



HORTICOLAS

El bromuro de metilo, estado actual y alternativas

V. Cebolla Rosell

INSTITUTO VALENCIANO DE
INVESTIGACIONES AGRARIAS

El problema del "Agujero de Ozono", provocado por la destrucción del Ozono estratosférico, en algunos puntos del globo como la Antártida, Australia, y zonas montañosas Europeas, es de rabiosa actualidad como lo testifica la presencia constante de noticias sobre este tema en los medios de comunicación de masas. La capa de Ozono estratosférica filtra la radiación ultravioleta procedente del Sol, impidiendo que penetre con demasiada intensidad y llegue a la superficie del suelo. Las informaciones sobre el tamaño del "agujero", y los peligros que conllevaría un aumento de las radiaciones ultravioletas que podrían repercutir en el aumento de enfermedades como cáncer de piel o cataratas, preocupan a amplios sectores de ciudadanos.

Existen una serie de compuestos halogenados que intervienen como catalizadores en la reducción del Ozono. Las primeras sustancias implicadas fueron los hidrocarburos halogenados volátiles (Cloro-Flúor-Carbono o CFC) utilizados principalmente como propelentes en pulverizadores (Sprays), como refrigerantes en frigoríficos y aparatos de aire acondicionado, y como disolventes y espumas plásticas.

También el Bromuro de Metilo (BM) fue incluido como una de las sustancias que destruyen la capa de ozono por el Cuarto Meeting del Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Destruyen la Capa de Ozono, que tuvo lugar en Copenhague en noviembre de 1992.

*Las Naciones Unidas
propician
la sustitución
de las sustancias
que afectan al ozono.*

Las Naciones Unidas propician la sustitución de las sustancias que afectan al Ozono por otras que sean respetuosas con el medio ambiente. En el caso de los CFCs la sustitución parece clara. Sin embargo existe una gran controversia respecto al BM, por una parte las opiniones "ecologistas" (Buffin D. 1992) que presionan para que se prohíba cuanto antes su fabricación, anunciando que si la producción de BM continúa aumentando al ritmo del 5% anual, 1/6 de

La desinfección con BM se está cuestionando a nivel mundial.



las pérdidas de ozono predichas para el año 2000 se deberán a este gas. Por otra parte, los agricultores usuarios que confían ciegamente en este producto, y quisieran utilizarlo sin limitaciones. La opinión actual del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente adopta una posición intermedia con una reducción gradual de la producción, y fomenta la investigación de nuevas tecnologías que permitan la utilización de sistemas alternativos.

CAPA DE OZONO, MECANISMO DE DESTRUCCION DEL OZONO

Los compuestos halogenados actúan como catalizadores en la reducción del Ozono (O_3), en el caso del BM produciendo O_2 y BrO . Este último vuelve a combinarse recuperando BM. La presencia de radicales OH está asociada a la destrucción del BM. Basado exclusivamente en esta destrucción se considera que el BM tiene un periodo de vida medio de unos 2 años.

El contenido de Bromo orgánico en la troposfera se estima en unos 20 ppt (partes por trillón) frente a los 3500 ppt para el cloro. A este contenido en Bromo el BM contribuye en un 50%, sin embargo el balance atmosférico del BM es incierto, las cifras que se barajan tienen grandes desviaciones. El flujo anual de BM a la atmósfera podría estar entre 76.000 y 198.000 toneladas de las que las emisiones procedentes de ac-

Los agricultores confían grandemente en el Bromuro de Metilo, y quieren utilizarlo sin limitaciones.



Cultivo en sustrato (sin suelo).

tividades industriales representan del 2 al 10%, la fumigación del suelo del 20 al 60%, y la quema de biomasa del 10 al 50%. Entre todos ellos, considerados de origen antropogénico, contribuyen entre el 33 y el 74%, el resto de las emisiones se considera históricamente que son debidas a los océanos. Del BM antropogénico, (por tanto controlable), la principal contribución a la emisión a la atmósfera es la fumigación del suelo.

Por otra parte investigaciones recientes (Lobert et al. 1995) permiten atribuir un efecto sumidero en los océanos mediante el cual el BM del aire es absorbido por los océanos en cantidades estimadas en unas 142.000 Toneladas/año, parece ser que los Océanos ejercen un fuerte efecto regulador (Tampón) en los contenidos de BM en la atmósfera. Si se confirman estos datos (Lobert M.J. 1995) se podría permitir un margen de 84.000-116.000 Toneladas/año para las emisiones externas a los Océanos, como las producidas por la Agricultura, la Industria y la quema de Biomasa. También el suelo y las plantas se consideran como potenciales consumidores del BM del aire.

