

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

**MINISTERIO DE AGRICULTURA**  
FUNDACION FONDO DE INVESTIGACION AGROPECUARIA

# **TRATAMIENTO DE LAS EMISIONES DE BROMURO DE METILO EN CAMARAS DE FUMIGACION**

- I. Usos del bromuro de metilo en América, como fumigante en suelo y para tratamientos cuarentenarios.**
- II. Métodos y productos alternativos para el bromuro de metilo.**

**DR. MARCO SCHWARTZ**  
EDITOR

Ing. Agr. **MARCELA SEPULVEDA**  
Ing. Agr. **LILIANA VILLANUEVA**

**SANTIAGO - CHILE**  
1996

## PROYECTO

### TRATAMIENTOS DE LAS EMISIONES DE BROMURO DE METILO EN CÁMARAS DE FUMIGACIÓN

- Director del proyecto** : Dr. Marco Schwartz.  
Universidad de Chile
- Coinvestigadores** : Ing. Agr. Marcela Sepúlveda.  
Universidad de Chile
- Ing. Agr. Liliana Villanueva.  
Universidad de Chile
- Colaboradores** : Sr. Edmundo Araya. FDF.  
Ing. Agr. M.S. Fernando Figuerola.  
Intec-Chile.
- Unidad responsable** : Facultad de Ciencias Agrarias y  
Forestales. Departamento de  
Agroindustria y Tecnología de los  
Alimentos. Universidad de Chile.
- Unidad Colaboradora** : Intec-Chile.
- Patrocinantes** : Fundación Fondo de Investigación  
Agropecuaria (FIA / Ministerio de  
Agricultura).
- Asociación de Exportadores, A.G.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**El bromuro de metilo (BM) es un pesticida de amplio espectro, de mayor uso en todo el mundo, siendo Estados Unidos el mayor consumidor de este producto, ocupando cerca del 50% de la producción mundial. Además, se utiliza en la región de Latinoamérica y El Caribe principalmente en fumigación de suelos para la producción de cosechas de exportación de alto valor, entre las cuales se encuentra el tabaco, las flores, cultivos de viveros, hortalizas, frutas, cultivos ornamentales y otros productos frescos.**

**Diversos organismos mundiales han estado considerando el potencial peligro que significa para la capa de ozono la contaminación con bromuro de metilo (BM). El Protocolo de Montreal, acuerdo internacional para la limitación en el uso, fabricación y venta de compuestos halogenados y bromados, con 149 países firmantes, entre los cuales se encuentra Chile, plantea el cuestionamiento del uso del BM.**

**Si bien es cierto los científicos últimamente se han puesto de acuerdo en que la contaminación natural proveniente de los océanos oscila entre un 75% y un 90%, del porcentaje restante, el área agrícola es responsable del 85%, donde la esterilización de suelos es su uso más relevante (aproximadamente 80%).**

**En un estudio realizado por el MBTOC (Methyl Bromide Technical Options Committee) se estimó que del total de BM utilizado (76.000 ton) aproximadamente un 64% se emite a la atmósfera, como se muestra en el siguiente Cuadro :**

**Uso estimado de BM y emisiones a la atmósfera  
por diferentes categorías de fumigación.**

<b>TIPO DE FUMIGACION Y PRODUCTO</b>	<b>CANTIDAD USADA (ton)</b>	<b>EMISION ESTIMADA (ton)</b>	<b>EMISION ESTIMADA (%)</b>
<b>Espacios cerrados (no perecibles)</b>			
- Granos	4.601	2.347-3.221	51-70
- Nueces	236	120	51
- Fruta Seca	236	205	87
- Maderas	4.782	4.208	88
<b>Subtotal</b>	<b>9.855</b>	<b>6.880-7.754</b>	<b>70-79</b>
<b>Espacios cerrados (perecibles)</b>	<b>6.537</b>	<b>5.556-6.210</b>	<b>85-95</b>
<b>Espacios cerrados (estructuras)</b>	<b>2.264</b>	<b>2.038-2.151</b>	<b>90-95</b>
<b>Fumigación de suelos</b>			
- Inyección superficial con cubierta	31.000	10.230-24.800	33-80
- Inyección profunda con cubierta	2.296	689	30
- Gas vaporizado con cubierta	22.963	11.481-19.518	40-85
- Inyección profunda sin cubierta	1.148	918	80
<b>Subtotal</b>	<b>57.407</b>	<b>21.022-45.925</b>	<b>37-80</b>
<b>TOTAL USO AGRICOLA</b>	<b>76.063</b>	<b>35.229-61.773</b>	<b>45-81</b>
<b>EMISION PROMEDIO</b>			<b>64</b>

Fuente : MBTOC (1995).

Por otro lado el BM está siendo seriamente cuestionado por sus potenciales efectos nocivos en la salud humana. Esto, sumado al hecho de su posible acción en la destrucción de la capa de ozono y a la tendencia de los consumidores a preferir productos menos expuestos a agroquímicos, hace necesario la búsqueda de tecnologías alternativas para su uso.

Asimismo, es necesario tener en cuenta que el comercio internacional de productos agrícolas, obliga al uso de tratamientos cuarentenarios para evitar el ingreso de plagas foráneas, práctica que es formulada por los países industrializados, EE.UU. y Japón.

El tratamiento fitosanitario cuarentenario obligatorio para el ingreso de la uva chilena al mercado de los Estados Unidos es la fumigación con Bromuro de Metilo, ya sea en Chile o en destino.

El cuestionamiento del bromuro de metilo, principal fumigante de productos agrícolas a nivel mundial, ha obligado a la búsqueda de alternativas, que se están analizando desde el punto de vista teórico para evitar la contaminación atmosférica mediante la descomposición química del bromuro de metilo, su reciclaje y el uso de filtros absorbentes.

El BM no es tan tóxico para la mayoría de los insectos como algunos fumigantes. Sin embargo, sus propiedades tales como la facultad de penetrar rápida y profundamente en materiales absorbentes a la presión atmosférica normal, su rápida disipación, la tolerancia de las plantas a su uso, además de no ser inflamable ni explosivo en circunstancias normales, lo hacen un fumigante eficaz, en muchas aplicaciones y uno de los más utilizados en la actualidad. De ahí que exista una gran inquietud en el sector agrícola ya que su reemplazo por otro compuesto químico, igualmente eficaz, no se vislumbra.

La eliminación del uso de bromuro de metilo es un complejo desafío que vendrá con la reglamentación de los pesticidas. Antes que este fumigante, tan ampliamente utilizado, sea cancelado, se deben resolver materias difíciles tales como la actual contribución del BM a la agricultura, la destrucción de la capa de ozono (tema de debates científicos), los costos económicos, ambientales y de salud de las alternativas propuestas, y cómo mitigar el impacto económico de su eliminación.

El presente trabajo responde a la necesidad de información para los distintos sectores asociados a la agricultura nacional, en particular, a los exportadores de fruta a los EE.UU. Por este motivo, se realizó una revisión, recolección y análisis de material bibliográfico disponible en Chile y en el extranjero. Además, se estableció contacto con el representante de los fabricantes de bromuro de metilo agrupados en el BMGC (Methyl Bromide Global Coalition), con el director de marketing de productos químicos de la Great Lakes Chemical Corporation, con el director de marketing de Western Fumigation y con el gerente general de Degesch Chile quienes proporcionaron información relevante para el análisis de la problemática de dicho fumigante.

Por otro lado, se obtuvieron antecedentes a partir de los trabajos que se están realizando en centros de investigación que se preocupan del abatimiento y/o sustitución del BM, tales como Department Plant Pathology (Auburn University) y Crocker Nuclear Laboratory (University of California).

Además, se utilizó información del seminario regional sobre el bromuro de metilo para América Latina y el Caribe, realizado en forma previa a la VII reunión del Protocolo de Montreal, en el cual investigadores y autoridades de gobierno, así como representantes de empresas distribuidoras para la región, dieron a conocer la situación latinoamericana para este fumigante. Por medio de dicho seminario se contactó, asimismo, a la United States Environmental

Protection Agency a través del oficial a cargo de los programas estratosféricos dependiente de la Stratospheric Protection Division.

Las alternativas que han sido planteadas incluyen la adsorción, recuperación y/o reciclaje del BM para reducir las emisiones de las cámaras de fumigación. En este sentido la tecnología recomendable que reúne las opciones señaladas, parece ser el uso de la unidad Bromosorb, equipo canadiense registrado por Halozone que puede ser adosado a la cámara de fumigación y que ha sido desarrollada y probada en EE.UU., con resultados satisfactorios en la recuperación y reuso del fumigante.

Otra técnica que podría ayudar a solucionar el tema del uso del BM, en el futuro, es la aplicación de radiaciones ionizantes. Sin embargo, esta alternativa aún requiere de mayor investigación.

Se hace referencia a los factores claves para la eliminación del uso de BM en Latinoamérica, dado que cualquier restricción comercial potencial relacionada con el uso de BM es de gran importancia para los países del Artículo 5, que dependen de las exportaciones de productos que requieren este fumigante.

El trabajo se hizo extensivo a cereales almacenados, suelos y estructuras con el objeto de conocer el efecto y la magnitud de las restricciones que se pudieran aplicar para tales productos.

Es necesario consignar que el Protocolo de Montreal exceptuó del control la fumigación con BM en operaciones de preembarque y cuarentena. Desde esta óptica, los tratamientos cuarentenarios aplicados a la fruta, que importa EE.UU. desde Chile, pueden continuar, si así lo exige este país.

También es importante hacer referencia a una ley que limita a Estados Unidos a seguir usando este producto. Dicha legislación, creada por la EPA (Environmental Protection Agency), en 1990, es la llamada Clean Air Act (CAA) y es considerada como una amenaza por los agricultores y/o exportadores norteamericanos. Esta ley establece que la elaboración de BM deberá detenerse y que todas las importaciones serán prohibidas para el 1 de enero de 2001. Está consignado, además, que no existe ninguna excepción de uso, inclusive para fines cuarentenarios.

No obstante, existe cierta inquietud en el congreso norteamericano respecto a una posible modificación del CAA, debido que deja a su agricultura en clara desventaja frente al mercado global.

Sin embargo, como se ha establecido en este documento, si en el país del norte se prohibiera el uso del BM a partir del año 2001, no podríamos fumigar en destino.

En resumen, es necesario destacar nuevamente la importancia que tiene este tema para Chile y es por ello que es conveniente disponer de información actualizada, materia de la cual se ocupa este trabajo.

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>FUMIGACIÓN CON BM EN CHILE.....</b>	<b>5</b>
2.1.	Usos y alternativas al bromuro de metilo en Chile.....	5
2.1.1.	Antecedentes.....	5
2.1.2.	Cultivos en que se utiliza bromuro de metilo .....	14
2.1.2.1.	Tomate y Pimiento para fresco.....	14
2.1.2.2.	Producción de semilla de pimentón.....	15
2.1.2.3.	Almácigos para tomate industrial.....	15
2.1.2.4.	Almácigos para cultivo de tabaco.....	16
2.1.3.	Cantidades de bromuro de metilo utilizadas.....	17
2.1.4.	Alternativas al uso de bromuro de metilo.....	17
2.1.4.1.	Metam sodio (i.a. Metilisotiocianato).....	18
2.1.4.2.	Formalina.....	18
2.1.4.3.	Basamid <sup>(MR)</sup> (i.a. Dazomet).....	19
2.1.4.4.	Enzone.....	19
2.1.4.5.	Solarización.....	19
2.1.4.6.	Vaporización de suelo .....	20
2.1.5.	Alternativas a la fumigación de fruta con BM.....	20
2.2.	Diagnóstico de la capacidad instalada de cámaras de fumigación y prefrío en Chile.....	23
2.2.1.	Evolución de los procesos de fumigación de uva en Chile.....	23
2.2.2.	Capacidad y número de cámaras de fumigación existentes en Chile.....	24
2.2.3.	Características de las cámaras de fumigación en Chile.....	28
2.2.4.	Procedimiento de fumigación.....	31
2.2.5.	Instalaciones de prefrío existentes en Chile.....	31
2.2.6.	Observaciones sobre los procesos de fumigación en Chile.....	34

<b>3.</b>	<b>SITUACIÓN LATINOAMERICANA PARA BM.....</b>	<b>35</b>
3.1.	Costa Rica.....	35
3.2.	Colombia.....	37
3.3.	Nicaragua.....	42
3.4.	Guatemala.....	45
3.5.	Cuba.....	48
3.6.	El Salvador.....	51
3.7.	Bolivia.....	52
3.8.	Panamá.....	54
3.9.	Perú.....	56
3.10.	Argentina.....	60
3.11.	República Dominicana.....	64
3.12.	México.....	67
3.13.	Venezuela.....	69
3.14.	Brasil.....	70
<b>4.</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA SITUACIÓN DEL BROMURO DE METILO EN CALIFORNIA.....</b>	<b>72</b>
4.1.	Efectos de la eliminación del bromuro de metilo.....	74
4.1.1.	Recientes restricciones al bromuro de metilo en California.....	76
4.1.2.	Fumigación de suelos en California.....	77
4.1.3.	Fumigación de postcosecha.....	78
4.1.4.	Fumigación de construcciones.....	79
4.2.	Tratamientos alternativos en función del cultivo.....	80
4.2.1.	Impacto de la cancelación del uso del BM en California.....	82
4.2.2.	Análisis del impacto de la cancelación del uso del BM en California.....	83
4.3.	Efectos económicos de la eliminación del BM en la postcosecha.....	85

4.3.1. Impacto de la eliminación del BM en nueces.....	86
4.3.2. Efecto cuarentenario.....	88
4.3.3. Impacto de la eliminación del BM a largo plazo.....	91
<b>5. ORGANISMOS VINCULADOS CON EL TEMA DE BROMURO DE METILO.....</b>	<b>92</b>
<b>6. METODOS Y PRODUCTOS ALTERNATIVOS PARA EL BROMURO DE METILO .....</b>	<b>94</b>
6.1. Alternativas en suelos.....	96
6.1.1. Alternativas no químicas para el BM.....	99
6.1.2. Alternativas químicas.....	99
6.2. Alternativas para los productos no perecibles.....	101
6.2.1. Actuales usos del bromuro de metilo.....	102
6.2.1.1. Plagas de interés.....	104
6.2.1.2. Tipos de cámaras de fumigación.....	104
6.2.2. Descripción general de las alternativas.....	105
6.2.2.1. Fumigantes y otros gases.....	105
6.2.2.2. Insecticidas de contacto.....	111
6.2.2.3. Métodos físicos de control.....	114
6.2.2.4. Métodos biológicos.....	116
6.3. Alternativas para el tratamiento de productos perecibles.....	118
6.3.1. Usos actuales del BM.....	119
6.3.2. Características de las alternativas posibles.....	129
6.3.2.1. Tratamientos de precosecha.....	129
6.3.2.2. Tratamientos de postcosecha.....	132
6.3.3. Disponibilidad de alternativas para controlar plagas en cada grupo de productos.....	141
6.3.3.1. Manzanas y peras.....	141
6.3.3.2. Carozos.....	143
6.3.3.3. Cítricos.....	145

6.3.3.4. Uvas.....	146
6.3.3.5. Berries.....	147
6.3.3.6. Cultivos de raíz.....	149
6.3.3.7. Hortalizas.....	150
6.3.3.8. Cucurbitáceas.....	152
6.3.3.9. Frutas tropicales.....	153
6.3.3.10. Flores cortadas y plantas ornamentales.....	155
6.3.3.11. Bulbos.....	157
6.4. Alternativas para estructuras.....	159
<b>7. MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DEL BROMURO DE METILO.....</b>	<b>161</b>
7.1. Recuperación del bromuro de metilo.....	162
7.1.1. Adsorción en carbón activado.....	162
7.1.2. Reciclaje del BM adsorbido en carbón activado.....	163
7.1.3. Condensación y carbón activado.....	164
7.1.4. Reprocesamiento y reciclaje con el método de condensación y carbón activado.....	164
7.1.5. Adsorción en líquidos reactivos.....	165
7.1.6. Otras técnicas de recuperación.....	165
7.1.7. Terr-Aqua Enviro Systems Inc.....	168
7.2. Tecnologías en Desarrollo.....	170
7.2.1. Sistema Bromosorb de Halozone.....	170
7.2.1.1. Evaluación técnica de la unidad Bromosorb en una cámara de fumigación en Chile.....	175
<b>8. RADIACIÓN.....</b>	<b>184</b>
8.1. Introducción.....	184
8.2. Características del proceso.....	186

8.3.	Uso de la radiación en Florida, Estados Unidos.....	189
8.4.	Uso de la radiación en California, Estados Unidos.....	190
8.5.	Uso de la radiación en zonas tropicales.....	191
8.5.1.	Los problemas cuarentenarios en las regiones tropicales y subtropicales.....	191
8.5.2.	Procedimientos cuarentenarios, pasados y actuales, usados en Hawai.....	192
8.5.3.	Factibilidad técnica del uso de la radiación como método de tratamiento cuarentenario.....	193
8.5.4.	Uso de la radiación en Hawai.....	194
8.6.	Uso de la radiación en diversos productos agrícolas.....	196
8.6.1.	Uso de la radiación en granos.....	196
8.6.2.	Uso de la radiación en cerezas dulces.....	197
8.6.3.	Uso de la radiación en frutas secas y nueces.....	198
8.6.4.	Uso de la radiación en frutas y hortalizas frescas.....	200
8.7.	Otros estudios relacionados con el uso de la radiación.....	200
8.7.1.	Uso de la radiación para controlar la polilla de la manzana...	200
8.7.2.	Técnicas para identificar moscas de la fruta irradiadas.....	201
8.7.3.	Uso de la radiación en <u>Trogoderma granarium</u> .....	202
8.7.4.	Irradiador GRAY STAR™ .....	203
8.7.5.	Madera tratada con cobalto 60.....	204
8.8.	Uso de la radiación en Chile.....	205
8.9.	Problemática actual y perspectivas del uso de esta técnica.....	212
9.	<b>ELEMENTOS CLAVES PARA LA ELIMINACIÓN DEL USO DE BROMURO DE METILO EN LATINOAMERICA.....</b>	<b>216</b>
9.1.	Introducción.....	216
9.2.	Premisa y objetivo.....	217
9.3.	Contexto agrícola latinoamericano.....	218
9.3.1.	Utilización de BM en Latinoamérica.....	218

9.4.	Elementos para la eliminación.....	220
9.4.1.	Existencia de Alternativas Adaptadas y Difundidas.....	220
9.4.2.	Modificación de las Regulaciones Cuarentenarias.....	222
9.4.3.	Difusión y Transferencia de Tecnologías Alternativas.....	223
9.4.4.	Incentivos para la Sustitución.....	224
9.4.5.	Prioridades en la Asignación de Recursos.....	225
9.4.6.	Restricciones de Mercados.....	225
9.4.7.	Acceso a Suministros de BM.....	226
<b>10.</b>	<b>PLAN ESTRATEGICO PROPUESTO PARA LA INDUSTRIA FRUTICOLA CHILENA .....</b>	<b>228</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>257</b>
<b>12.</b>	<b>LITERATURA CONSULTADA.....</b>	<b>260</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>El bromuro de metilo como sustancia depresora de la capa de ozono .....</b>	<b>273</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>EPA y la eliminación del Bromuro de Metilo .....</b>	<b>286</b>
<b>ANEXO III</b>	<b>Informe de la VII Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal.....</b>	<b>290</b>
<b>ANEXO IV</b>	<b>Chile. Importación, Consumo y Usos del Bromuro de Metilo .....</b>	<b>294</b>
<b>ANEXO V</b>	<b>Participantes del Seminario Regional para América Latina y el Caribe sobre Bromuro de Metilo (1995) .....</b>	<b>299</b>
<b>ANEXO VI</b>	<b>Fumigantes Disponibles .....</b>	<b>307</b>

<b>ANEXO VII</b>	<b>La fosfina como alternativa del Bromuro de Metilo en la fumigación de productos no perecederos .....</b>	<b>318</b>
<b>ANEXO VIII</b>	<b>Fosfina para fumigación de cereales y otros productos almacenados .....</b>	<b>324</b>
<b>ANEXO IX</b>	<b>Lista de países encuestados por MBTOC .....</b>	<b>335</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La información científica señala que los clorofluorocarbonos (CFC), halones y otras sustancias similares (bromuro de metilo, BM) podrían ser la causa de la reducción de la capa de ozono estratosférica. También se ha determinado que esta reducción ha llevado a la disminución de su capacidad de escudo contra las dañinas radiaciones ultravioleta provenientes del sol (Anexo I).

