p.
- De Vay, J.E. Elmore, C.I. Hart, W.H and Pullmann, G.S., 1989.** Solarización del suelo, un método no químico para el control de enfermedades y plagas. Investigación y progreso agropecuario. La Platina, N° 52: 48 – 52 p.
- Duchafour, P. 1987.,** *Manual de Edafología.* Versión Española.Edit. Masson, S.A., Barcelona, 213 p.
- González, H., 1991.** La materia orgánica en la reducción de nematodos parásitos. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina (Marzo-Junio) N° 65: 17-21 p.
- González, H. 1995.** El control biológico de nematodos parásitos de plantas. Revista Frutícola (COPEFRUT) 16(2): 63-72 p.
- Guiñez, A., 1980.** Efecto comparativo de cuatro nematicidas y materia orgánica en el control de nematodos en tomate (*Lycopersicon esculentum*). Agric. Téc. (Chile) 40 (4):143-146 p.

- Herrera A., 1997.** Efectos de 60 días de solarización en el control de *Fusarium oxysporum* y *Meloidogyne incognita* en un cultivo de tomates bajo invernaderos fríos. Tesis U. de Chile, Esc. de Agronomía 106. p.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), 2000.** Primer taller de evaluación de alternativas al bromuro de metilo en el sector hortícola de Uruguay. Serie de actividades de Difusión N° 235. p. 139.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2000.** Alternativas al uso de bromuro de metilo en frutilla, tomate y flores de corte. Seminario de Cierre. Buenos Aires, 4 y 5 de mayo. Argentina. 143 p.
- MBTOC., 1998.** Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment of Alternatives to Methyl Bromide. UNEP, Nairobi, Kenya, 354 p.
- Melgarejo, P., et. al., 2001.** El problema de la prohibición del bromuro de metilo como fumigante de suelos agrícolas. Terralia N° 20. 20-29 p.
- Ortega, X., y Carrasco J., 2001.** Labores y servicios de maquinaria agrícola. Tierra Adentro. (Noviembre-Diciembre). N° 41: 8-9 p.
- Rojas, M., 1993.** Efecto de la solarización sobre la germinación de esclerosos de *Sclerotium rolfsii* Sacc, en las condiciones climáticas de la comuna del Monte. Tesis ingeniero Agrónomo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. 89 p.
- Viera, M., 2001.** Efecto de abonos orgánicos sobre el nivel de infestación de suelo con nematodos del género *Meloidogyne sp.* en tomate. Tesis U. de Talca, Fac. Ciencias Agrarias. 46 p. Chile.
- Vildósola, G., y Guíñez, A., 1979.** Control químico de nematodos en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Agricultura Técnica (Chile) 39(1):17-21 p.

ANEXO

Escala de clasificación de la condición de nodulación en raíces de tomate producidos por *Melodogyne*, tabla de índices propuesta por Bridge y Page, 1980.

Nota de evaluación	Características
0	Sin nódulos
1	Nódulos escasos y pequeños difíciles de encontrar
2	Solo nódulos pequeños claramente visibles. Raíces principales sanas.
3	Algunos nódulos grandes visibles. Raíces principales sanas.
4	Predominan los nódulos grandes. Raíces principales sanas.
5	50% de raíces infectadas. Nodulación en parte de las raíces principales. Sistema radicular reducido.
6	Nodulación sobre las raíces principales.
7	Mayoría de raíces principales noduladas.
8	Todas las raíces principales noduladas. Pocas raíces sanas visibles.
9	Todas las raíces muy noduladas. Planta muriendo
10	Todas las raíces noduladas. Planta sin sistema radicular. Planta generalmente muerta.

- | | | | |
|---|--|--|---|
|  |  |  |  |
| 0. Sin nódulos | 1. Nódulos escasos y pequeños, difíciles de encontrar. | 2. Sólo nódulos pequeños, claramente visibles. Raíces principales sanas. | 3. Algunos nódulos grandes visibles. Raíces principales sanas. |
|  |  |  |  |
| 4. Predominan los nódulos grandes. Raíces principales sanas. | 5. 50% de raíces infestadas. Nodulación en parte de las raíces principales. Sistema radicular reducido | 6. Nodulación sobre las raíces principales. | 7. Mayoría de las raíces principales, noduladas. |
|  |  |  | |
| 8. Todas de las raíces principales, noduladas. Pocas raíces principales sanas. | 9. Todas de las raíces principales, noduladas. Planta mueriendo. | 10. Todas de las raíces noduladas. Planta sin sistema radicular. Planta generalmente muerta. | |

Índices de nodulación en raíz de tomate producidos por *Meloidogyne* (Bridge y Page, 1980).