La fumigación del suelo puede suponer entre el 20 y el 60% de emisiones de Bromuro a la atmósfera.

UTILIZACION DEL BROMURO DE METILO

El BM se usa ampliamente como fumigante en agricultura y control de plagas en estructuras, mercancías almacenadas y tratamientos de cuarentena. Es activo contra una gran variedad de organismos a baja concentración, incluyendo mamíferos e insectos, ácaros, nematodos, hongos, bacterias y virus y tiene suficiente fitotoxicidad para controlar malas hierbas y semillas de malas hierbas. Su gran espectro de actividad y facilidad de aplicación lo han convertido en el tratamiento elegido en la mayoría de desinfecciones. Algunos sistemas de producción agraria de cultivos de alto valor se han convertido en dependientes de la fumigación con BM. Un claro

ejemplo es el cultivo intensivo de hortalizas y ornamentales en los que la repetición del cultivo sobre el mismo suelo es una práctica habitual, debido al alto grado de especialización que necesita el agricultor.

En algunos países en vías de desarrollo (Artículo 5 Protocolo de Montreal) también se usa el BM en cultivos de alto valor, como tabaco, flor cortada, hortalizas y frutales, para el control de plagas, enfermedades y malas hierbas algunos como Kenia lo consideran vital para su desarrollo agrario.

El BM posee características que lo hacen versátil y útil para un amplio rango de aplicaciones. En particular es muy penetrante, y normalmente efectivo a bajas concentraciones y deja residuos que generalmente resultan aceptables. Su técnica de aplicación en la desinfección del suelo es muy sencilla, se difunde homogéneamente bajo la lámina de plástico, y como su densidad es mayor que la del aire descende en profundidad en el suelo con gran facilidad. Su acción es normalmente suficientemente rápida, y se elimina por aireación con suficiente rapidez de los sistemas tratados, para causar relativamente poca perturbación durante el cultivo o la comercialización.

Por el amplio espectro de actividad y control de patógenos es el más utilizado en la mayoría de desinfecciones

Otros usos del BM son la desinfección de mercancías no perecederas, como productos secos agrícolas y forestales, entre ellos cereales, frutos secos y maderas, fundamentalmente para exportación. También en productos perecederos como frutas, verduras plantas ornamentales y bulbos, mucha veces con objeto de cuarentenas. En la desinfección de estructuras (Molinos, Almacenes, Silos, Museos) y vehículos de transporte (Camiones, Barcos, Aviones, Vagones), Resulta muy interesante por su facilidad de aplicación, eficacia y escaso poder corrosivo. Aunque es altamente eficaz, actualmente ya no se usa como extintor de incendios.

CONSUMO

La producción de BM ha tenido

una tasa de crecimiento de 3.700 Toneladas/año hasta 1992 en que se consumieron 75.625 Toneladas, de la que se destinaron 57.407 Toneladas a la desinfección del suelo. Los mayores consumidores son los países de América del Norte. La Unión Europea consumió 18.521 Toneladas. Los países en vías de desarrollo representan el 19% del consumo global con 14.510 Toneladas.