Las investigaciones basadas en modelos han llevado a los especialistas a predecir que este proceso de la disminución de la capa de ozono estratosférica puede provocar serios problemas si no se corrigen y se controlan a tiempo.

Bajo este contexto es que la mayoría de los países del mundo han movilizado sus recursos para abordar dicho problema. El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, realizada bajo los auspicios de PNUMA en 1985, fue el primer intento en ofrecer una infraestructura para actividades cooperativas, incluyendo el intercambio de información sobre la protección de atmósfera y aplicar medidas preventivas.

Después del Convenio de Viena, se adoptó el Protocolo de Montreal sobre sustancias destructoras del ozono en septiembre de 1987. Sus disposiciones hacen un llamado a la reducción o eliminación total tanto en la producción como en el consumo de sustancias especificadas que disminuyen el O<sub>3</sub> y propone un cronograma para eliminarlas.

Por otro lado, en noviembre de 1990, el congreso de EE.UU. modificó la ley del aire limpio (Clean Air Act) requiriendo que todas las sustancias que son destructoras del ozono (aquellas que tienen un ODP > 0,2) sean

eliminadas dentro de 7 años, luego de ser listadas bajo la ley. Así, en noviembre de 1993, la EPA (Environmental Protection Agency) anunció que el BM, que tiene un ODP de 0,7 será eliminado de acuerdo a dicha ley (US-EPA, 1993a) (Anexo II). A pesar de las objeciones del sector agrícola estadounidense la EPA dictaminó que :

1. La producción de BM en EE.UU. fuera congelada a los niveles del año 1991 a partir de 1994.
2. La producción e importación de BM se terminaría el año 2001. Sin embargo, se permite el consumo de las existencias de BM (US-EPA, 1993b).

En la reunión del Protocolo de Montreal realizada en Copenhague (noviembre 18, 1992) se tomaron acuerdos relacionados con el bromuro de metilo (BM), producto químico de fumigación que está siendo cuestionado por afectar el ambiente y la salud humana. Dicho Protocolo es un acuerdo internacional entre un grupo de países pertenecientes a las Naciones Unidas, preocupados por problemas que afectan al ambiente, entre los que se encuentra Chile. Los acuerdos generales de esta reunión fueron los siguientes:

1. Inclusión del BM en la lista de producto químico que colabora al deterioro de la capa de ozono, registrándose como sustancia controlada.
2. Limitación de su uso a partir del año 1995, sobre la base de los niveles de consumo y producción de 1991, exceptuándose los usos cuarentenarios y de pre-embarque.

3. Disminución de sus usos no cuarentenarios a partir del año 2000 (con alternativas que van desde 0% al 25%).
4. En relación a los países en desarrollo (Artículo 5), el 01 de enero de 1996 se definirá el año base, para determinar el calendario que regulará el consumo de este fumigante.

En la séptima reunión de las partes del Protocolo de Montreal, realizada en Viena (30 de noviembre al 4 de diciembre de 1995), se acordó que la producción de BM en los países desarrollados (Artículo 2) deberá cesar totalmente en año 2010, con reducciones parciales a partir del 2001 (Anexo III).

El protocolo de intenciones señala que las naciones desarrolladas, que producen alrededor del 80% del total mundial, reducirán gradualmente la fabricación del pesticida. Es decir, para el 2001 la elaboración debería bajar en 25%; en 50% para el 2005 y en 100% para el 2010.

Sin embargo, se consideran excepciones para "usos críticos en agricultura", para este año; y en 1997, se espera negociar la eliminación de la fabricación en los países en desarrollo.

En cualquier caso, ambos grupos de países (Artículo 2 y 5) se encuentran exceptuados de los usos cuarentenarios y de pre-embarque del BM.

El proceso de exportación de productos hortofrutícolas enfrenta numerosas limitaciones para arancelarias derivadas de mecanismos de protección. Uno de estos mecanismos es el invocado con relación a la protección fitosanitaria, el cual puede llevar a severos niveles de restricción

a la comercialización internacional. En efecto, los países suscriben acuerdos globales o bilaterales para formular sus mecanismos restrictivos, basados normalmente en modalidades dictadas por el país importador. No se trata precisamente de acuerdos, sino más bien imposiciones cuarentenarias.

Es por ello que el sector exportador chileno podría verse afectado, de no existir alternativas técnicas y económicamente viables el BM, específicamente para la exportación de uva de mesa al mercado de EE.UU., si es que éste no permitiera fumigar esta fruta allá.

Los exportadores chilenos no pueden destinar uva al mercado estadounidense sin fumigarla con este producto (tratamiento cuarentenario establecido en la norma T101 (a), Anexo IV, Cuadro IV.1), lo cual se realiza en alrededor de 212 cámaras del sector privado. Esto no significa que el 100% de la uva se trata en Chile. De hecho, según datos de la Asociación de Exportadores, este volumen correspondería a cerca de un 30% del total embarcado. El resto es tratado a la llegada o en destino.

Este trabajo responde a la necesidad de información para los distintos sectores asociados a la agricultura nacional, en particular, a los exportadores de fruta a los EE.UU. Se hace referencia a la utilización del BM y la disponibilidad de sustitutos, en Chile y Latinoamérica. Además, se realiza un análisis de lo que acontece en el estado de California de los Estados Unidos pues su fruticultura tiene una agroecología similar a la de nuestro país, y esto puede ayudar a la toma de decisiones respecto del actual uso del BM en Chile, conociendo lo que a este respecto se está haciendo en el país del norte. También se hace mención a las formas de controlar las emisiones, la recuperación y/o reciclaje del BM, y otras opciones, así como plantear la revisión del programa de fumigación del USDA/SAG para uva de mesa.

## 2. FUMIGACION CON BM EN CHILE

### 2.1 Usos y alternativas al bromuro de metilo en Chile. <sup>1</sup>

#### 2.1.1 Antecedentes

El bromuro de metilo (BM) es un fumigante usado para el control de un espectro de plagas, insectos y nemátodos. También puede ejercer una acción efectiva en el control de muchas malezas y semillas en el suelo.

Se comercializa en envases de 10 a 200 Kg y también existen pequeñas bombonas de 0.5 a 1.0 Kg cada una.

En Chile, la importación de BM tiene tres orígenes bien establecidos, estos son: Israel, Bélgica y Estados Unidos. De Israel proviene el mayor volumen importado con un 49,2% de presencia en el mercado, seguido de Bélgica con un 27,6% y finalmente Estados Unidos que representa un 23,2% del volumen total de BM importado entre 1992 y 1994 (Datos ODEPA, 1995) (Cuadro 2.1).

En el Cuadro 2.2 se presenta los volúmenes de importación de BM por país de origen desde 1990 a julio de 1995.

---

<sup>1</sup>Fuente: José Olavarría M., Rodrigo Ortiz C. y Loreto Mora G.  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias-La Platina.  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean  
Colombia-1995.

**Cuadro 2.1.- Participación relativa de los países exportadores entre 1992 y 1994.**

PAIS	% IMPORTACION
Estados Unidos	23,2
Bélgica	27,6
Israel	49,2

**Cuadro 2.2.- Importación de Bromuro de Metilo por país de origen.(Kg.neto).**

PAIS	AÑOS					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995 <sup>a</sup>
EE.UU	142.596	80.719	76.724	89.838	31.525	16.849
Bélgica	75.608	89.136	106.815	87.568	40.268	35.968
Israel	117.691	86.498	135.947	122.484	127.178	144.249
<b>TOTAL</b>	<b>335.691</b>	<b>256.353</b>	<b>319.486</b>	<b>299.890</b>	<b>198.971</b>	<b>197.066</b>

<sup>a</sup>: datos a julio 1995.

Fuente: Banco Central de Chile.

En el cuadro 2.3 se presentan los volúmenes importados de bromuro de metilo por mes entre los años 1992 y 1995.

Los menores volúmenes de importación realizados durante el año 1994 se explicarían por una acumulación de volúmenes de los dos años anteriores debido a la expectativa de un aumento de consumo de BM para la fumigación de fruta de exportación a EE.UU.. Estas fumigaciones se habrían realizado de acuerdo a un programa USDA-SAG de fumigaciones crecientes en origen, pero dicho programa fue cancelado sin llevarse a la práctica.

Cuadro 2.3. Importación de Bromuro de Metilo. Volúmenes por mes. (Kg.neto).

MES	AÑOS			
	1992	1993	1994	1995
Enero	14.669	4.790	21.706	75.396
Febrero	23.032	39.959		17.000
Marzo	46.102	22.189	21.500	
Abril	18.768	52.834	57.215	
Mayo	31.642		18.812	12.600
Junio			15.812	30.428
Julio	63.284	97.221		31.642
Agosto	6.793	14.109		
Septiembre	25.200	12.600	15.807	
Octubre	17.679	34.000		
Noviembre	25.365	4.986	31.188	
Diciembre	46.952	17.200	16.975	
<b>TOTAL</b>	<b>319.487</b>	<b>299.888</b>	<b>198.971</b>	

Fuente: Banco Central de Chile.

En el Anexo IV, Cuadro IV.1 se puede observar una comparación entre el consumo estimado y las importaciones del fumigante, entre los años 1990 y 1994.

Al utilizarse el bromuro de metilo como fumigante del suelo, éste puede ser inyectado directamente al terreno o aplicado a través de sistemas de riego usando dosis entre 400-450 Kg/Ha. En el caso de aplicarlo a frutas con exigencias cuarentenarias para EE.UU., esto se realiza en cámaras de fumigación diseñadas y construidas bajo especificaciones del USDA, es decir, su capacidad es de 300 m<sup>3</sup> cada una y las dosis utilizadas varían según la condición de temperatura de la fruta que están establecidas por el tratamiento cuarentenario T101(a) del USDA (Ver anexo IV, Cuadro IV.2).

Existen básicamente tres empresas distribuidoras del producto en el país, Degesch de Chile Ltda., Agrícola Nacional S.A.C. e Industrial (Anasac) y Bayer de Chile S.A..

En el Cuadro 2.4 se presentan las principales empresas importadoras clasificadas según Pro-Chile de acuerdo al rango de importación en US\$.

Cuadro 2.4.- Clasificación según rango de importación.

EMPRESA	CLASIFICACION	RANGO DE IMPORTACION (US\$)
Del Curto	F	30.000 - 60.000
Degesch de Chile Ltda.	E	60.000 - 150.000
Chiletabacos	E	60.000 - 150.000
Bayer de Chile S.A.	D	150.000 - 500.000
Anasac	D	150.000 - 500.000

Fuente: Pro-Chile 1994.

En el Cuadro 2.5 se presenta la participación en volumen de las distintas empresas importadoras de Bromuro de Metilo en 1994.

De acuerdo a la información recopilada a la fecha y a los datos obtenidos en relación al uso del producto, no hay aún antecedentes precisos ya que las empresas importadoras no llevan un detalle de sus clientes debido a que, en muchos casos corresponden a pequeños agricultores cuyas superficies a fumigar son muy variables.

Cuadro 2.5.- Importación de Bromuro de Metilo. Año 1994.

IMPORTADOR	VOLUMEN (Kg)	PORCENTAJE (%)
Degesch de Chile Ltda.	31.525	15,8
Bayer de Chile S.A.	40.268	20,3
Anasac	127.178	63,9
<b>TOTAL</b>	<b>198.971</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Aduana.

Por otra parte no existen estadísticas oficiales del uso del BM en Chile. Sólo es posible obtener información en aquellos casos en que los volúmenes de venta son considerables o a partir de consumidores organizados como es el caso de los exportadores de frutas y hortalizas (Asociación de Exportadores de Chile A.G.).

El bromuro de metilo se puede obtener en formulaciones de distinta concentración de acuerdo al uso dado; para la fumigación de fruta se utiliza BM al 100%, en cambio para la fumigación de suelo puede usarse al 98% o al 75%.

De acuerdo a los datos obtenidos para el año 1994, la fumigación de suelo correspondió al mayor porcentaje (70%) en el uso de BM. En el Cuadro IV.3 del Anexo IV, se señala la producción de cultivos en suelos tratados con BM.

Un 22% del producto importado para ese año se destinó a fumigación de fruta y el 8% restante corresponde a otros usos como el sector forestal y

fumigaciones de bodega. (Estos datos corresponden a estimaciones de acuerdo a la información obtenida de diversas fuentes).

Una estimación de la utilización de Bromuro de Metilo en el año 1994 para la desinfección de suelo, la fumigación de fruta y el sector forestal y otros, se presenta en el Cuadro 2.6.

Cuadro 2.6.- Uso del Bromuro de Metilo en Chile. Año 1994.

USOS	KILOS	PORCENTAJE
Fumigación de suelo	140.000	70,0
Fumigación de fruta	45.000	22,0
Postcosecha de granos	0	0.0
Otros	16.000	8,0
<b>TOTAL</b>	<b>201.000</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Estimación en base a datos recolectados.

Los antecedentes recopilados hasta ahora permiten señalar que los principales cultivos en que se realiza la fumigación de suelo con BM son:

- Tomate para fresco
- Pimentón para fresco
- Producción de semillas de pimentón
- Almacigos para tomate industrial
- Almacigos para cultivo de tabaco
- Suelos para almacigos en viveros de árboles frutales
- Almacigos para hortalizas.

En el Cuadro 2.7 se señalan las principales enfermedades controladas por BM.

Cuadro 2.7.- Principales enfermedades controladas por BM

CULTIVO/USO	PLAGA/ENFERMEDAD
Tomates	<u>Pyrenochaeta lycopersici</u>
Pimentón	<u>Phytophthora capsici</u>
Almácigo hortalizas	<u>Rizoctonia spp.</u> <u>Phytium spp.</u> <u>Fusarium spp.</u>
Viveros árboles frutales	<u>Armillaria spp</u>
Almácigos forestales	<u>Macrophomina phaseolina</u>

De acuerdo a la fumigación de fruta con exigencias cuarentenarias y como se puede apreciar en el Cuadro 2.8, las especies que requieren este tratamiento para poder ingresar a Estados Unidos son: uva de mesa, castañas, cítricos (limones), nectarines, duraznos, ciruelas y damascos.

Antecedentes entregados por dos empresas forestales que exportan madera a EE.UU. señalan la necesidad de fumigar de fumigar con BM a dosis de 80 g/m<sup>3</sup> de madera. Se desconoce los volúmenes tratados.

Cuadro 2.8.- Productos tratados con bromuro de metilo.

PRODUCTO	TRATAMIENTO POSTCOSECHA (excluyendo cuarentena)	TRATAMIENTO DE CUARENTENA
Cajas de uva	SO <sub>2</sub> como gas	Tratamiento T101(a) con BM
Castañas		Tratamiento T101(q) con BM
Limonos	Encerado	Tratamiento T101(a) con BM
Nectarines		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Duraznos		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Ciruelas		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Damascos		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG

Fuente: USDA.

En el Cuadro 2.9 se presentan los volúmenes de fruta fumigada en origen (Chile) durante la temporada 1994/95 con destino a Estados Unidos.

**Cuadro 2.9.- Volúmenes de fruta fumigada, temporada 1994/95. (miles de cajas).**

ESPECIE	CAJAS
Damascos	11.076
Nectarines	163.777
Ciruelas	203.721
Duraznos	204.445
Uva de mesa	9.069.054

Fuente: Asociación de Exportadores de Chile A.G., 1995

Chile exportó durante la temporada 1994-95 un total de aproximadamente 63 millones de cajas de uva de mesa, de las cuales alrededor de 35 millones se exportaron a EE.UU., esto significa que un 14% del total de fruta exportada se fumigó en el país o, lo que es lo mismo un 25% de la fruta exportada a Estados Unidos. Sin embargo la totalidad de la uva de mesa exportada a EE.UU. (35 millones de cajas) requiere ser tratada con BM según tratamiento T101(a) ya sea en origen (Chile) o en destino antes de ingresar a EE.UU.

## 2.1.2. Cultivos en que se utiliza bromuro de metilo

### 2.1.2.1. Tomate y Pimiento para fresco

#### Tomate

Actualmente existen en el país algo más de 2.000 ha de tomate bajo invernadero, el cual se fumiga en la zona central a lo menos una vez en la temporada ya que en el año se obtienen dos cosechas. Se cultiva para primor (julio a diciembre) y para otoño (enero a mayo).

El principal objetivo de esta fumigación es el control del hongo Pyrenochaeta lycopersici, agente causal de la raíz corchosa del tomate.

Debido al alto costo de la producción de tomate bajo plástico y a la buena rentabilidad que puede alcanzar este cultivo, se justifica el uso del fumigante BM que garantiza la implantación y una adecuada densidad de plantas. Sin embargo, es difícil determinar la superficie real fumigada.

Algunos productores están exportando tomate a Argentina para lo cual se les exige fumigación con BM lo que explica lo indicado en Cuadro IV.4 del Anexo IV.

#### Pimiento

En el caso del pimiento, existen en el país aproximadamente 3.300 hectáreas cultivadas, de las cuales no más del 5% están bajo plástico (165 ha) y que serían fumigadas, en algunos casos se usa como segundo cultivo después del tomate de otoño, fumigándose uno de los dos cultivos en la temporada.

Esto dificulta una estimación de la superficie real fumigada. El principal objetivo en la fumigación del pimiento para consumo fresco es el control del hongo Phytophthora sp., agente causal de la tristeza del pimentón.

#### 2.1.2.2. Producción de semilla de pimentón

En las últimas temporadas la producción de semilla híbrida de pimentón ha alcanzado gran importancia, especialmente en la V región y el Area Metropolitana donde se concentra la producción por cultivarse bajo invernadero (con cobertura de plástico). Dado los altos costos que supone la producción de semilla híbrida se utiliza BM para fumigar el suelo.

Actualmente existen cinco empresas dedicadas a este rubro, con un total de casi 40 há., que son fumigadas para minimizar la pérdida de plantas. Se debe tener en cuenta que normalmente se trabaja con contratos de producción con las empresas semilleras.

#### 2.1.2.3. Almacigos para tomate industrial

En nuestro país se cultivan aproximadamente 12.000 há de tomate para uso agroindustrial, en las que sólo se fumiga el suelo destinado para los almacigos.

Normalmente se calcula que para plantar una hectárea, se requieren 100 m<sup>2</sup> de almacigo, el cual se fumiga para evitar pérdidas de plantas. De acuerdo a estos datos, la superficie total fumigada para la producción de tomate de uso agroindustrial corresponde a 120 há.

#### 2.1.2.4. Almacigos para cultivo de tabaco

Actualmente se cultivan 5.000 há. de tabaco en el país, en las que sólo se fumiga el suelo para los almacigos. La superficie de almacigos destinada a una hectárea de cultivo corresponde a 100 m<sup>2</sup> por lo que se estarían fumigando, aproximadamente, 50 há.

En el Cuadro 2.10 se presenta un resumen de los cultivos en los cuales se utiliza BM para desinfectar el suelo.

Cuadro 2.10. Superficie de cultivos en que se fumiga el suelo con Bromuro de Metilo (há).

CULTIVO	SUPERFICIE CULTIVADA (há)	SUPERFICIE FUMIGADA (há)
Tomate invernadero	2.114	2.000
Pimiento invernadero	165	165
Semillas de pimentón	38	38
Tomate industrial (almácigo)	11.590	120
Tabaco (almácigo)	5.000	50
<b>TOTAL</b>	<b>18.907</b>	<b>2.373</b>

Fuente: Estimaciones en base a datos de ODEPA.

### **2.1.3. Cantidades de bromuro de metilo utilizadas**

En fumigación de suelo existe la alternativa de inyectar el BM al suelo o aplicarlo a través del sistema de riego tecnificado (cintas). Por otra parte, las dosis varían según la concentración de Cloropicrina con que viene formulado el Bromuro de metilo, usando BM al 98% para las dosis más altas y BM al 75% para aquellas más bajas.

Las cantidades de BM usadas varían entre 450 y 800 Kg/há. En la fumigación a través del sistema de riego se usan 2 bombonas de 680 g. por 15 m<sup>2</sup> de suelo lo que da un total de 450 Kg/há, ya que sólo se fumigan las mesas de plantación, es decir un 50% de la superficie total.

En el caso del uso de Bromuro de Metilo inyectado al suelo, las dosis varían de 45 a 80 g/m<sup>2</sup>, lo que determina una dosis de 450 a 800 Kg/há.

Con respecto a los costos, las bombonas de 680 g. tienen un precio que varía entre US\$ 3,5 y US\$ 5,0 por unidad, más IVA (18%) y en el caso de BM inyectado al suelo, los costos son de US\$ 4,2/Kg. para el BM al 98%, y US\$ 4,6 para la formulación al 75%. Además se debe pagar aparte el costo por arriendo del equipo inyector. Por lo tanto, la fumigación de suelos con BM alcanza costos entre US\$ 2.050 y 3.080 más IVA por hectárea (Cuadro 2.11).

### **2.1.4. Alternativas al uso de bromuro de metilo**

En fumigación de suelos existe una amplia variedad de productos que han sido utilizados (Anexo IV, Cuadro IV.5), los que no han dado resultados tan eficientes como el BM; entre ellos se debe mencionar.

Cuadro 2.11. Dosis y costos del uso de Bromuro de Metilo/há.

PRODUCTO	DOSIS USADA (Kg/Há)	COSTO/Kg (US\$)	COSTO/Há (US\$) <sup>o</sup>
Bombona 680 g Bromuro 98% (inyectado)	450-800	5,1-7,3 3,5	2.295-3.285 1.575-2.800
Bromuro 75% (inyectado)	450-800	5,0	2.250-4.000

Fuente: Valores de mercado en Quillota, V Región.

<sup>o</sup> 1 US\$: \$390.

#### 2.1.4.1. Metam sodio (i.a. Metilisotiocianato)

Estos productos no dejan residuos en el suelo, no requieren cubiertas, las dosis utilizadas oscilan entre 100-120 mL/m<sup>2</sup>. No son buenos controladores de semillas de malezas ni del hongo *Pyrenochaeta lycopersici*, lo que limita su uso en cultivo de tomate.

#### 2.1.4.2. Formalina

También conocido como formaldehído, producto que ya prácticamente no se usa por ser poco eficiente. Se debe aplicar al suelo 20-40 días antes de la plantación, a través del sistema de riego con dosis entre 250-300 mL/m<sup>2</sup>, no deja residuos en el suelo.

#### 2.1.4.3. Basamid <sup>(MR)</sup> (i.a. Dazomet)

Producto de formulación en polvo, se usa en dosis de 60 g/m<sup>2</sup>, debe ser incorporado al suelo con agua de riego o usando cubiertas de polietileno. Este producto se presenta como la mejor alternativa en reemplazo del BM y ya está siendo usado en forma experimental en la fumigación de almácigo para tomate industrial, tabaco y producción de semillas híbridas.

#### 2.1.4.4. Enzone

Desinfectante de amplio espectro que controlaría Phytophthora y Pyrenochaeta lycopersici. Las dosis de aplicación varían entre 20 y 25 L/1000m<sup>2</sup> en cuatro parcialidades a través del sistema de riego. Este producto ha sido utilizado en España presentando el gran inconveniente de que al ser mezclado con productos de carácter ácido produce gases tóxicos lo que lo hace peligroso para la salud humana.

#### 2.1.4.5. Solarización

Esta práctica consiste en cubrir una superficie de suelo con polietileno transparente y dejarlo expuesto a la radiación solar por un período de tiempo entre 20-30 días. Esta técnica ha sido muy desarrollada en España especialmente en zonas con alta radiación solar. Presenta el inconveniente de los costos y de una adecuada técnica para cubrir y retirar el plástico del suelo. Para nuestras condiciones, se presenta como una alternativa interesante de ser utilizada en almácigos en zonas con alta radiación solar. Se hace necesario evaluar la capacidad efectiva para el control de enfermedades específicas que se presentan en nuestros suelos. Actualmente algunos productores están evaluando y aprendiendo de la técnica.

#### 2.1.4.6. Vaporización de suelo

Método muy eficaz ya que puede destruir incluso virus. Se debe alcanzar temperaturas de 85° C durante 30 minutos inyectando el vapor a una masa de suelo. Sistema ampliamente usado en viveros, ya que su uso se restringe a bajos volúmenes de suelo, debido a los elevados costos en términos de infraestructura y de combustible requerido.

Todos los métodos o técnicas antes descritas deben ser evaluadas y validadas en las condiciones locales para su uso particular y determinar si son una alternativa adecuada y económicamente viable al BM.

#### 2.1.5. Alternativas a la fumigación de fruta con BM

De las especies cuya fruta requiere fumigación con BM por exigencias cuarentenarias, la más importante por los volúmenes exportados es la uva de mesa, que debe ser fumigada obligatoriamente por ser hospedero de la falsa araña de la vid (Brevipalpus chilensis), plaga cuarentenaria para Estados Unidos. Como alternativa a la fumigación en uva de mesa se estudia el establecer y desarrollar un plan piloto de tratamiento fitosanitario en los huertos para controlar a dicho ácaro y obtener la condición de "huerto libre de araña" que sea acreditado por el SAG con reconocimiento del USDA.

Otra alternativa para el tratamiento de frutas, es el uso de luz ultravioleta pulsada (láser). Estos sistemas láser 54 UV tienen una gran potencia para el control superficial de bacterias, hongos y virus; además con intensidades de luz de 250-280 nm. es posible ejercer un control superficial de insectos o ácaros, lo que permitiría obtener un mejoramiento en las condiciones de manejo, transporte y almacenaje prolongado de la fruta. Actualmente se está evaluando la factibilidad técnica de implementar este

sistema en uva de mesa. La principal limitante que se presenta es de carácter técnico y económico debido al alto costo del sistema y a que se deben adaptar las estructuras de los packing actuales al uso de luz UV pulsada.

Otras técnicas alternativas al uso del BM es el uso de ceras naturales aplicada a los frutos, técnica que se utiliza en chirimoya (*Annona cherimola*), en algunos cítricos como limón y en etapa experimental en mandarina (*Citrus reticulata*). Esta técnica consiste en recubrir los frutos con una cera que impide el desarrollo de enfermedades y que además actúa sobre los insectos presentes en los frutos cubriéndolos y asfixiándolos.

Con respecto a los carozos, se ha logrado manejar la alternativa de inspección de fruta en origen y en destino para evitar el uso de fumigación con BM, logrando resultados erráticos ya que no hay un control adecuado de la presencia de insectos cuarentenarios.

Para el caso de especies como espárragos y frambuesas, el uso de BM (tratamiento T101) no es obligatorio, pero aún así en algunos casos se fumiga para evitar la presencia de insectos que pudiesen generar el rechazo de las importaciones.

Otras alternativas posibles que deben ser estudiadas para evaluar su efectividad en las plagas cuarentenarias son la aplicación de frío, el uso de atmósfera modificada (AM) alterando la concentración relativa de  $O_2$  y  $CO_2$  y la utilización de técnicas de alta presión seguidas de rápidas descompresiones (método PEX) en estudio en países desarrollados.

Finalmente se debe mencionar como una alternativa interesante para la fumigación de fruta, el uso de un equipo que es capaz de reciclar el BM

usado sobre los frutos en las cámaras de fumigación (tratamiento T101). Esta máquina de la empresa canadiense Halozone conocida comercialmente como BROMOSORB<sup>(MR)</sup> se encuentra actualmente en nuestro país donada por esta empresa sin que se haya podido utilizar debido a la falta de recursos económicos para ponerla en operación y evaluar su efectividad como recicladora del BM. En este sentido, el sector exportador con apoyo del sector público y la participación de Institutos de Investigación (INIA e INTEC) formularon un proyecto para acceder a fondos externos que financiaran la evaluación de este equipo sin lograr una respuesta positiva hasta la fecha. Por otra parte, evaluaciones efectuadas por la misma empresa es posible reciclar hasta un 95% del BM utilizado en las cámaras. Otros antecedentes sobre esta tecnología canadiense se entregan en el apartado 7.2.1.

En el Cuadro 2.12 se presenta un resumen de las alternativas descritas.

Cuadro 2.12. Alternativas al uso de Bromuro de Metilo en fumigación de fruta con exigencias cuarentenarias.

ESPECIE	TRATAMIENTO
Uva de mesa	Huerto libre de araña Irradiación Luz pulsada Reciclaje de BM
Carozos	Doble inspección USDA/SAG Frío Atmósfera modificada
Limonos	Encerado
Mandarinas	Encerado

## 2.2. Diagnóstico de la capacidad instalada de cámaras de fumigación y prefrío en Chile <sup>1</sup>

### 2.2.1. Evolución de los procesos de fumigación de uva en Chile

Chile, en la temporada 1994/95 exportó más de 160 millones de cajas de productos hortofrutícolas, de los cuales el 38,7% correspondió a uva de mesa. Del total de uva exportada a diferentes mercados, aproximadamente el 54%, unas 34 millones de cajas, se canalizaron al mercado de Estados Unidos (Anexo IV, Cuadro IV.6).

La vid es hospedante primaria del ácaro Brevipalpus chilensis Baker (falsa arañita de la vid), especie bajo estricta cuarentena vegetal para los Estados Unidos. El reducido tamaño de este ácaro, junto con la dificultad de su detección en los racimos, hacen que la inspección de los embarques sea poco confiable. Esto ha determinado que la fumigación con BM sea la alternativa más segura de tratamiento cuarentenario aceptado por los EE.UU. Como se señaló en el apartado 2.1.1, este tratamiento puede ser realizado en Estados Unidos o en Chile. No obstante, los procesos de fumigación en Chile han ido decreciendo paulatinamente en los últimos años (Cuadro 2.13), debido, fundamentalmente, a problemas de calidad que genera dicho tratamiento al mediar un excesivo período de tiempo, entre el momento de la fumigación y la comercialización en el país de destino.

La temporada en que se ha realizado el mayor número de procesos de fumigación en Chile fue 1989/1990, con cerca de 26,3 millones de cajas,

---

<sup>1</sup> David Castro.

Asociación de Exportadores de Chile A.G. 1992.

equivalente al 62% del total exportado a los EE.UU. en ese período. En la temporada 1991/92, dichos procesos se redujeron aproximadamente a un 30% en relación al total embarcado a los EE.UU. Esta situación prácticamente se ha mantenido hasta la temporada pasada.

**Cuadro 2.13. Volúmenes de uvas fumigadas en Chile con destino a los EE.UU., por región (cajas).**

Región	1989/90	1990/91	1991/92	1993/1994	1994/95
	Cajas				
III	1.494.914	1.468.722	631.905	968.273	989.563
IV	5.326.752	2.118.969	2.060.037	1.957.287	1.839.129
V	10.108.204	3.470.969	3.799.017	3.213.278	2.519.965
R.M.	5.640.241	2.904.126	1.883.097	2.428.310	2.660.578
VI y VII	3.819.526	1.748.970	1.400.577	1.983.895	1.642.838
<b>Total</b>	<b>26.389.637</b>	<b>11.711.755</b>	<b>9.774.633</b>	<b>10.551.043</b>	<b>9.652.073</b>
(%)	62,0	32,8	29,4	32,1	28,3

\*: % fumigado con respecto al total exportado a EE.UU.

Fuente : Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

### 2.2.2. Capacidad y número de cámaras de fumigación existentes en Chile

En Chile existen actualmente, 212 cámaras de fumigación distribuidas desde la III Región hasta la VII Región del país. Del total de cámaras, el 80,6% corresponde a cámaras del tipo prefrió-fumigación y el 19,4% a cámaras tradicionales o convencionales (Cuadro 2.14).

La capacidad total existente en Chile es de 777.000 cajas (Cuadros 2.14 y 2.15). Se estima que la capacidad máxima de procesos de fumigación mensuales es de 31,3 millones de cajas de uva (Cuadro 2.16). Las regiones con mayor capacidad, en orden creciente son la IV, V y Región Metropolitana, las que poseen el 71,1% de la capacidad total del país.

**Cuadro 2.14. Capacidad y número de cámaras de fumigación existentes actualmente en Chile, por región.**

Región	Tipo de cámara				Volumen total (m <sup>3</sup> )	Capacidad total* (cajas de uva)
	Prefrifo-Fumigación		Tradicional			
	Cantidad	Vol.(m <sup>3</sup> )	Cantidad	Vol.(m <sup>3</sup> )		
III	19	6.839	2	607	7.454	89.706
IV	34	9.937	7	2.047	11.983	152.544
V	40	10.964	16	3.280	14.244	187.775
R.M.	38	12.688	14	3.549	16.236	212.594
VI y VII	40	10.759	2	598	11.358	134.358
<b>Total</b>	<b>171</b>	<b>51.187</b>	<b>41</b>	<b>10.080</b>	<b>61.275</b>	<b>776.977</b>

\* se considera sólo el volumen útil.

Fuente : Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

Cabe señalar, que en la temporada 1994/95 se exportaron a EE.UU. cerca de 34 millones de cajas de uvas y unas 10,3 millones de cajas de carozo (nectarines, duraznos, ciruelas y damascos). Estas últimas especies, no poseen requerimiento obligado de fumigación con BM; teniendo esta alternativa, sólo como tratamiento opcional al procedimiento de inspección fitosanitaria de pre-embarque.

**Cuadro 2.15. Volumen útil total de cámaras de fumigación existentes en Chile, por región.**

Volumen útil *					
Región	PFF (m <sup>3</sup> )	Tradicional (m <sup>3</sup> )	Volumen útil total (m <sup>3</sup> )	Capacidad total en cajas de uva total del país	% respecto a)
III	2.052	303	2.355	89.706	12
IV	2.981	1.023	4.004	152.544	20
V	3.289	1.640	4.929	187.775	24
R.M.	3.806	1.774	5.581	212.594	27
VI y VII	3.228	299	3.527	134.358	17
<b>Total</b>	<b>15.356</b>	<b>5.040</b>	<b>20.396</b>	<b>776.977</b>	<b>100</b>

\*: se considera un factor de carga de : prefrío-fumigación (PFF) = 30% y tradicional = 50%, con respecto al volumen total.

Fuente : Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

**Cuadro 2.16. Capacidad máxima de procesos de fumigación diario y mensual por regiones.**

Región	Capacidad diaria* (cajas)	Capacidad mensual (cajas)	Volumen "pick" mensual export. uvas a EE.UU. Temp. 1991/92 (cajas)
III	101.526	3.045.780	1.170.236
IV	207.466	6.223.980	4.373.236
V	281.441	8.443.230	3.326.506
R.M.	313.000	9.390.000	4.027.645
VI y VII	141.442	4.243.260	3.182.725
<b>Total</b>	<b>1.044.875</b>	<b>31.346.250</b>	

- \* se considera un número de procesos de : prefrio-fumigación = 1 proceso/24 horas y tradicional = 3 procesos/24 horas y un factor de corrección del 10% menos, en función a las distintas variables que pueden afectar la dinámica de los procesos de fumigación, que se describen en el punto 2.2.6.