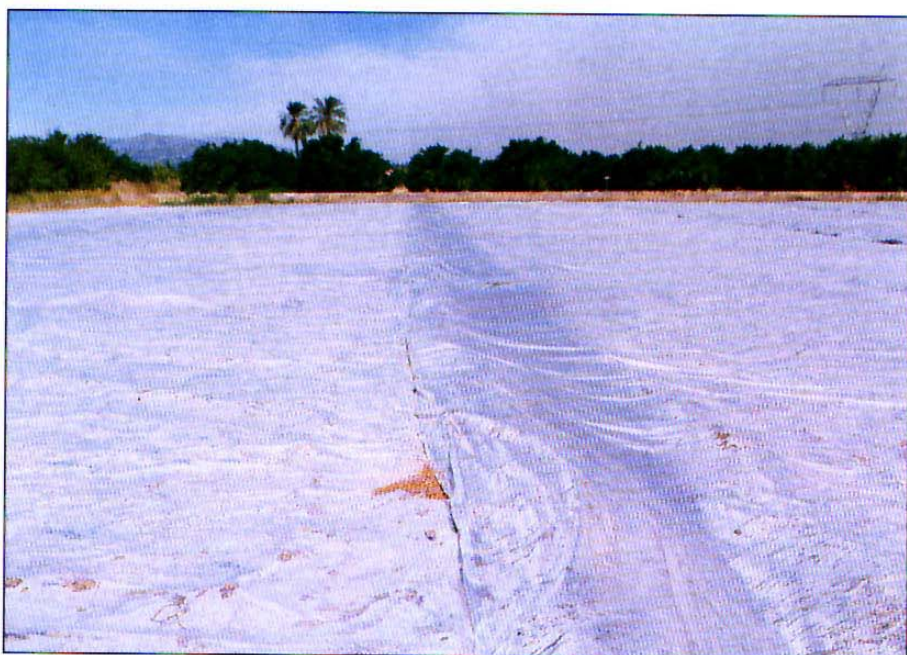
EMISIONES, RECUPERACION Y RECICLADO

Hay varias fuentes de emisión de BM a la atmósfera. algunas son el resultado de la liberación a la atmósfera del bromuro fabricado por el hombre, otras se producen de manera inadvertida por actividades humanas como la quema de biomasa (Mano S., Andrae M.O. 1994) o las gasolinas con plomo (Cicerone R.J. 1994), y otras son netamente de fuentes naturales como el emitido por la actividad biológica de los Océanos (Sturges W.T. 1993).

Las emisiones de gas a la atmósfera se producen de manera inadvertida por escapes e infiltraciones durante el tratamiento, y de manera voluntaria al ventilar después de la desinfección. En la desinfección del suelo la cantidad emitida es del 30 al 85 %, el resto se fija en la materia orgánica o se mineraliza en el suelo y se destruye en forma de bromuro inorgánico. De una manera global se estima que las emisiones, basadas en datos de 1992 son del orden de 34.000 a 59.000 toneladas. La mejora de las técnicas de aplicación, sellado, enterramiento más profundo del borde de las láminas de plástico de las cubiertas, el uso de láminas de plástico impermeables al BM, y la no reutilización de las mismas en evitación de poros o rasguños se estima que pueden reducir substancial-

TABLA 1. CONSUMO Y EMISIONES DE BROMURO DE METILO ESTIMADAS PARA 1992 (FUENTE MBTOC 1994)

USO	% DE USO TOTAL	% EMITIDO A LA ATMÓSFERA
Tratamiento del suelo	70	30-85
Fumig. prod. no perecederos	16	48-88
Fumig. de prod. perecederos	8	85-95
Materias primas	3,2	<0,5
Estructuras y transportes	2,7	90-95



Desinfección por solarización.

mente las emisiones.

Según datos de la Coalición Global del Bromuro de Metilo (MBGC 1994) la mayor fuente de emisión de BM son los Océanos. No hace mucho estas emisiones se estimaban en 300.000 Toneladas/año, estimaciones más recientes situaban el límite superior en 80.000 Toneladas/año sin embargo el hecho que las medidas oceánicas sean tan variables y contradictorias solo nos permite decir que "Es una gran fuente de emisiones".

La recuperación y reciclado del gas son objeto de investigación, particularmente en la desinfección de recintos, con resultados satisfactorios; por contra, la recuperación en la desinfección del suelo presenta mayor dificultad. Entre los métodos utilizados está la absorción en Carbón activado, reactivos líquidos como compuestos de aminas, adsorción en Zeolita, ozonización y destrucción catalítica para destruir el BM restante de la desinfección. Muchas de estas técnicas necesitan mayor desarrollo para su implantación a nivel comercial.

INVESTIGACION Y REDUCCION DE EMISIONES

Existe un programa de investigación patrocinado por la MBGC (Coalición global de Bromuro de Metilo) que incluye estudios sobre el Ozono y la química del Ozono, medida e instrumentos de medida de BrO, tiempo de vida medio y otros métodos de eliminación como vegetación, y sumideros terrestres y oceánicos, así como la investigación de la reducción de emisiones de BM a

la atmósfera durante la desinfección del suelo en el que participa el IVIA. Esta vía de investigación está apoyada por un proyecto AIR de la Unión Europea con idéntica línea. Entre los objetivos está la puesta a punto de sistemas con láminas de plástico impermeable al BM, y la combinación con técnicas como la solarización y el control biológico, que permiten reducir sensiblemente las dosis de aplicación manteniendo la eficacia.