Fuente: Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

### 2.2.3. Características de las cámaras de fumigación en Chile

Las cámaras de fumigación existentes en Chile, tanto las del tipo prefrío-fumigación como tradicional (Figuras 2.1 y 2.2), son de construcción sólida (hormigón armado o paneles herméticos) y poseen básicamente los siguientes elementos :

- Una puerta hermética para el acceso de carga y descarga del producto a fumigar.
- Sistema de circulación interna (ventiladores axiales)
- Sistema de inyección de bromuro de metilo
- Sistema de muestreo de la concentración de fumigante en el interior de las cámaras.
- Sistema de evacuación del fumigante (ductos, caja de mezcla, ventilador centrífugo y chimenea).
- Sistema computacional para medición de temperatura y eventos (elementos sensores).

Las cámaras de prefrío-fumigación, permiten en un solo recinto las facilidades de prefrío (tipo túnel californiano) y de fumigación tradicional, más el equipo de refrigeración.

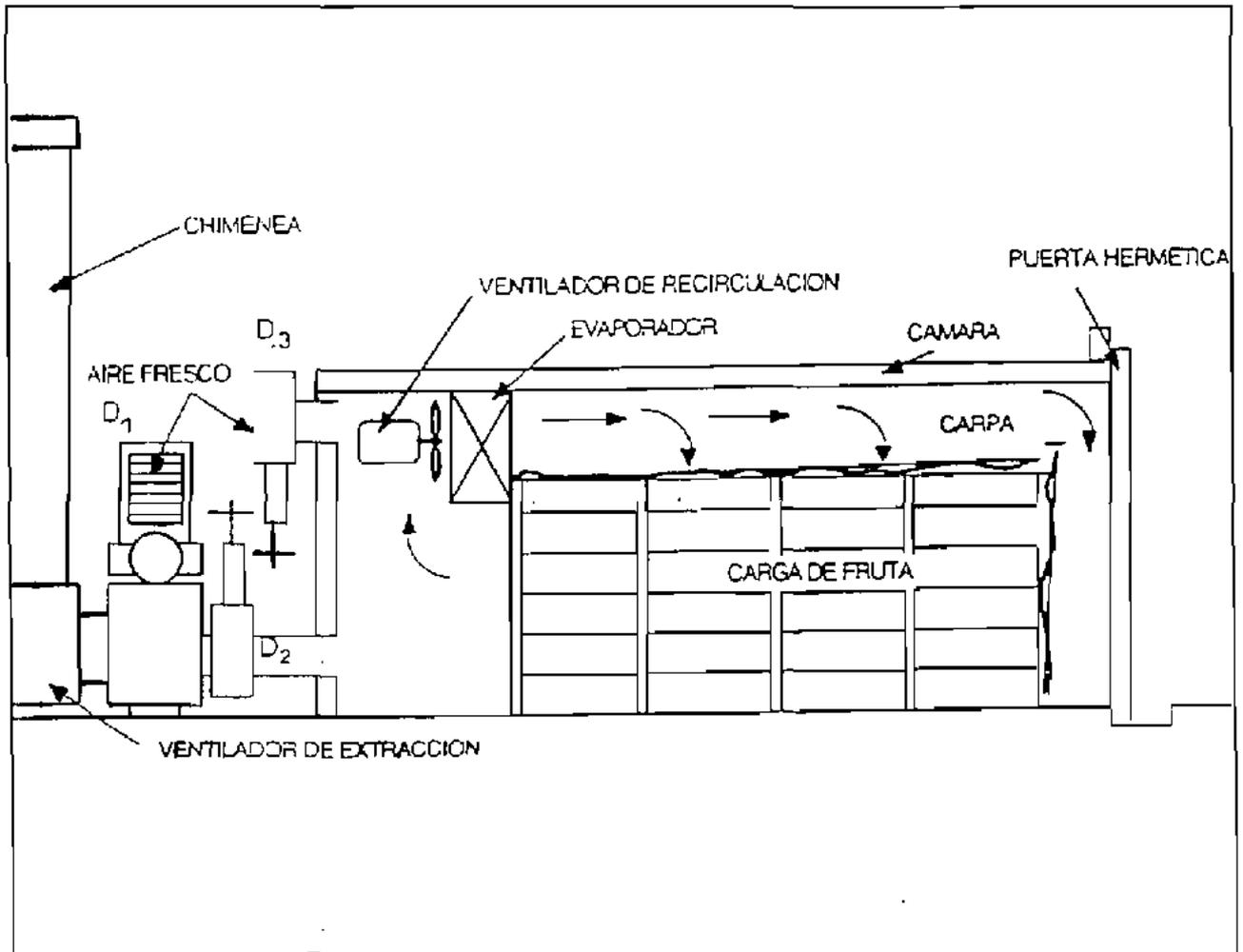


Figura 2.1. Esquema del sistema prefrío-fumigación.

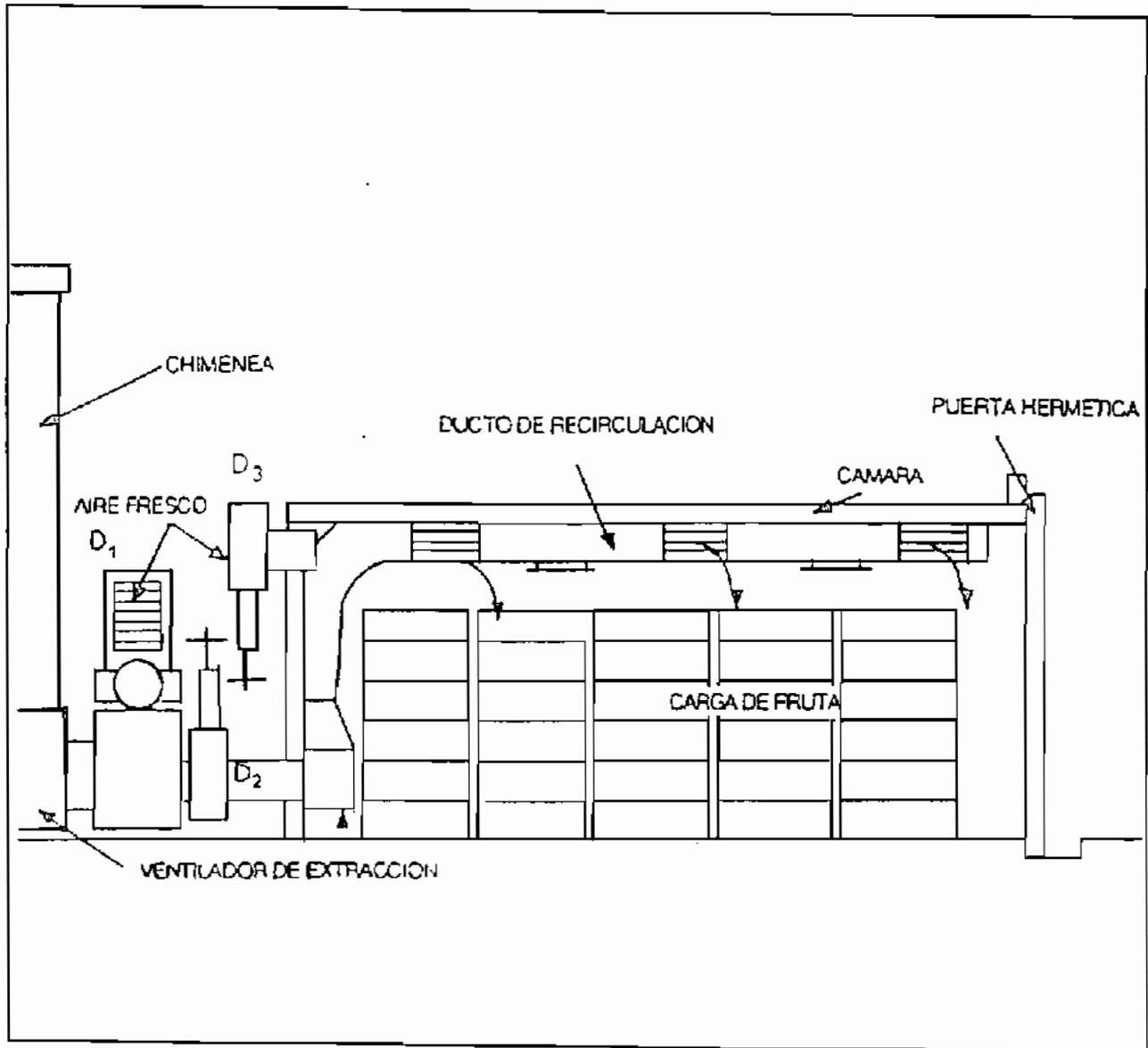


Figura 2.2. Esquema del sistema de fumigación tradicional.

#### **2.2.4. Procedimiento de fumigación**

El tratamiento exigido por el Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) para la uva de Chile y eventualmente para fruta de carozo (duraznos, nectarines, ciruelas y damascos) corresponde a los requerimientos establecidos en la norma T 101 (a) del Manual de Tratamientos Cuarentenarios, PPQ (Plant Protection and Quarantine). Dicha norma considera distintas combinaciones entre temperatura de pulpa o ambiente y dosis de Bromuro de Metilo, con un tiempo de exposición de 2 h en todos los casos (Anexo IV.Cuadro IV.2).

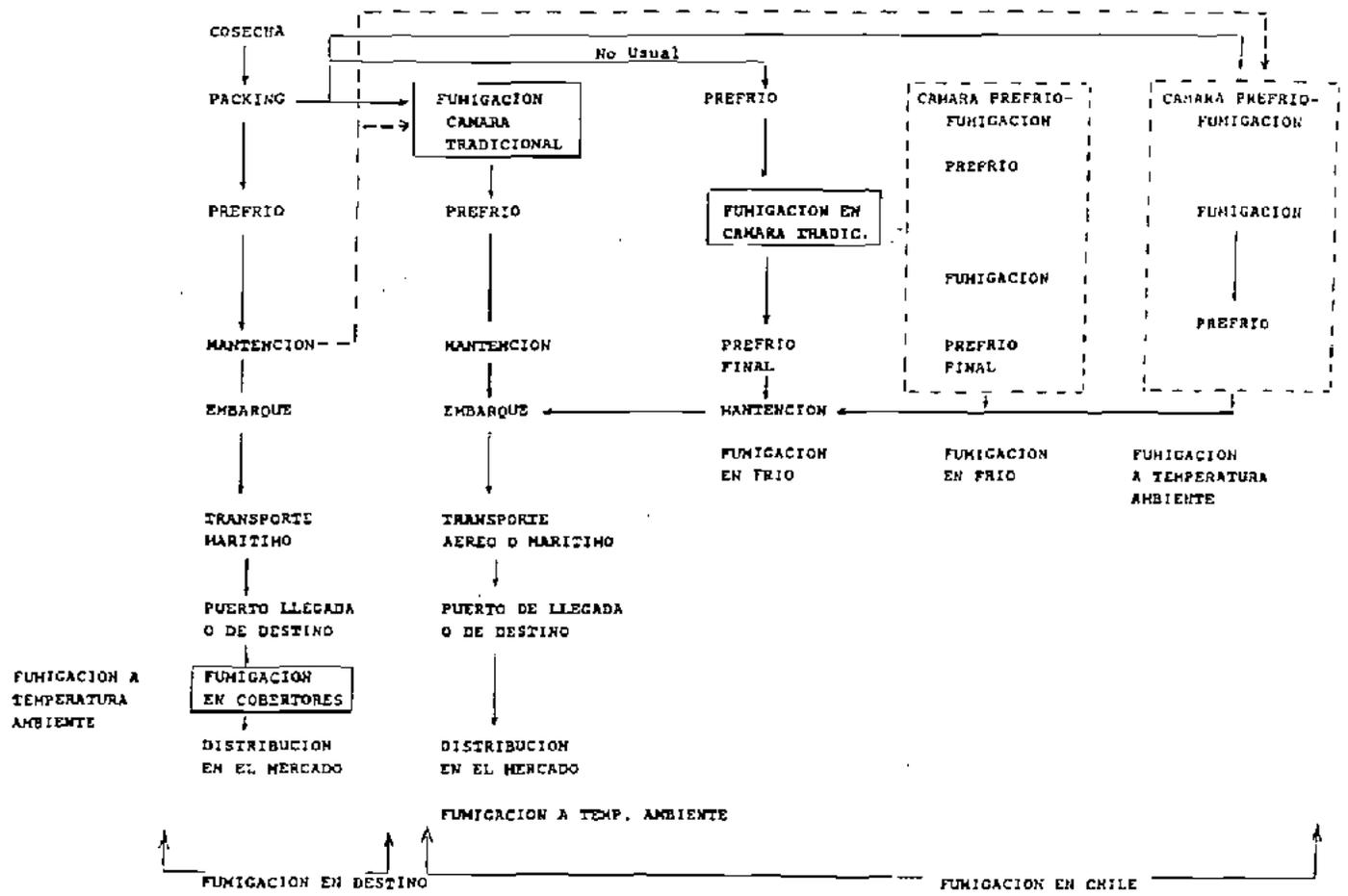
Para llevar a cabo dicho tratamiento, existen diferentes alternativas de fumigación y frío, que considera desde la cosecha hasta el mercado de destino, como se aprecia en el flujo indicado en la Figura 2.3.

#### **2.2.5. Instalaciones de prefrío existentes en Chile**

En cada temporada, en Chile, aproximadamente unas 78,9 millones de cajas, requieren necesariamente un proceso de prefrío para la mantención de la calidad de la fruta, independiente del mercado de destino (Anexo IV.Cuadro IV.7).

En cuanto a la capacidad total de prefrío, existentes en Chile, (excluyendo a cámaras de prefrío-fumigación) ésta llega a 1,7 millones de cajas de uva, con una capacidad máxima de procesos mensuales de 75,9 millones de cajas aproximadamente. Las regiones con mayor capacidad de prefrío en orden creciente son la V, Región Metropolitana y la VI región, las que poseen el 84,9% de la capacidad total del país (Cuadro 2.17).

Figura 2.3. Alternativas en los procesos de fumigación y frío.



FUENTE: Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

**Cuadro 2.17. Capacidad de instalaciones de prefrío existentes en Chile, por región.**

Región	Capacidad (cajas)	Cap. máxima diaria* (cajas)	Capacidad máxima de procesos mensual (cajas)
III	70.292	105.438	3.160.000
IV	180.888	271.332	8.139.000
V	357.312	535.968	16.000.000
R.M.	585.508	878.262	26.347.000
VI y VII	493.098	739.647	22.189.000
Otras	2.800	4.200	126.000
<b>Total</b>	<b>1.689.898</b>	<b>2.534.847</b>	<b>75.961.000</b>

\* 1,5 procesos / 24 horas.

Fuente : Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

### 2.2.6. Observaciones sobre los procesos de fumigación en Chile.

Dentro de la dinámica de los procesos de fumigación y naturalmente en lo relativo a la toma de decisiones en cada caso, empresa ó centro en particular, existen distintos factores que pueden afectar en mayor o menor grado esta dinámica, reduciendo con ello, el número de procesos posibles en un determinado período de tiempo.

Los factores que se consideran entre otros son :

- Efecto perjudicial del fumigante sobre la calidad de ciertas variedades de uvas, tales como : Superior Seedless, Down Seedless, etc.
- Los problemas fisiológicos por causas nutricionales o climáticas predisponen a una mayor sensibilidad de la uva a sufrir fitotoxicidad causada por el fumigante.

Ambas situaciones descritas, toman mayor importancia cuando se fumiga en Chile al existir un mayor período de tiempo que media entre la fumigación y la venta final del producto en el mercado de destino.

- Decisión comercial en cuanto a la oportunidad de llegada al mercado norteamericano, considerando en este sentido, que en la actualidad no se produce una ventaja comparativa entre fumigar en Chile o en los Estados Unidos.
- Disponibilidad de bodegas para fruta fumigada en barcos "charter".
- Disponibilidad de cámaras de almacenamiento refrigerado para fruta fumigada.

### 3. SITUACION LATINOAMERICANA PARA BM

#### 3.1. Costa Rica <sup>1</sup>

El principal uso del BM es la desinfección de suelo, en el cultivo del melón (*Cucumis melo*), ocupando anualmente más de 500 toneladas. Otros usos del producto son para cuarentena, donde se consume aproximadamente 550 Kg al año; en banano para el control de *Pseudomonas* y en semilleros de hortalizas, ornamentales y tabaco.

Por la importancia económica que representa el cultivo del melón y por las características que posee el BM, cualquier alternativa que se planea implementar debe reunir simultáneamente efecto contra malezas, hongos, insectos y nemátodos. Además debe contar con tolerancias establecidas de los países importadores de fruta, ser fitocompatible con el cultivo en aplicaciones de presiembra de máximo 3 días, no requerir de tanta humedad en el suelo y permitir una aplicación mecanizable.

Entre las alternativas que se han evaluado en Costa Rica, se puede citar las siguientes:

- **Herbicidas efectivos contra ciperáceas en época no melonera:** en este sentido se han utilizado herbicidas como el EPTC (Erradicane) y el Glifosato (Roundup), 3 a 4 meses antes de la siembra, con el fin de bajar el inóculo de las malezas. Sin embargo no han logrado eximir del uso del Bromuro de metilo a la siembra.

---

<sup>1</sup> Ing. Carlos Hidalgo  
Cámara de Insumos Agropecuarios  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean,  
Colombia-1995.

- **Telone C 17 (83% dicloropropeno + 17% cloropicrina):** con dosis de 26 galones por hectárea y aplicado 7 días antes de la siembra, ha tenido un buen efecto contra hongos, insectos y nemátodos, no obstante su efecto como herbicida ha resultado muy pobre.
- **Herbicidas selectivos al melón:** sethoxydim ha mostrado ser bastante eficaz contra Echinocloa, pero no efectivo contra otras gramíneas de importancia. Otros productos como el bensulide y el pebulate, han tenido un comportamiento regular a bueno contra ciperáceas, gramíneas y malezas de hoja ancha.
- **Plasticultura:** la solarización a través de plástico transparente, que cubre la cama de siembra durante 5 a 6 semanas antes de la siembra, ha mostrado buen control contra hongos e insectos del suelo. No obstante el efecto contra malezas ha sido deficiente; además por lo extenso del tratamiento en el tiempo, no permite la realización de una segunda siembra.
- **Dazomet (basamid) y Metam Sodio (Vapam):** poseen una buena acción contra hongos, insectos y nemátodos, pero no así contra malezas. Ninguno de los dos productos poseen tolerancias para el melón y además son fitotóxicos si se aplican con no más de 15 días antes de la siembra.

Los hechos expuestos anteriormente, nos hacen concluir que no existe actualmente en Costa Rica un producto que logra sustituir al BM en la desinfección del suelo, en el cultivo del melón. En el mejor de los casos, utilizándose una combinación de productos o prácticas alternativas, se dejaría de hacer una segunda siembra al año, que equivale a dejar de sembrar unas 1600 hectáreas y la pérdida de ingresos por el valor de las exportaciones por un monto de unos US\$ 14 millones.