LIMITACIONES AL USO DEL BROMURO DE METILO

Existen varios factores que limitan la aplicación del MBr aparte de su efecto sobre la capa de ozono, que en algunos casos son restricciones de tipo legal. Su fitotoxicidad lo convierte en un buen desherbante pero limita su utilidad en cultivos establecidos o reduce la vida de almacenado de productos agrarios (p.ej. Flor cortada)

La mayor limitación en el uso del BM hasta ahora ha sido la toxicidad para el hombre. Muchos países como el nuestro requieren una preparación especial a los aplicadores

TABLA 2. LA ELIMINACION GRADUAL ESTABLECIDA DEL BROMURO DE METILO

AÑO	PAISES DESARROLLADOS	PAISES EN VIAS DE DESARROLLO
1995	Congelación a niveles 1991	Sin control
1996		Congelación de niveles
1998	Reducción del 25%	
2001	Reducción del 50%	
2008		Reducción del 25%
2011		Reducción del 50%
2030		Eliminación ?

Holanda ha pasado de ser el mayor consumidor de BM a su total prohibición.

(Carnet de Aplicador) y exigen equipos de seguridad y tiempos de aireación para eliminar los residuos de gas después del tratamiento.

Los tratamientos con BM producen residuos de ion Br- que pueden acumularse en niveles excesivos en mercancías fumigadas repetidamente. Se han detectado problemas de contaminación de aguas subterráneas en algún país europeo, como es el

caso de Holanda, con niveles freáticos muy superficiales. **Holanda ha pasado de ser el mayor consumidor de BM a su prohibición.** Esto ha sido posible gracias a la utilización de tecnologías muy avanzadas como el cultivo sin suelo, en sustrato natural o artificial, desinfección con vapor de agua y en algunos casos mediante lucha biológica, variedades resistentes y otros desinfectantes químicos. Sin embargo el ejemplo de Holanda en cuanto a cultivo sin suelo, es difícil de imitar en latitudes mediterráneas como las nuestras.

REDUCCION DEL USO DEL BROMURO DE METILO

La Unión Europea ha adoptado

una normativa (Reglamento CE 3093/94 de 23 de diciembre de 1994) que **obliga a una reducción del 25% en la producción y suministro de BM en 1998, respecto a los niveles de 1991**, con la excepción del uso para cuarentena y pre-embarque. Sin embargo Holanda como se ha descrito más arriba ha adoptado de manera unilateral la decisión de prohibir el uso del BM, aunque lo permite de manera muy restrictiva en la desinfección de mercancías.

Unas 90 naciones que participan en el Protocolo de Montreal son países en vías de desarrollo, con economías emergentes, muy dependientes de su agricultura. Muchos de estos países disfrutaban del beneficio (o desventaja) del clima tropical o subtro-

BROMURO DE METILO

VENTAJAS

- Acción rápida y consistente.
- El espectro de actividad contra plagas y enfermedades del suelo es más amplio que cualquier otro fumigante excepto el Vapor de agua.
- No se conocen resistencias en el campo.
- Muy eficaz y penetrante en el suelo.
- Se puede usar en suelos con rango de contenido en humedad y temperaturas más amplio que otros fumigantes.
- Se disipa rápidamente después del tratamiento.
- Contrariamente a otros fumigantes es un viricida eficaz.

INCONVENIENTES

- Su alta toxicidad y volatilidad requiere fuertes medidas en la seguridad de los manipuladores.
- Reduce la biodiversidad del suelo.
- Los residuos de bromo que se producen en el suelo pueden producir problemas en algunos cultivos y en algunas áreas.
- Produce polución en el aire en las áreas vecinas.
- Puede producir contaminación del agua en suelos con niveles freáticos elevados.
- Necesita usar grandes láminas de plástico para la aplicación del gas. Este inconveniente es compartido por la solarización e incluso para la aplicación eficaz de otros fumigantes.
- Está clasificado como destructor de ozono.

pical en donde las plagas y enfermedades del suelo tienen condiciones excelentes de desarrollo. El mayor desafío de estos países es la producción de alimentos para su propio pueblo y para exportación. El caso de los países en vías de desarrollo ha sido considerado especial por el Protocolo de Montreal que en su artículo 5 concede una moratoria en la reducción de consumo hasta el año 2008, sin que se pueda sobrepasar el consumo al que se llegue en 1996.

De todas formas hay que considerar que este calendario de reducciones puede ser modificado en la **Convención de Viena** que tendrá lugar a finales de Noviembre de 1995.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

El uso tan extendido de este fumigante ha sido fomentado por la simplicidad de la tecnología y los sistemas de aplicación. Sus mejores ventajas e inconvenientes las resume el Informe del Comité de Opciones Técnicas del Bromuro de Metilo (MBTOC). (Véase cuadro página anterior).

Desinfección de sustrato con vapor de agua.



ALTERNATIVAS

Se consideran alternativas viables al BM como fumigante de suelos a cualquier técnica que pueda sustituir algún uso del gas. El MBTOC ha realizado un estudio detallado que se resume a continuación.

Entre las **alternativas no químicas** están:

1. PRÁCTICAS CULTURALES

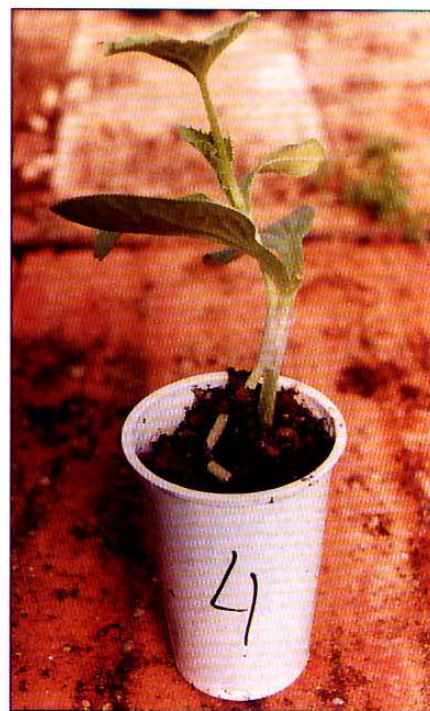
1.1. Cultivo sobre sustratos artificiales, como lana de roca, esta técnica permite prescindir de la desinfección bajo ciertas condiciones climáticas y económicas. Ha reemplazado completamente el BM en Holanda.

1.2. Rotación de cultivos, intercalando cultivos no susceptibles se controlan las enfermedades del suelo en muchas partes del mundo.

1.3. Época de plantación, para coincidir con los niveles más bajos de densidad de inóculo.

1.4. Labores profundas del suelo para enterrar los patógenos y estimular los microbios antagonistas.

1.5. Encharcamiento, se usa en algunas zonas.



Planta de melón injertada.

1.6. Barbecho, método tradicional practicado desde antiguo.

1.7. Abonado en verde, mediante ciertos cultivos que se incorporan al suelo mediante una labor. Su descomposición estimula la actividad de microorganismos antagonistas.

1.8. El manejo de la fertilización y nutrición de plantas puede reducir o suprimir los patógenos o estimular los mecanismos de defensa en algunos cultivos.

1.9. Acolchados vivos, como las **brassica miniatura**, o **tréboles** que pueden suprimir mala hierba o plagas.

1.10. Mejora genética e injerto. El uso de variedades resistentes permite el cultivo en presencia del patógeno sin manifestar los síntomas en algunos cultivos. También el injerto sobre pies tolerantes es una práctica habitual.

1.11. Enmiendas orgánicas como el estiércol, aguas residuales, residuos urbanos, subproductos agrícolas, forestales o de industrias alimentarias pueden servir para controlar alguna enferme-

dad del suelo en cultivos y zonas concretas.

1.12. El control biológico de enfermedades del suelo se viene estudiando desde hace más de 100 años, existen numerosos antagonistas que han sido descritos como controladores de patógenos del suelo, sin embargo muy pocas ejemplos han tenido verdadero éxito. La introducción de un microorganismo antagonista contra un patógeno específico requiere la ocupación de un "nicho ecológico no ocupado" o añadirlo en forma de sustrato colonizado, en grandes cantidades.

1.13. Los suelos supresivos, en donde algunas enfermedades no se desarrollan o son menos severas, poseen microorganismos antagonistas. De estos suelos se ha aislado numerosos organismos, algunos de ellos han sido ya comercializados. Sin embargo el espectro de actividad es limitado, además su actividad varía mucho según los suelos, generalmente bajo condiciones culturales y ambientales muy diferentes.