### 3.2. Colombia <sup>2</sup>

El bromuro de metilo es utilizado principalmente como desinfectante de suelo y en tratamientos de postcosecha de algunos productos (Figura 3.1). Su utilización para tratamientos cuarentenarios, sobre todo para frutas importadas, merece especial atención pues aunque las cantidades son bastante pequeñas, se considera que no existe un tratamiento alternativo para evitar el posible ingreso de plagas o enfermedades foráneas.

Los principales usos pueden resumirse como sigue:

- a) **Fumigante del suelo:** para el control de *Pseudomonas* en banano; control de malezas (principalmente ciperáceas), de nemátodos y hongos del suelo (*Rhizoctonia* spp, *Pythium* sp) y otros en semilleros de tabaco y en crisantemos.
- b) **Tratamiento de postcosecha:** en productos de exportación como frutas exóticas, espárragos como requisito de los países importadores.
- c) **Tratamientos cuarentenarios:** el Instituto Colombiano Agropecuario exige tratamiento con BM sólo a despachos de frutas importadas que son considerados posibles portadores de plagas o enfermedades foráneas. No existen datos oficiales de las cantidades de bromuro de metilo empleadas ni de la fruta tratada, sin embargo dichas cantidades parecen ser bastante reducidas.

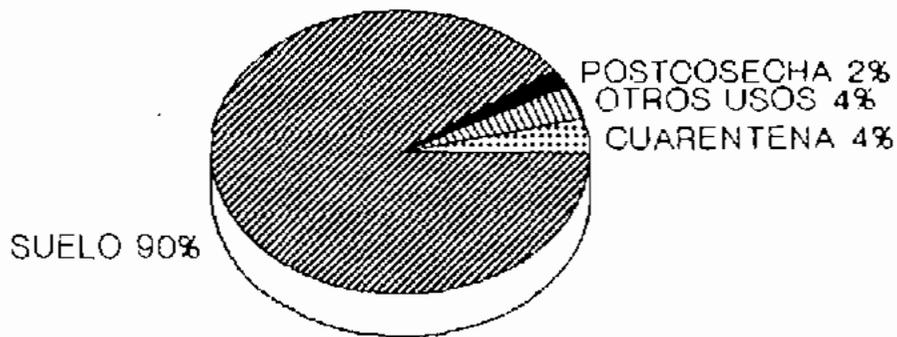
---

<sup>2</sup>Marta Pizano.

Ministerio del Medio Ambiente.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia-1995

CONSUMO DE BROMURO  
DE METILO EN COLOMBIA



TOTAL 1994 : 50.000 Kg

Figura 3.1. Consumo de bromuro de metilo en Colombia.

**d) Otros usos:** preservación de madera almacenada y control de ácaros durante el proceso de maduración de queso parmesano.

Las cantidades de BM utilizadas según las diferentes aplicaciones se presentan en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1. Cantidades estimadas de bromuro de metilo utilizadas en 1994.**

Area de aplicación	Bromuro de Metilo (Kg)
Tratamiento de suelo	45.000
Tratamiento cuarentenario	2.000
Tratamiento postcosecha	1.000
Otros usos misceláneos	2.000
<b>TOTAL</b>	<b>50.000</b>

Las alternativas, que existen para todos los usos del bromuro de metilo a excepción del tratamiento cuarentenario de las frutas importadas, puede resumirse según éstos como sigue:

**a) Tratamiento de suelo:** en la actualidad no sólo los agricultores disponen de otros fumigantes como el metam sodio (Vapam) y el Dazomet (basamid), cuyo espectro de acción es prácticamente el mismo del BM, sino que se puede decir que se ha adquirido la conciencia del Manejo Integrado de Plagas, situación más evidente en sectores más tecnificados como el de la floricultura. Además, en este sector, ya se trabaja con la adición de microorganismos benéficos al suelo, aplicados directamente o dentro del humus, con el fin de

combatir enfermedades y plagas propias del suelo. El uso de glifosato para el control de *Pseudomonas* en banano ha dado muy buenos resultados.

La desinfección del suelo con vapor es otra alternativa eficiente y factible de ser utilizada en flores, semilleros de tabaco y otras plantas, y en cultivos de fresa y mora. Pero resulta demasiado costosa en zonas de producción bananera.

**b) Tratamiento de postcosecha:** En el caso de granos almacenados, actualmente se utiliza como alternativa al BM la fosfamina. Los usuarios de este producto coincidieron en que arroja buenos resultados. Solamente en el caso de las frutas no existe alternativa, pero tanto los importadores como los exportadores de las mismas sostienen que utilizan bromuro únicamente porque así lo exigen las autoridades fitosanitarias de Colombia.

**c) Otros usos:** para el caso de maderas almacenadas, la fosfamina y otros productos similares parecen ser también buenas alternativas. En el caso de la industria de los quesos, el bromuro se utiliza en la maduración del queso parmesano para el control de ácaros, pues el único fumigante que no deja sabor extraño en el queso. Dado el alto contenido graso de este producto, otros fumigantes lo impregnan de otros sabores que afectan su calidad.

Cabe señalar que la utilización de alternativas al BM conlleva principalmente problemas de costos. En el caso del banano, el control de *Pseudomonas solanacearum* mediante la aplicación de herbicidas es eficiente, pero resulta más costoso debido al tiempo de espera que debe transcurrir antes de la resiembra (varios meses), mientras que con el BM es apenas un par de semanas. Sin embargo, algunos bananeros manifiestan que el control con herbicidas es más definitivo y que a largo plazo se compensa ampliamente dicha espera.

La aplicación de vapor es costosa y requiere infraestructura específica; sin embargo, es una alternativa que vale la pena tener en cuenta cuando las circunstancias lo permiten.

La implementación de alternativas y el manejo de enfermedades y plagas mediante un enfoque de Manejo Integrado, requiere como es obvio, de un apoyo investigativo y un proceso de desarrollo y transferencia de tecnología adecuados.

Como se mencionó anteriormente, existen situaciones para las cuales no parece haber una alternativa; vale la pena destacar que en ambos casos, se trata de aplicaciones en recintos cerrados.

### 3.3. Nicaragua <sup>3</sup>

Actualmente el uso de BM se concentra en controles cuarentenarios del Ministerio de Agricultura a través del Organismo Regional Internacional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), único organismo designado para efectuar fumigaciones con tal producto, por protocolo de países centroamericanos.

El uso de BM como desinfectante de suelo disminuyó a partir de 1987, llegando a su eliminación en 1990, debido a la caída de los precios internacionales de los cultivos que más lo utilizaban (café, tabaco).

El consumo del año 1994 fue de 4.500 Kg. (Figura 3.2) de los cuales la totalidad es para control cuarentenario de plagas en cargas de importación /exportación, que representan peligros de contaminación por provenir de países bajo control cuarentenario de parte de Nicaragua o por exigencias de los países importadores de productos agropecuarios nicaragüenses.

Los usos del BM se describen en Cuadro 3.2.

---

<sup>3</sup>Fernando Boza.

Unidad Nacional de Cuarentena Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia - 1995.

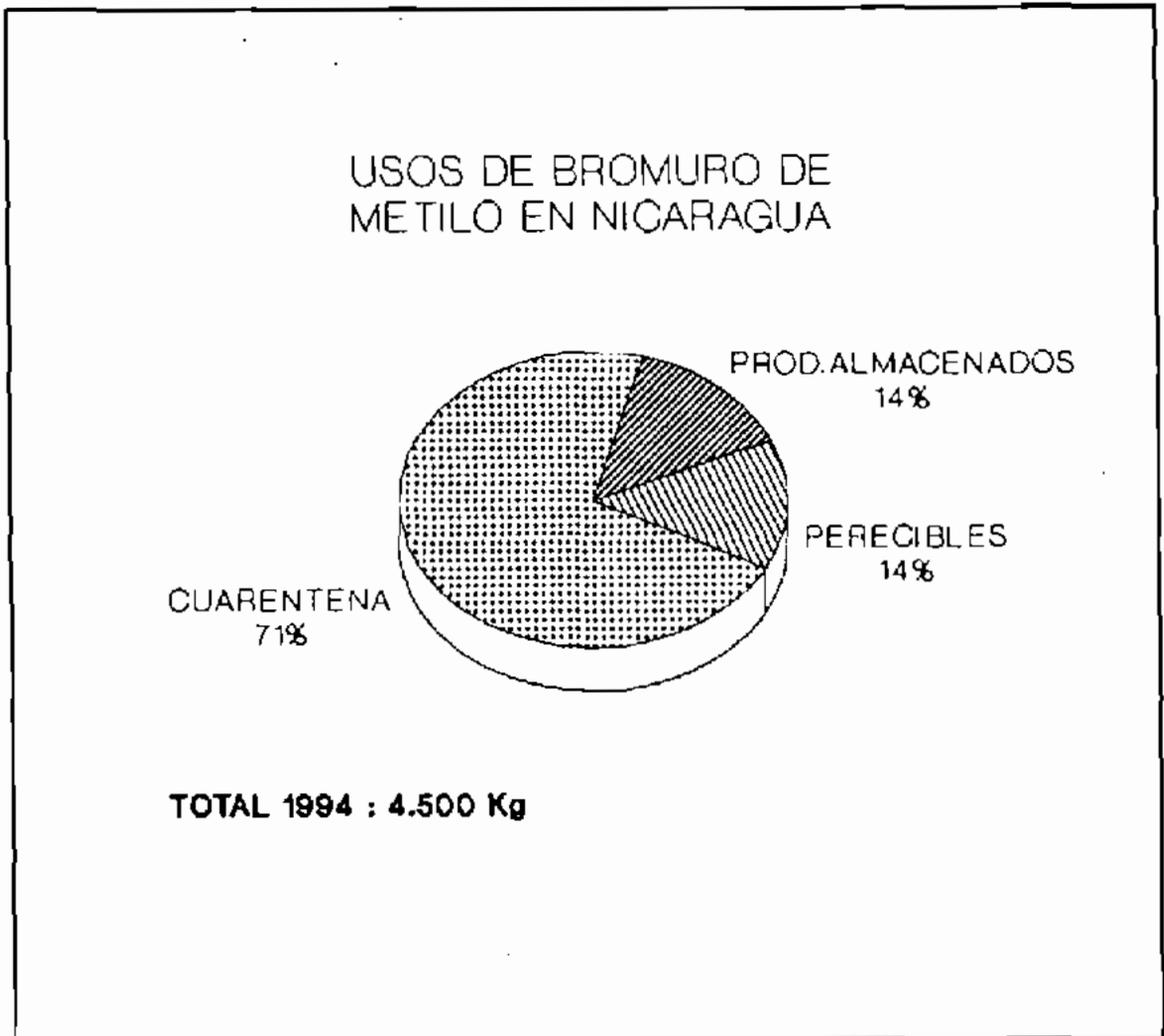


Figura 3.2. Usos de bromuro de metilo en Nicaragua (1994).

Cuadro 3.2. Usos de Bromuro de Metilo en Nicaragua.

Areas de aplicación	Cantidad BM (Kg)
Control de plagas y artículos almacenados	1.500
Tratamientos cuarentenarios	2.500
Fumigación de productos perecederos	500
Desinfección de suelo	----
<b>TOTAL</b>	<b>4.500</b>

Dentro de las alternativas se pueden mencionar el uso de fosfamina ( $\text{PH}_3$ ) que se utiliza con fines cuarentenarios para el control de plagas en granos almacenados y madera. Las cantidades de fosfamina que se importan han aumentado considerablemente desde 1.540 kg en 1991 a 7.800 en 1995. Cabe señalar además que entre estos años, las importaciones totales de bromuro de metilo alcanzaron a los 30.276 kg.

Para el control de insectos en granos se está utilizando el pirimifos metilo con relativo éxito para las exportaciones que se realizan a Europa. En el control de plagas en productos vegetales se están haciendo trabajos en relación a las nebulizaciones en base a piretroides.

### 3.4. Guatemala <sup>4</sup>

Los usos más importantes del bromuro de metilo se señalan a continuación:

- Desinfección de suelos
- Puestos de cuarentena (furgones y contenedores)
- Fumigación en campos experimentales
- Semilleros de café
- Esterilización de suelos (melón, tomate, berries)
- Tabaco en preparación de semilleros.

En la Figura 3.3 se puede observar en forma general el destino que tiene el BM en Guatemala.

Datos parciales obtenidos de los importadores y registro de sanidad vegetal indican un volumen de 130 toneladas de BM para el año 1995. En el Cuadro 3.3 se señalan las cantidades de BM utilizados por área de aplicación.

Las alternativas actualmente utilizadas para cada una de las aplicaciones mencionadas se mencionan a continuación: para la desinfección del suelo se cuenta con otros productos, tales como metam sodio (Vapam) y metilato de sodio (Basamid); éste último requiere de sellos de agua y un período de 25 días antes de utilizar el suelo tratado.

---

<sup>4</sup> Hugo Figueroa, Irma Borrayo.  
Comisión Nacional del Medio Ambiente.  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean,  
Colombia-1995.

### USOS DE BROMURO DE METILO EN GUATEMALA

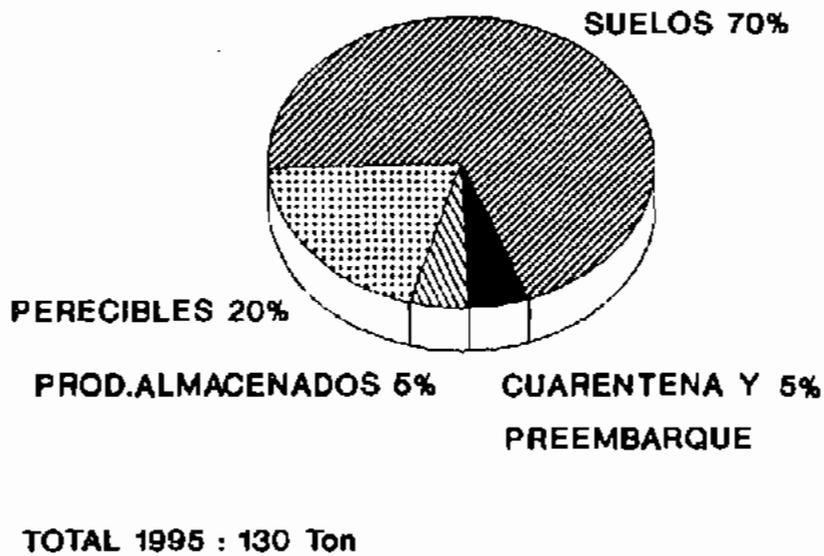


Figura 3.3. Usos de bromuro de metilo en Guatemala (1995).

Cuadro 3.3. Aplicación de Bromuro de Metilo en Guatemala (Kg)

Area de aplicación	Cantidad de BM (Kg)
Control de plagas y prod. almacenados	6.500
Tratamiento cuarentena y pre-embarque	6.500
Fumigación de prod. perecederos (flores, verduras y frutas)	26.000
Control de plagas en el suelo (semilleros, tabaco, prados, etc.)	91.000
<b>TOTAL</b>	<b>130.000</b>

Para el caso de tratamientos de pre-embarque se utilizan otros procedimientos como nebulización, encerado, fungicidas, etc.

En Guatemala no existe ningún tipo de obstáculo para la venta o uso de los sustitutos; actualmente se está usando Basamid, Vapam, etc. El problema radica en que estos productos tienen un costo más alto que el BM, ya que tienen que usarse con otras sustancias para llegar a tener un efecto similar al bromuro. En el caso de necesitar un sello de agua (basamid) se dificulta su uso, especialmente en áreas rurales que padecen de escasez. Por otro lado se retrasa la siembra de 20 a 30 días lo cual, también aumenta los costos de producción.

3.5. Cuba <sup>3</sup>

Los usos más importantes y el consumo anual promedio de los últimos 14 años del BM son aproximadamente los siguientes (Cuadro 3.4, Figura 3.4).

Cuadro 3.4. Usos de Bromuro de Metilo en Cuba (Kg).

Usos	Cantidad (Kg)
Control de plagas semillero tabaco	67.280
Tratamiento cuarentenario	23.200
Operaciones de pre-embarque (café, cacao)	24.360
Fumigación de plantas ornamentales	1.160
<b>TOTAL</b>	<b>116.000</b>

En la actualidad en Cuba no se utilizan alternativas a este fumigante, en las aplicaciones antes mencionadas.

El principal obstáculo que enfrenta el país, para usar los productos alternos, radica en los costos de los mismos, de las tecnologías para su aplicación y de los costos ecológicos producto de las aplicaciones de sucedáneos químicos tales como el Telone II, Metam Sodio, y Basamid. Estos

<sup>3</sup>Carlos Noland.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Luis Gómez.

Centro Nacional de Sanidad Vegetal.

Ministerio del Medio Ambiente.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean  
Colombia-1995

productos generan problemas ecológicos tales como la contaminación de las aguas subterráneas, aumento de residuos de estos productos en alimentos y de la toxicidad de la fauna silvestre.

Por otro lado se requiere la aplicación de varios tipos de productos alternativos para lograr el mismo efecto obtenido con la aplicación de BM, lo cual induce un impacto económico considerable, e insostenible para la economía cubana.

La aplicación de métodos físicos, no resultan efectivos para lograr los objetivos de la producción agrícola. Algunos requieren de grandes consumos energéticos, y no pueden ser aplicados durante todo el año, por lo tanto no pueden ser considerados como sucedáneos definitivos.