2.-MÉTODOS FÍSICOS

2.1. Solarización del suelo. Cubriendo un suelo húmedo con plástico transparente para aumentar las temperaturas hasta niveles letales o subletales para los patógenos del suelo. Es efectiva en ciertas condiciones ambientales, en épocas de máxima radiación solar, en áreas templadas o cálidas. Existen métodos combinados con la solarización que permiten mejorar su eficacia.

2.2. Vapor de agua, es tan eficaz como el BM. Sus limitaciones son el costo energético, la inversión de capital necesaria y algunos tipos de suelo que no permiten la penetración del vapor en

profundidad.

2.3. Agua caliente o sobrecalentada puede ser eficaz en algunos casos pero su uso es muy limitado

2.4. Acolchados plásticos de longitud de onda selectiva que permiten un calentamiento y eliminación de malas hierbas por exclusión de longitudes de onda fotosintéticas.

2.5. Otros métodos físicos como la **radiación con microondas** necesitan de mayor investigación y desarrollo.

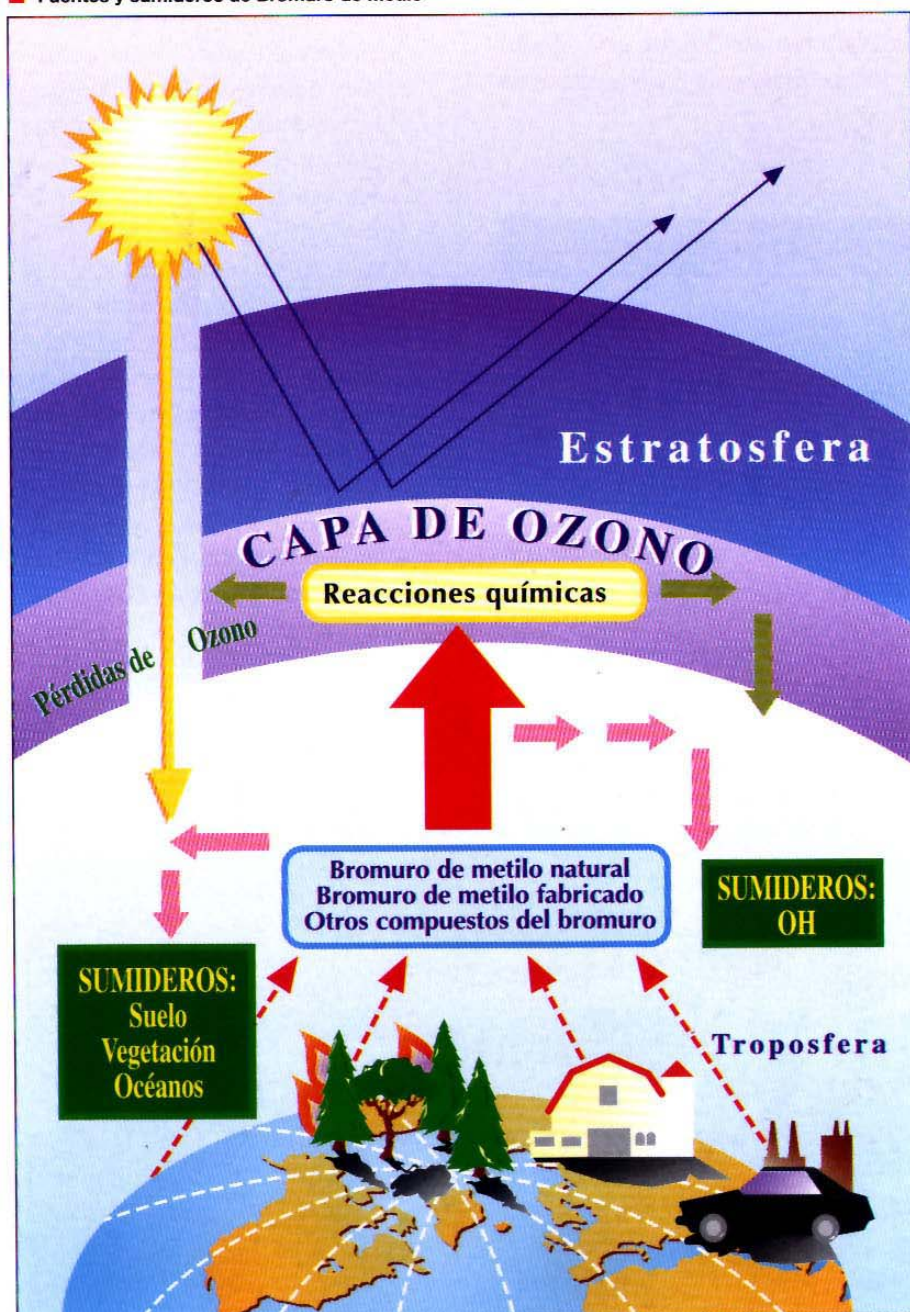
3.-ALTERNATIVAS QUÍMICAS

3.1. Fumigantes

3.1.1. Metilisothiocianato (MITC) y compuestos que generan MITC son muy efectivos en el control de enfermedades y plagas del suelo. Estos compuestos necesitan una buena preparación del suelo, humedad y, sobre todo, distribución uniforme cosa que no siempre es fácil de conseguir.

Los más utilizados son:

■ Fuentes y sumideros de Bromuro de Metilo



Metham Sodio, conocido como Vapam, formulado en líquido, es uno de los más usados ya sea mediante inyección al suelo, con el agua de riego o distribuido en el suelo antes de regar.

Dazomet que se formula como granulado se aplica al suelo, y se incorpora mediante una labor y riego.

3.1.2. Hidrocarburos halogenados se usan en algunos cultivos en donde no se usa el BM. Su aplicación es similar a la del BM pero necesitan mayor tiempo de aireación después de la fumigación. Los más usados son:

El **1,3-Dicloropropeno** es un nematocida eficaz. Sus características como tóxico e irritante son su peor inconveniente.

La **Cloropicrina** es un fungicida muy eficaz contra hongos del suelo y algunos artrópodos pero no es muy buen nematocida y herbicida. Su formulación líquida, se inyecta en el suelo y se cubre con lámina de plástico. Suele estar incorporado en las formulaciones de BM. Su perfil toxicológico es su mayor inconveniente como alternativa al BM.

El **Dibromuro de etileno** es un nematocida eficaz, con acción sobre algunos artrópodos. Se aplica por inyección al suelo en formulación líquida. Su mayor inconveniente es que además de tóxico e irritante, es carcinogénico.

3.1.3. Las mezclas de fumigantes pueden conseguir espectros de eficacia comparables a las del BM. A corto plazo son la mejor alternativa al BM. Una restricción al uso de las mezclas es la falta de datos a efectos de registro.

3.2. No Fumigantes

3.2. Las alternativas químicas no fumigantes son especialmente problemáticas debido a la habili-



Desinfección BM en bandas.

dad de muchas plagas del suelo para desarrollar resistencia o el potencial de la microflora para descomponer estos compuestos.

3.3. Otros productos se han utilizado con anterioridad, con éxito variable como el amoníaco anhidro, formaldehído, bisulfuro de carbono etc.

CONCLUSION

Una pregunta que vale hacerse es en qué manera la reducción del uso de BM en agricultura contribuirá a reducir la destrucción global de ozono. En el momento actual es difícil de contestar debido a la complejidad del problema y a las incertidumbres científicas asociadas. Las investigaciones científicas permiten asegurar que su potencial destructor, aunque comprobado, ha reducido sus índices de 0,7 a 0,4, frente al valor 1 para el CFC-11. Su período de vida medio, considerando todas las vías de eliminación, se ha visto sensiblemente reducido de 2 años a 1,3, frente a los 50-120 años de los CFCs, así mismo ha cobrado importancia el efecto sumidero y regulador de los océanos.

El BM de uso agrario, contribuye

solo parcialmente, junto al producido por los océanos, la quema de biomasa, y la combustión de gasolina con Plomo para automóviles, a los niveles de Bromo en la estratosfera. Sin embargo el BM agrícola es netamente antropogénico y por tanto eliminable simplemente prohibiendo su fabricación. Claro que la prohibición propiciaría posiblemente la aparición de un mercado negro que sería, por tanto, totalmente incontrolable.

Ante la posibilidad de una reducción "acelerada" en la producción de BM, hay sectores seriamente preocupados por la inexistencia de alternativas que puedan sustituir todos los usos de este gas. Sin lugar a dudas la mejora de la técnica de aplicación va a permitir conseguir igual nivel de protección contra enfermedades del suelo con dosis reducidas de fumigante, y sobre todo, ya es posible conseguir una mayor reducción de las emisiones a la atmósfera con las nuevas técnicas de aplicación con lámina impermeable al BM. Pero la última palabra la tiene la Convención de Viena y sobre todo las decisiones de tipo político que tomen nuestros gobernantes.