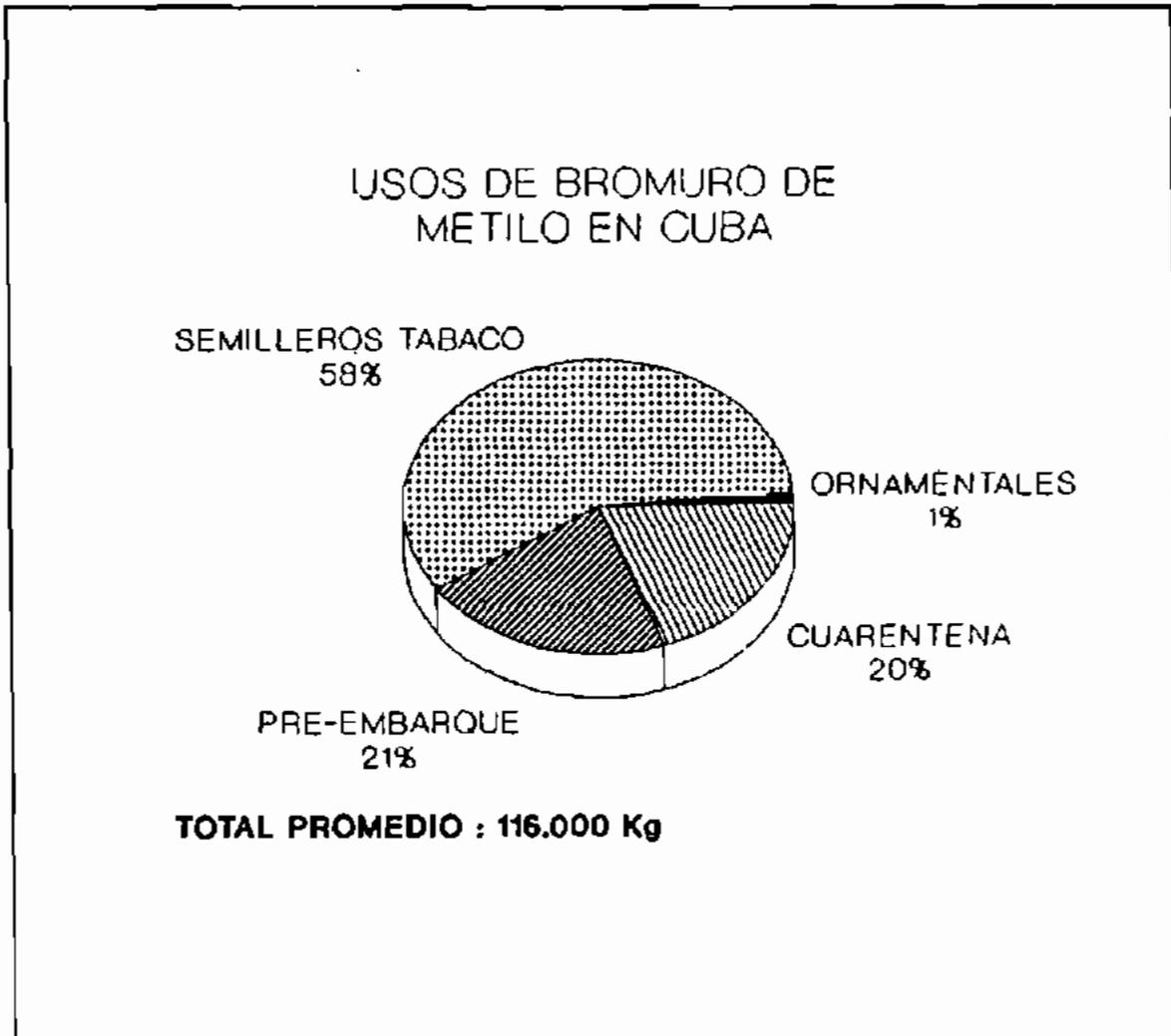


Figura 3.4. Usos de bromuro de metilo en Cuba.

### 3.6. El Salvador <sup>6</sup>

El principal uso del bromuro de metilo es con fines agrícolas, para el tratamiento del suelo a nivel de pregerminación, principalmente en hortalizas para el control de plagas y enfermedades. Las plántulas germinadas son transplantadas al terreno definitivo el cuál también, genralmente, es tratado con insecticida previo a la siembra.

Para tratar granos almacenados, nueces, frutas , etc., prácticamente ya no se usa.

En cuanto a las cantidades consumidas, no existen estadísticas oficiales, sin embargo se ha detectado que OIRSA importó esporádicamente 95 toneladas en marzo de 1995, sin conocerse su utilización (UNEP). Además no existen registros de importación, puesto que posiblemente ingresa al país con código arancelario "bromuros y oxibromuros".

En cuanto a las posibles alternativas que sustituyan al fumigante se usa el fosfuro de aluminio para el tratamiento de granos almacenados, obteniéndose excelentes resultados; no obstante, se desconocen sus efectos colaterales y secundarios.

Para el tratamiento del suelo se usa, además, agua hirviendo, vapor de agua y formalina con resultados no satisfactorios, principalmente para el control del "mal del talluelo" en horticultura y viveros forestales.

---

<sup>6</sup>Carlos Aguilar.

Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia-1995.

### 3.7. Bolivia <sup>7</sup>

El uso Bromuro de Metilo no está registrado en Bolivia, por lo tanto, su comercialización está prohibida. El BM es un fumigante poco conocido y difundido en el país, pero su uso se ha puesto en vigencia como consecuencia de la presencia del Vibrio cholerae, bacteria asociada con el consumo de hortalizas, especialmente lechuga.

Aún cuando su uso es ilegal, se emplea para la desinfección del suelo para semilleros de lechuga y tratamientos cuarentenarios en la desinfección de piña de exportación (por implementarse) y de fibra de algodón y sus subproductos.

En el Cuadro 3.5 se señala el consumo aproximado de los últimos años.

Cuadro 3.5. Consumo de Bromuro de metilo en Bolivia (kg).

Años	Usos	Cantidad
1979/81	Desinfección semilleros tabaco rubio	22,8
1983	Pruebas de eficacia de registro	34,2
1992	Desinfección semilleros de lechuga	820,8
1995	Desinfección semilleros de lechuga	820,8

<sup>7</sup>Ariel Zarate.

Secretaría Nacional de Agricultura y Ganadería.

Omar Olivera.

Comisión Gubernamental del Ozono, Ministerio de Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia-1995.

Dentro de las alternativas al uso de bromuro de metilo se puede mencionar:

- **Pentacloronitrobenceno (PCNB)** para desinfectar el suelo. Tiene la ventaja de que se puede sembrar inmediatamente después de su incorporación.
- **Formaldehido** también para desinfectar el suelo, sin embargo por su alta toxicidad para plantas y esquejes, así como para el hombre, se ha dejado de usar. Por otro lado no siempre es efectivo en el control de plagas.
- **Malathion** para el control de plagas en diferentes cultivos, durante el desarrollo vegetativo. También es usado para el control de plagas en productos almacenados, principalmente cereales.
- **Phostoxin (fosforo de aluminio)**, su aplicación no precisa una técnica tan minuciosa como el BM. Se utiliza para el control de plagas en granos almacenados, café, madera aserrada, soya y subproductos (tortas). También para tratar estructuras.

## 3.8. Panama \*

En relación a los usos más importantes del BM en este país, se puede señalar que esta sustancia química es utilizada mayoritariamente como biocida en tratamientos cuarentenarios de granos almacenados, tratamiento de madera, algodón y pajas utilizadas en la fabricación de colchones y como esterilizante de suelos para la preparación y obtención de plántulas (semilleros).

Las importaciones y/o consumo de bromuro de metilo, para el período 1991-1995, pueden observarse en el Cuadro 3.6.

Cuadro 3.6. Importaciones y/o consumo de Bromuro de Metilo en Panamá.

Años	Cantidad importada (Kg)
1991	No disponible
1992	7.042
1993	6.087
1994	720
1995	622

Fuente: Subdirección de Cuarentena Agropecuaria-MIDA/  
Distribuidores/Importadores. Agosto, 1995.

\*Jorge Carles. Depto. de Control de Desechos Peligrosos, Ministerio de Salud.

MSc. Leonardo Lamoth, Depto de Control de Registro de Agroquímicos, Ministerio de Desarrollo Agropecuario.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia-1995

Esta sustancia no se utiliza para el tratamiento de granos almacenados (según última versión de OIRSA), ni tampoco para el tratamiento de cuarentena y pre-embarque en la exportación de bienes no perecederos. Además se ha dejado de utilizar para el control de plagas en el suelo.

Existe en el mercado nacional otras sustancias que se están utilizando para el control de plagas en el suelo, tratamiento de granos, cuarentena, etc., a base de Fosforo de Aluminio, TCMTB, Carboxin + Captan y Metam sodio. En el Cuadro 3.7 se resume la sustancia alternativa y su uso.

**Cuadro 3.7. Sustancias alternativas al Bromuro de metilo.**

Nombre comercial	Ingrediente activo	Usos
Elsan 1020	Metam Sodio	Desinfección de suelos (presembrado)
Elsan 30 A	TCMTB	Desinfección de suelos (tubérculos y granos)
Detia gas Ex-t	Fosforo de aluminio	Granos almacenados y bodegas
Cephos	Fosforo de aluminio	Desinfección de silos
Atiavax 300	Carboxin + Captan	Desinfección de suelos (viveros y transplante)

### 3.9. Perú <sup>9</sup>

De los cinco sectores tradicionales de empleo para el BM, en el Perú se emplea en cuatro (Figura 3.5). El único sector que no recibe tratamiento con bromuro de metilo es el de estructuras, pues los barcos, silos, máquinas, edificios y contenedores vacíos, son fácilmente asperjados, nebulizados o atomizados con plaguicidas que actúan por contacto.

Se calcula que en el año 1994 se consumieron 29.180 kg. de bromuro de metilo, situación que fue considerada, por los importadores y comerciantes, en extremo irregular puesto que la demanda por el fumigante es creciente; se produjeron problemas de aprovisionamiento y distribución del producto.

El sector que experimentó el mayor consumo de BM fue el de cuarentena con el 83,02% del total. Las fumigaciones se hicieron en un 98% en productos no perecederos del tipo más variado (fibra de algodón, maderas, granos, condimentos); el resto fue usado en productos perecederos como bulbos y frutas.

Siguiendo el orden de importancia, el segundo sector en consumo fue el agrícola (12,45%), destinado mayormente a la fumigación preventiva del suelo empleado en almácigos de tabaco.

El tercer sector usuario es aquel no exportado (4,2%) que comprende únicamente el tratamiento de granos y harinas en almacenes y el último sector usuario es el tratamiento de productos no perecederos de exportación (0,33%), situación obligada por los compradores.

---

<sup>9</sup>Dr. William E. Dale.

Universidad Nacional Agraria La Molina.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia-1995.

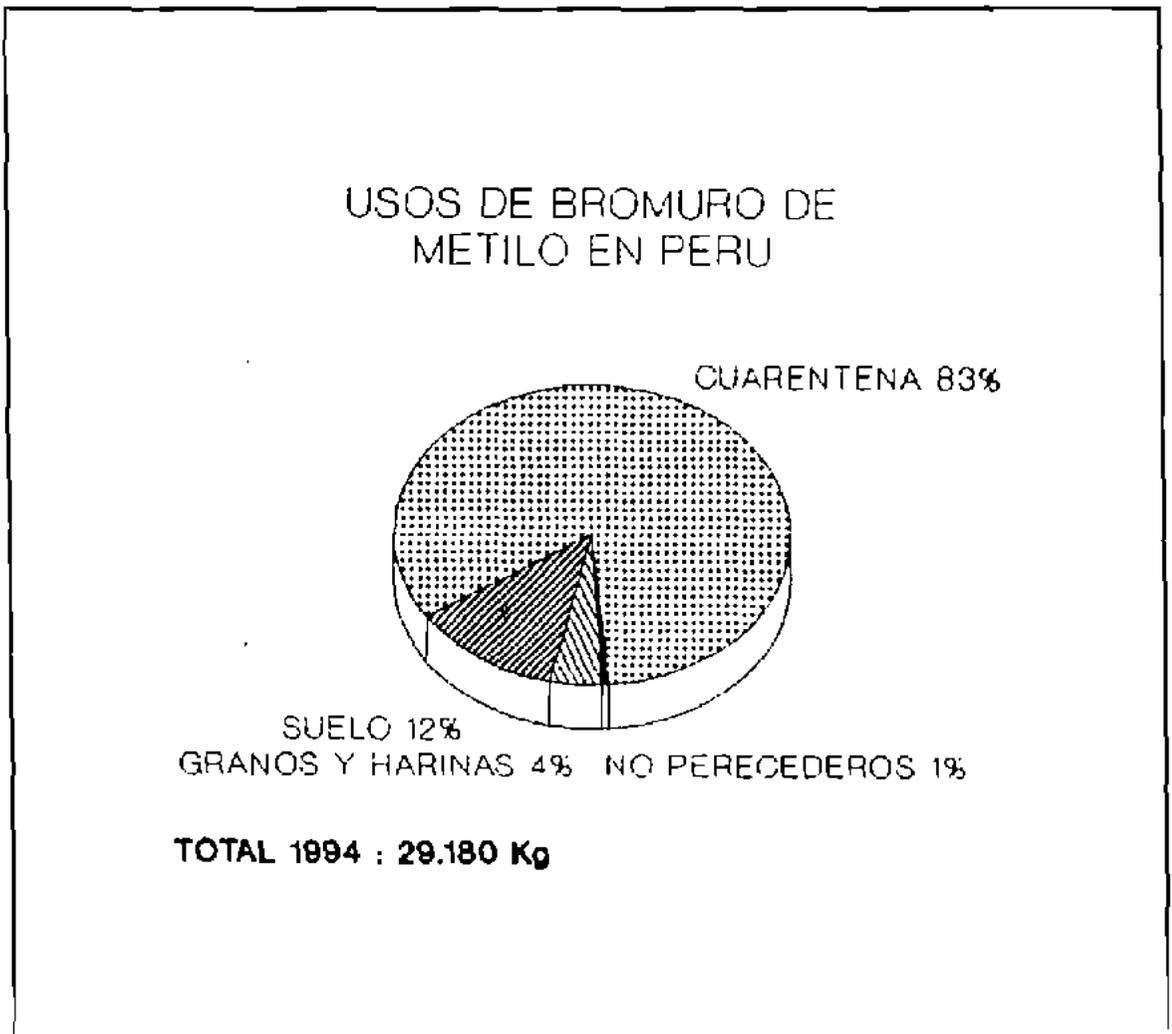


Figura 3.5. Usos de bromuro de metilo en Perú (1994).

El sector cuarentenario, el más importante en volumen y en valor, lamentablemente carece de alternativa viable. Los sectores de bienes exportables y no exportables, tienen un manejo más sencillo que el anterior, pues existen varias alternativas que pueden ser usadas solas o combinadas. Alternativas, como el tratamiento químico con fosforo de aluminio y de magnesio, el empleo de insecticidas y fungicidas de contacto, el saneamiento ambiental riguroso y otras técnicas, sin duda facilitarán la eliminación de BM en esos dos sectores.

El Cuadro 3.8 presenta un resumen de las alternativas al BM, disponibles en el Perú, de acuerdo al sector de usuarios.

**Cuadro 3.8.- Estado de avance en la identificación de alternativas al empleo del Bromuro de Metilo.**

Sector	Alternativas
Cuarentena	<b>Productos no perecederos:</b> ninguna
Exportable y no exportable	<b>Productos no perecederos:</b> fosfina, insecticidas y fungicidas de contacto, saneamiento ambiental, tratamientos de frutos con agua caliente, con vapor de agua, empleo de repelentes naturales, empleo de aceites y polvos inertes, irradiación, empleo de controladores biológicos.
Cultivo	<b>En viveros:</b> esterilizantes del suelo (dazomet, metam sodio), vapor de agua, rotación de suelo, incorporación de materia orgánica, solarización, control de malezas manual o químico, insecticidas y nematicidas, cultivares resistentes y tolerantes a patógenos.

### 3.10. Argentina <sup>10</sup>

En Argentina, existen numerosas áreas de considerable extensión y agroecológicamente muy diferentes lo cual permite la realización de una gran variedad de cultivos hortícolas y frutales en las distintas regiones del país. El bromuro de metilo es utilizado en numerosos productos para el control de plagas y enfermedades como ser frutos frescos, granos, cueros y maderas (Figura 3.6).

Los volúmenes importados fueron variables a través del tiempo (Cuadro 3.9). En el año 1995, la importación superó los 400.000 kg (registro hasta el mes de septiembre), probablemente por la imposición de barreras fitosanitarias de diferentes regiones.

Cuadro 3.9. Volúmenes importados de BM.

Años	Cantidad (Kg)
1992	407.000
1993	300.000
1994	355.000
1995	434.000

<sup>10</sup>Ing. Agrónomo Miguel Atilio Costilla.  
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes.  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean,  
Colombia-1995.

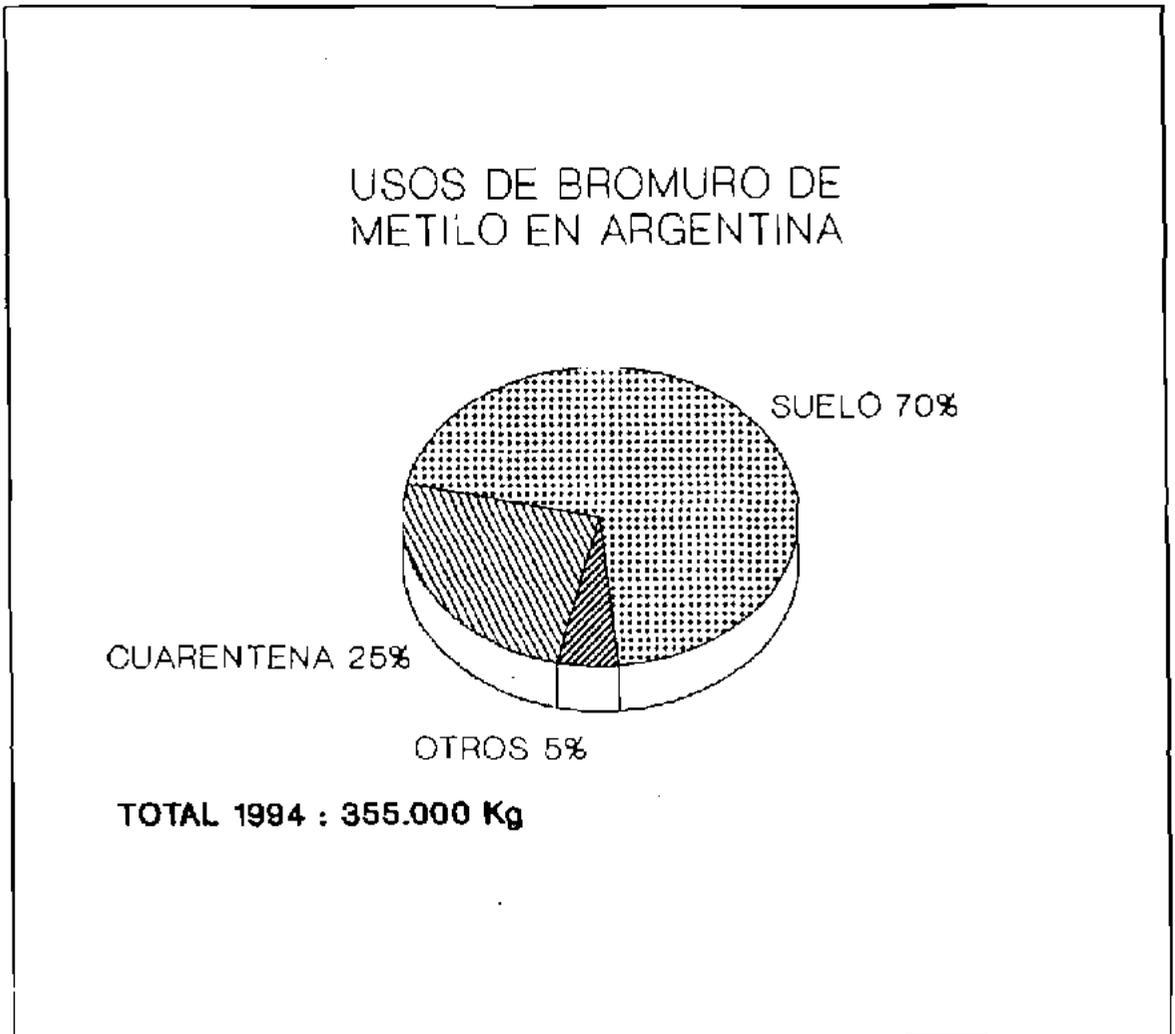


Figura 3.6. Usos de bromuro de metilo en Argentina (1994).

El destino de este producto se distribuye de la siguiente manera:

**PRE-SIEMBRA:** Se emplea entre el 60 y 80% del total en desinfección de suelo (almácigos de tomate, pimiento, apio, frutilla, tabaco).

**POST-COSECHA:** Se emplea entre el 20 y 30% del total de producto importado en fumigaciones cuarentenarias para importación y exportación de fibra de algodón, madera, frutas, granos, etc.

**OTROS:** maderas y cueros.

El reemplazo del BM constituye un verdadero desafío ya que las alternativas evaluadas no registraron la misma eficiencia en el control de plagas y enfermedades, tanto en tratamientos pre-siembra como en frutos en post-cosecha.

**Tratamientos de suelo:** Se están evaluando fumigaciones con productos como metam sodio, dazomet y cloropicrina. También pueden aplicarse productos no fumigantes como aldicarb, carbofurán, oxamyl, fenamifós, benomyl, etc. En todos los casos, para poder lograr una mayor cobertura de control de los diferentes problemas fitosanitarios, se deberán combinar distintos productos de acción como herbicidas, fungicidas, nematicidas e insecticidas.

Dentro de las alternativas físicas puede recomendarse el uso del vapor de agua caliente; la solarización, pero para áreas muy limitadas. En todos los casos el tiempo de duración del tratamiento será mucho mayor que el empleado con BM. Otro tipo de alternativas se refiere al uso de variedades resistentes, rotaciones, cultivo de plantas sin suelo, uso de compost, etc.

**Tratamientos de fruta post-cosecha:** Se han utilizado productos que liberan lentamente su ingrediente activo como los fosfuros de aluminio y de magnesio. En ambos casos el tiempo de exposición necesario para un control eficiente

de las diferentes plagas y enfermedades es de 72 a 96 horas. Así mismo, cabe destacar la escasa capacidad de penetración de la fosfina comparada con el BM, lo que acarrearía inconvenientes en el control de ciertas plagas como algunos estadios biológicos de moscas de la fruta.

Los métodos físicos propuestos consisten en someter a los productos agrícolas a bajas temperaturas durante determinados tiempos de exposición (Cuadro 3.10). Lamentablemente, en diversas ocasiones, el tiempo disponible para lograr la madurez comercial óptima es menor al tiempo requerido para el tratamiento, lo que provoca el consiguiente perjuicio comercial al productor.

**Cuadro 3.10. Ejemplos de tratamientos de frío para distintos productos agrícolas.**

Productos	T (°C)	Tiempo (días)
Cítricos Peras	< 0°	11
Manzanas Cerezas	< 0,5°	13
Damasco Uva Durazno	< 1,1°	15
Ciruela	< 1,6°	17

### 3.11. República Dominicana <sup>11</sup>

Las aplicaciones del bromuro de metilo como plaguicida agrícola está mayoritariamente dirigida al control de plagas en productos almacenados, tales comoyuca seca, batata, yautía; semillas y granos como arroz, habichuelas (frejol), sorgo, maíz, gandules, representando aproximadamente un 60% del total. El restante 40% de BM se utiliza en actividades agrícolas, a saber: como fumigante del suelo en presiembra para el control de hongos, insectos, nemátodos y malezas en semilleros de flores, hortícolas, de tabaco y algunas especies forestales (Figura 3.7).

El consumo promedio anual de BM es de 91 toneladas, todo de origen externo, representando esta cantidad un incremento del 4% con respecto al último reporte de abril de 1995. Dicho aumento se debe a medidas de previsión por parte de algunos distribuidores, que enterados de posibles restricciones futuras sobre el producto, han decidido almacenar cantidades importantes del mismo.

De acuerdo a la información obtenida del Depto. de Sanidad Vegetal de la Secretaría de Estado de Agricultura (SEA), oficialmente no se han planteado alternativas que sustituyan al BM para sus diversos usos y aplicaciones; sin embargo, al parecer existen épocas durante el año donde el producto no es tan abundante y aparecen otros productos comerciales desempeñándose como sustitutos del BM.

---

<sup>11</sup>Juan Filpo. Comité Gubernamental de Ozono.  
Secretaría de Estado de Agricultura.  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean,  
Colombia-1995.

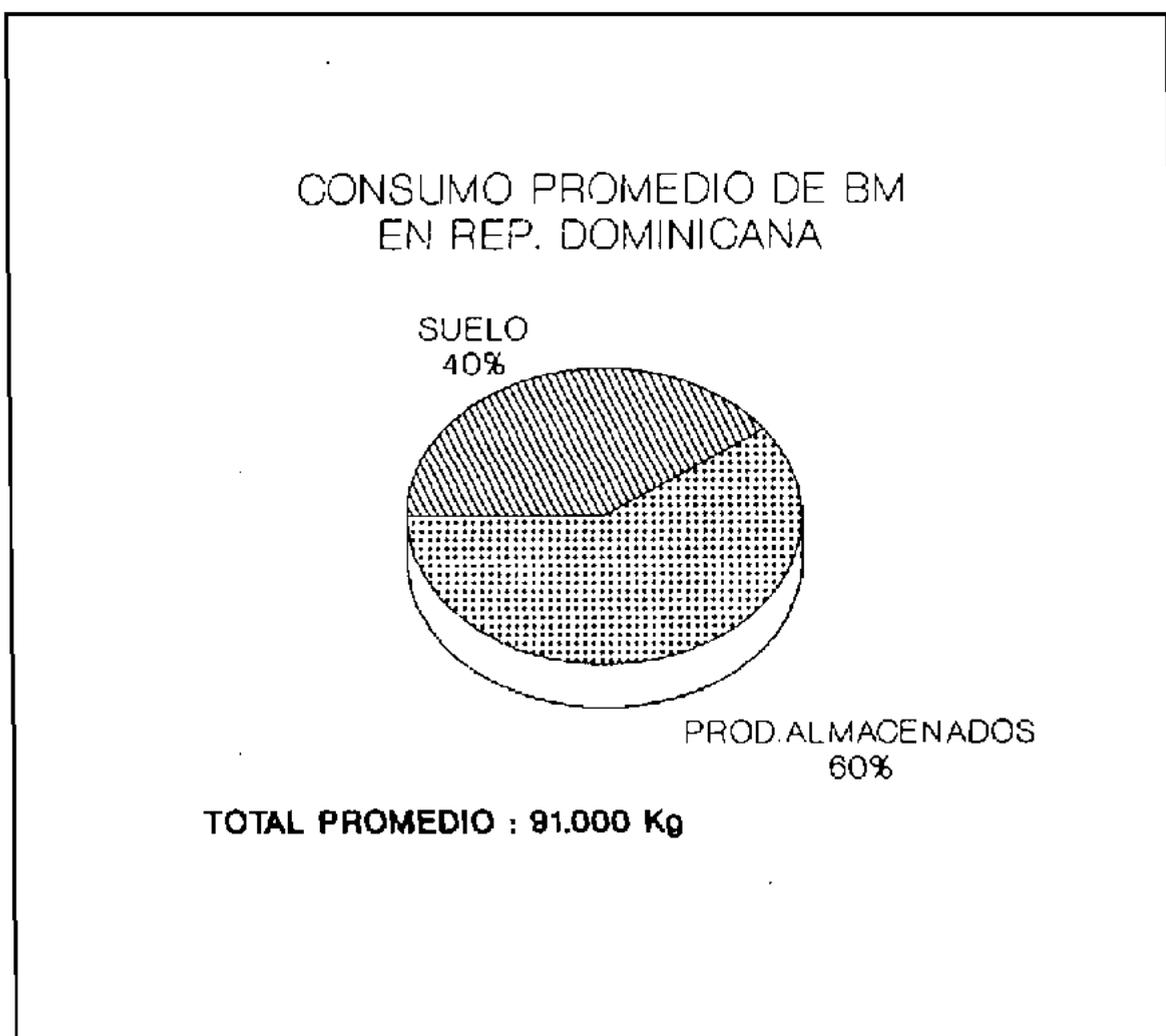


Figura 3.7. Consumo promedio de bromuro de metilo en República Dominicana.

En el Cuadro 3.11 se señalan los productos alternativos al bromuro de metilo y su área de aplicación.

**Cuadro 3.11. Productos alternativos al BM según usos.**

Productos alternativos	Area de aplicación
Fosfuro de aluminio y Fosfuro de magnesio	Control de plagas y artículos almacenados; tratamiento de cuarentena y pre-embarque.
Metam sodio, Dazomet, Basamid granulado, 30WB, etc. Dicloropropeno	Fumigación de suelos en presiembra para flores y semilleros de tabaco. Desinfección de suelos en cultivo de melón.
Diclorvos Metil pirimifos	Flores cortadas para exportación. Control de plagas en estructuras.

### 3.12. México <sup>12</sup>

Los principales usos del BM en México son: conservación y protección de productos perecederos y no perecederos, tratamientos de instalaciones, tratamientos cuarentenarios y fumigación al suelo (Figura 3.8).

Se estima que el consumo anual de este producto es de aproximadamente 6.000 toneladas.

Para la fumigación del suelo, las alternativas actualmente utilizadas son: Cloropicrina, Dazomet, Metam sodio, 1,3-Dicloro-propeno, Isotiocianato de metilo + 1,3-dicloropropeno; mientras que para sustituir el bromuro de metilo en la fumigación de granos con fines de conservación se está usando fosforo de aluminio y de magnesio. En cuanto a la fumigación de estructuras, como productos alternativos se emplea fosforo de aluminio y cloropicrina.

Para el caso de los tratamientos cuarentenarios, las opciones que se implementaron son las siguientes:

- Cuarentena interna: - tratamiento hidrotérmico para mango.
- Exportación : - tratamiento hidrotérmico para mango.
  - fosforo de aluminio, magnesio u otro plaguicida autorizado por el país importador.
  - declaración de áreas libres.
  - interés en establecer aire caliente húmedo forzado para cítricos.

---

<sup>12</sup>Francesco Castronovo

Secretaría del Medio Ambiente, Instituto Nacional de Ecología.  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean,  
Colombia-1995.

- Importación : - Fosforo de aluminio, generalmente es tratamiento de origen.
- Tratamiento de frío para frutas de carozo de Estados Unidos y Chile.

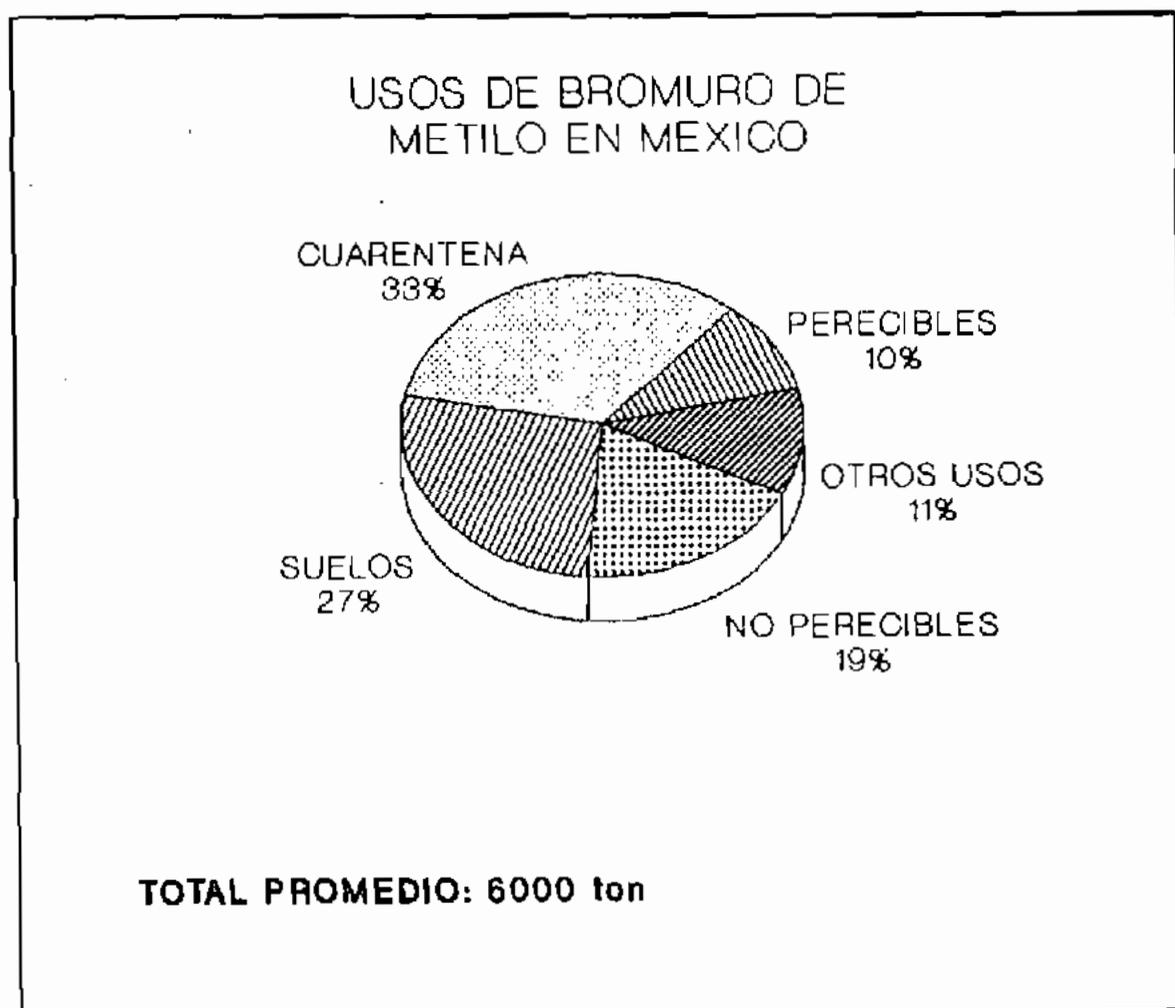


Figura 3.9. Usos de bromuro de metilo en México.

3.13. Venezuela <sup>13</sup>

En Venezuela el uso principal del bromuro de metilo es con fines agrícolas para la desinfección del suelo en semilleros de tabaco.

En el Cuadro 3.12 se puede observar el consumo anual, aproximado, de bromuro de metilo.

Cuadro 3.12. Consumo de Bromuro de Metilo.

Años	Consumo aprox.(kg)
1992	87.550
1993	22.500
1994	3.400

Dentro de los productos alternativos al bromuro de metilo para la desinfección del suelo, actualmente se están utilizando los siguientes: Basamid, Glifosato (para el control de Cyperus rotundus).

Cabe señalar que este producto está sujeto al reglamento general de plaguicidas y sus normas, no existiendo legislación específica para su uso.

<sup>13</sup>Magaly Rivero.

División Insumos Agrícolas, Ministerio de Agricultura.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean, Colombia-1995.

3.14. Brasil <sup>14</sup>

El bromuro de metilo se utiliza casi exclusivamente para el tratamiento de desinfección del suelo (97%) en cultivos de tabaco, flores y ornamentales, café y hortalizas (Figura 3.9).

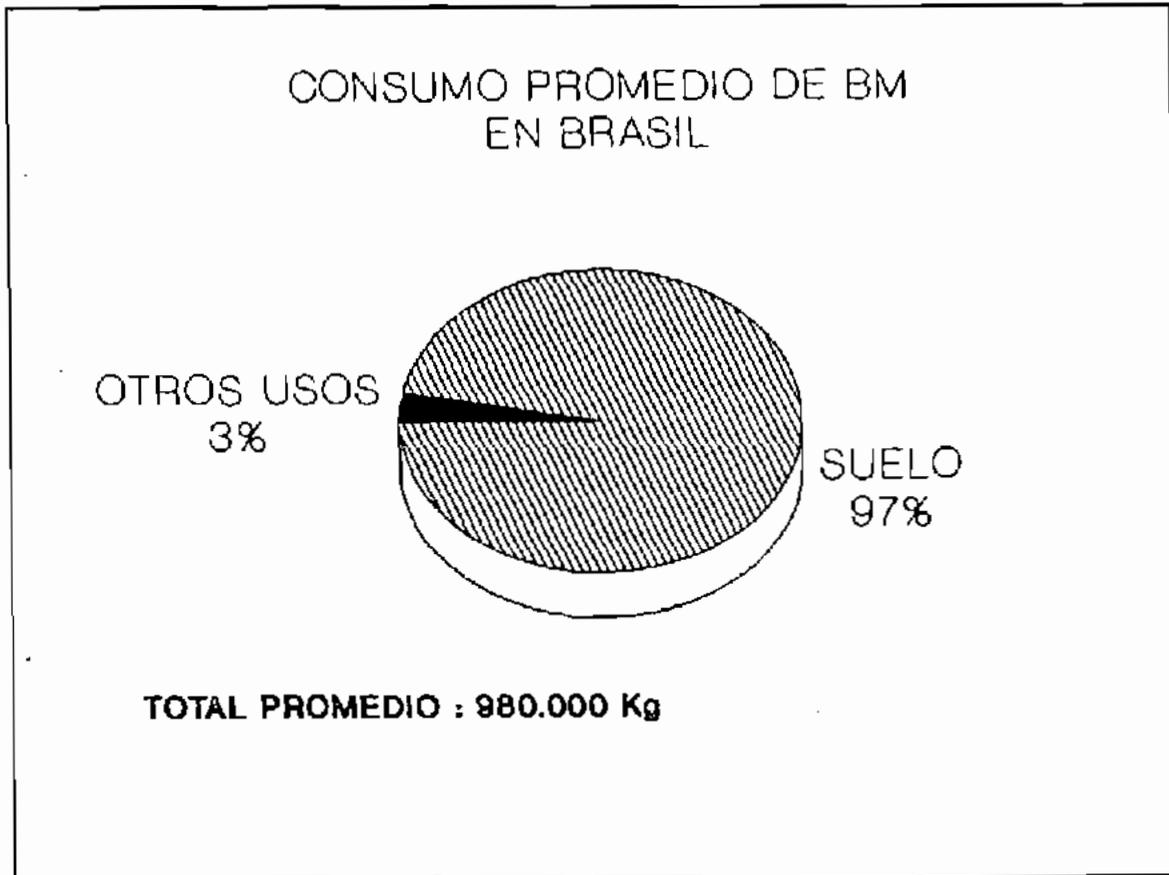


Figura 3.9. Consumo promedio de bromuro de metilo en Brasil.

<sup>14</sup>Liamarcia Silva.

Ministerio de Medio Ambiente de los Recursos Hídricos.

Marcos de Barros. División de Agrotóxicos y afines.

Ministerio de Agricultura.

Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean,  
Colombia-1995.

Las cantidades de BM que se han importado en los últimos años se señalan en el Cuadro 3.13.

**Cuadro 3.13. Importaciones de BM (kg).**

Años	Cantidad
1988	764.839
1989	974.074
1990	684.392
1991	940.486
1992	1.146.958
1993	1.144.342
1994	388.133
1995	982.379*

\* enero a julio

Dentro de las alternativas propuestas para la substitución del BM se puede indicar:

- Solarización.
- Vaporización.
- Productos químicos.
- Utilización de sustratos comerciales.
- Producción de cultivares resistentes a patógenos y plagas.
- Manejo Integrado de Plagas.
- Agricultura de sustentación.

#### **4. ANTECEDENTES DE LA SITUACIÓN DEL BROMURO DE METILO EN CALIFORNIA.**

La agricultura de California, que abastece cerca de la mitad de la alimentación de las mesas norteamericanas, está experimentando una evolución de proporciones históricas.

Los pesticidas han sido un foco de interés público, teniendo como resultado reglamentaciones federales y estatales que regulan estrictamente su disponibilidad y uso. Minerales tales como el azufre y el cobre y naturalmente los derivados vegetales como el piretro, pasan a ser pesticidas cuando se emplean en el control de insectos o enfermedades vegetales convencionales, tales como agentes microbianos y feromonas son regulados como pesticidas cuando son usados para el control de plagas.

La eliminación del uso de bromuro de metilo (sujeto de una sección especial en esta discusión) es un ejemplo de los complejos desafíos que vendrán con la reglamentación de los pesticidas. Antes que este fumigante tan ampliamente utilizado sea probablemente cancelado en el año 2001, la nación debe resolver preguntas difíciles como la actual contribución del BM usado en la agricultura, en la destrucción de la capa de ozono (materia de debates científicos), los costos económicos, ambientales y de salud de las alternativas propuestas, y cómo mitigar el impacto económico de su eliminación.

El BM ha sido ampliamente usado desde la década de 1930 como un fumigante de suelos en la producción agrícola, en la protección de productos almacenados y para eliminar en usos agrícolas, semilleros y postcosecha en California. Adicionalmente, se aplicaron 1.900 ton para controlar plagas en las construcciones. La fumigación con BM ha llegado a ser ampliamente

utilizada porque se le reconoce como un método efectivo y económico de atacar variadas plagas problema. El servicio de investigación económica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), en un informe editado a comienzos del año 1994, estimó que la eliminación de bromuro podría costar cerca de 1.000 millones de dólares anualmente en efectos combinados para los productores norteamericanos.

El BM está siendo desplazado bajo la normativa de "The Clean Air Act", el cual regula toda clase de sustancias que puedan afectar la atmósfera (de los EE.UU.) incluidas aquellas que destruyen la capa de ozono. Entre estas se cuenta el BM, cuya eliminación está propuesta para el año 2001.

Desafortunadamente, debido a los diversos usos y objetivos del BM, una sola alternativa no puede igualar sus múltiples funciones. Otros pesticidas propuestos son menos efectivos o son igualmente efectivos solamente para algunas aplicaciones. Algunos requieren ser registrados o re-registrados. Algunos de los materiales alternativos pueden estar sujetos a reglamentaciones de salud o del ambiente, las cuales podrían comprometer su disponibilidad. Las alternativas comunes no químicas son generalmente menos efectivas o antieconómicas para la mayoría de las situaciones, sin embargo, un estudio reciente de la Universidad de California, identificó al menos 20 trabajos que proponen alternativas al BM.

Sin embargo, alternativas aceptables no estarán disponibles pronto. Los estudios de campo y de laboratorio demoran una década o más, principalmente los dedicados a asegurar estrategias de manejo de plagas. Adicionalmente, los recursos para estas investigaciones son limitados.

Mientras que algunos podrían cuestionar la necesidad de restringir el uso de materiales conocidos por su serio impacto ambiental y de salud, una

investigación publicada en la revista Science, a principios de 1994, genera dudas acerca del impacto del uso del bromuro de metilo en la producción. Los científicos han identificado otra fuente significativa de destrucción de la capa de ozono por bromuro, que incluye fuentes naturales como los incendios y emisiones marinas. Además, no existen datos empíricos desde los cuales estimar la fracción que escapa a la atmósfera durante y después de las fumigaciones agrícolas.

#### **4.1. Efectos de la eliminación del bromuro de metilo.**

Cuando en 1990 "The Clean Air Act" estableció que el BM sería desplazado dentro de 10 años, se generó una acelerada búsqueda de alternativas que pudiesen realizar las múltiples funciones de este fumigante agrícola y de edificios. En California, donde anualmente se utilizan 10.000 ton de este producto, se dedican importantes esfuerzos a tratar de resolver este problema, ya que esta cifra corresponde a un tercio de todo el BM usado en EE.UU. y a un 14% del total mundial.

Por otra parte, el Protocolo de Montreal del Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, ha solicitado a los países signatarios una reducción voluntaria de un 25% en el uso del BM para el año 2000. Sin embargo, algunos países han planteado la necesidad de adelantar tal plazo.

La fumigación con BM (en presiembra y postcosecha) es ampliamente usada para eliminar una gran gama de plagas, enfermedades y malezas en más de 60 cultivos y también en plantas procesadoras de alimentos y construcciones. Estados Unidos, al cual corresponde el 41% del uso a nivel mundial de bromuro, es el único país que planea prohibirlo completamente. A comienzos del año 1994, la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) congeló la producción e importación del fumigante de suelos

y de postcosecha con respecto a los niveles de 1991. No obstante, no existen regulaciones que obliguen a reducir su uso actual, por lo cual los usuarios no sentirán la presión hasta que en el 2001 cese la producción e importación de este producto.

En el caso del BM, éste será desplazado por lo menos en una década, lo cual representa una situación especial, pues en la mayoría de los casos, los pesticidas han desaparecido rápidamente, ya sea cuando los fabricantes los han retirado voluntariamente o las agencias los han suspendido o cancelado. Esta situación representa una oportunidad para que los científicos analicen el impacto económico, ambiental y sanitario del BM y sus alternativas; ¿las sustancias sustitutas y sus prácticas, son mejores o peores?, ¿están seguros los científicos que el uso agrícola del BM es un factor significativo en la destrucción del ozono?, ¿cuáles serán las implicaciones sociales por la pérdida de un material tan utilizado en el campo y en las comunidades agrícolas?, ¿qué medidas compensatorias pueden proponerse para amortiguar tales pérdidas?

En efecto, las últimas evidencias científicas han aumentado las preguntas acerca del impacto del uso del bromuro en la agricultura. Aparentemente la mayoría de los técnicos están de acuerdo en que es un destructor de la capa de ozono, pero la fumigación puede no ser el mayor contribuyente. De hecho, los océanos son reservorios de bromuro, el cual es producido por el plancton y podría contribuir a la mitad de las liberaciones. Además, la quema de biomasa (tales como los incendios forestales y las quemaduras de rastrojos en los campos), también liberan bromuro gaseoso que se estima en un 30% del total existente en la atmósfera. Estimaciones de emisión normal hacen presumir que el bromuro no es destruido en el suelo, por ello un equipo de investigadores de la U. de California en Riverside y del USDA están llevando a cabo experimentos para medir cuánto del bromuro aplicado al suelo va a dar al aire.

El 85% de las 9 mil toneladas que se utilizaron en California en 1992, se destinaron a la fumigación del suelo en presiembra para proteger los cultivos contra nemátodos, enfermedades y otras plagas propias del suelo. De acuerdo al Departamento de Regulación de Pesticidas (DPR) de California, en un informe sobre el uso de pesticidas en 1992, los que más aplicaron en el estado fueron los productores de frutillas, con 2.400 ton, la vid con 1.000 ton, almendros con 750 ton y maceteros de plantas al aire libre con 500 ton.

#### **4.1.1. Recientes restricciones al bromuro de metilo, en California.**

Además de la acción federal, el estado de California ha impuesto sus propias restricciones para el BM:

**Abril 1992.** El DPR ordenó períodos más largos de aireación luego de la fumigación en edificios, para proteger a las personas que retornan a ellos por posibles efectos neurotóxicos y defectos en los nacimientos, causados por el BM:

**Enero 1 de 1993.** La Oficina de Fijación de Riesgos para la Salud Ambiental de California/EPA (OEHHA) agregó el BM, como fumigante de edificios, a la lista de químicos que pueden causar efectos congénitos.

**Enero 1 de 1993.** El DPR impuso nuevas condiciones que permiten reducir la exposición del trabajador en las fumigaciones de campo. Esto es modificaciones en los equipos, restricción de las horas de trabajo, reducción de las dosis aplicadas, limitar la superficie tratada por día, el establecimiento de zonas de resguardo para proteger a la gente que vive o que trabaja cerca de las zonas fumigadas.

**Mayo 5 de 1994.** Un comité asesor de toxicólogos del consejo de OEHHA, acordó unánimemente que el BM no debería ser clasificado como un tóxico reproductivo, excepto para usos en ambientes confinados.

#### **4.1.2. Fumigación de suelos en California.**

En la producción de frutillas en California, la inyección de una mezcla de BM y cloropirina bajo un film de polietileno en el campo previo a la plantación, llegó a ser una práctica común en el control de malezas, enfermedades del suelo, babosas, caracoles, gorgojos y nemátodos, debido a su efectividad y a que no dejaba residuos.

Para facilitar la transición, dado el amplio espectro de acción del fumigante, la industria frutillera estatal otorgó 150.000 dólares a la EPA y 200.000 dólares al USDA, con el fin de investigar las posibilidades de obtener productos alternativos al BM.

Diversos investigadores de la Universidad de California, en Riverside, en conjunto con los productores de frutillas, han diseñado un programa de investigación incluyendo la crianza de plantas que posean resistencia frente a enfermedades y plagas, trabajos de análisis de nuevas estrategias de aplicación de enfermedades del suelo y plagas problema en un ambiente controlado.

Las frutillas son especialmente susceptibles a las enfermedades, incluyendo la pudrición negra de la raíz, pudrición por Phytophthora y marchitez por Verticillium, el cual es el patógeno más severo. Sin la fumigación las plantas pueden crecer bien por dos o tres años, pero después las altas poblaciones de estos organismos aumentan y la tierra no podría nuevamente ser usada para producir frutillas.

Los investigadores que estudian los efectos de la no fumigación, han advertido que los organismos dañinos se recuperan más rápido de lo esperado, detectándose pérdidas que fluctúan entre 25 y 50% de la población de plantas.

Distintas alternativas de productos químicos se han eliminado en California y otros han originado interés. En 1991, el único fabricante del fumigante de suelos Vorlex (metil isotiocianato + 1,3-D) canceló voluntariamente el producto debido a los costos prohibitivos de inscripción. En 1990, el DPR suspendió todos los permisos para el uso de Telone (1,3-D), otro fumigante del suelo, después que concentraciones significativas fueron detectadas en el aire. La cloropicrina (que también genera un agotamiento del ozono), fungicida usado en los tratamientos del suelo, afronta la suspensión bajo la Acción Preventiva de Defectos Congénitos de California (SB 550) debido a que el registro de información de los fabricantes está incompleto. Si se niega la apelación, la producción cesará y las provisiones existentes se venderán en sólo los dos próximos años.

#### 4.1.3. Fumigación de postcosecha.

Las aplicaciones de postcosecha con BM son críticas para algunos productos. Las nueces, manzanas, cerezas y otros productos, son fumigadas antes del embarque para satisfacer requerimientos fitosanitarios de otros gobiernos. Se ha estimado que cerca del 95% de los productos considerados cuarentenarios dependen de las fumigaciones con BM, por esto, su eliminación podría afectar dramáticamente el comercio de los EE.UU.

Se plantea proponer al congreso de los Estados Unidos algunas excepciones a la aplicación del "Clean Air Act", para aquellos productos en que no exista una solución al uso del BM para el año 2001.

A modo de ejemplo, las nueces de California no presentan una alternativa de tratamientos satisfactorio en la actualidad. De hecho, la fosfina, cuyo reregistro se encuentra en proceso, podrá ser utilizada, pero, el tratamiento es muy lento. En la fumigación de nueces con cáscara, el tratamiento con BM dura 12 a 24 horas, mientras que con fosfina toma 4 a 7 días.

#### **4.1.4. Fumigación en construcciones.**

La fumigación de construcciones considera sólo el 5% del uso de bromuro de metilo, pero debido a que éste puede ser usado en un gran número de diferentes circunstancias y en una amplia variedad de plagas, su reemplazo será sin duda un desafío.

Solamente dos fumigantes, el BM y el fluoruro de sulfurilo (Vikane), están disponibles para controlar escarabajos en postes y termitas en la madera seca. El BM es el pesticida preferido para controlar estos escarabajos debido a que actúa como ovicida, matando los huevos así como también a los insectos adultos. El Vikane no solamente es más caro que el BM (US\$5/Kg v/s US\$1,5/Kg), sino que además se debe usar 10 veces más de este producto para tratar madera seca con termitas.

A diferencia del BM, que se ha estado utilizando en las plantas procesadoras y para el cual existen límites permisibles en los alimentos, el Vikane no ha sido registrado para ellos, lo que en la práctica significa que no se puede usar en presencia de los alimentos, por lo cual estos deben ser retirados antes de la fumigación. La fosfina, por su parte, puede ser usada cerca de los alimentos, sin embargo, algunas plagas han mostrado resistencia y además su acción es lenta.

Por todo lo anterior, el USDA ha aumentado sus aportes para investigación con el fin de buscar alternativas frente al bromuro en California (US\$ 889.000 de los US\$ 7,5 millones para toda la investigación nacional en 1993; US\$ 1,2 millones de los US\$ 8,5 millones en 1994 y US\$ 4 millones de los US\$ 18,5 millones para 1995).

#### **4.2. Tratamientos alternativos en función del cultivo.**

En los próximos seis años todos los usos agrícolas del BM serán eliminados de acuerdo con la EPA de los EE.UU. y el UNEP. Este compuesto ha sido ampliamente aplicado como fumigante del suelo, y su restricción afectará a todo el estado; sin embargo, más en algunas regiones y cultivos que en otros. Se prevé que la pérdida económica más considerable afectará a los productores de frutilla en las regiones de la costa central y sur; y en los viveros de todo el estado. El desplazamiento podría comenzar con el uso de BM a bajas dosis con el fin de evitar algunas de las ineficiencias generadas por la cancelación de todos los usos agrícolas a la vez.

El BM es un pesticida altamente volátil extremadamente tóxico y de amplio espectro, utilizado en la agricultura californiana para el control de plagas en más de 60 cultivos. Los productores lo aplicaron, primeramente, como un fumigante de presembrado en el suelo, cuyo objetivo era atacar nemátodos, hongos y otros organismos propios del suelo, así como también algunas semillas de malezas e insectos.

En respuesta al interés público y de los trabajadores acerca de las implicaciones en la salud y de la seguridad agrícola del BM, el Departamento Regulador de Pesticidas de California, ha ido desarrollando estrictas reglas para controlar su uso. También, en respuesta a recientes descubrimientos con respecto a que la liberación de BM a la atmósfera puede contribuir a la

destrucción de la capa de ozono, la EPA y el Programa Ambiental de Naciones Unidas (UNEP), iniciaron procedimientos para reducir el nivel nacional y mundial de uso de este fumigante para el año 2001.

Frente a la expectativa de la cancelación del BM para fumigación de suelos, los productores californianos buscarán sopesar los distintos costos y efectos en el campo, asociados a cada estrategia. Se deberá medir el impacto económico de beneficios agrícolas sobre las estrategias comunes para el control de plagas, las cuales incluyen BM, con los beneficios agrícolas proyectados cuando los productores deban elegir un tratamiento distinto para suelos. El estudio también combina regiones agrícolas específicas y datos económicos en un esquema consistente, de tal forma que se puedan evaluar las implicaciones económicas de los distintos planes de acción.

El análisis tentativo de los beneficios de los pesticidas tiene que enfatizar diferencias regionales. Debido a la diversidad de suelos, plagas y condiciones económicas en distintos efectos en el campo y las características de los costos dependen del lugar donde ellos sean usados.

Hay que tener en cuenta que, la eliminación de BM propuesta tendrá lugar en el 2001 para todos los usos, prescindiendo del gran impacto regional en los cultivos y si existen alternativas. Un gran número de cultivos, presenta alternativas, pero no todos. Teóricamente, luego de la eliminación de este agente fumigante, los agricultores de cada región deberán elegir la tecnología alternativa de tratamiento de suelo que genere los más altos beneficios dadas las condiciones locales. Tendrán que desarrollar planes de acción reguladores que alcancen las metas deseadas de reducción de pesticidas, junto con la mayor eficiencia y las menores pérdidas para los productores.

#### **4.2.1. Impacto de la cancelación del uso del BM en California.**

Se ha medido separadamente el impacto de la cancelación del BM para cada una de las siguientes regiones de California: el valle de Sacramento, el valle de San Joaquín, la costa norte, la costa central, la costa sur y los valles sureños. En estas regiones la fumigación de suelos se divide en tres categorías : flores, frutas y hortalizas, y en viveros; otros cultivos anuales de alto valor; y cultivos perennes. Los principales cultivos anuales, por su valor, incluyen a las frutillas y tomates frescos (en viveros). Los cultivos perennes incluyen almendras, vides, durazneros, nectarines y nogales. Cada uno de ellos se produce en al menos dos de las seis regiones antes citadas en el estado.

Los precios y los rendimientos de los productos en las plantaciones, varían por región. Por ejemplo, los rendimientos por há para nectarines, tomates frescos y nueces son aproximadamente tres veces mayores en las regiones más productivas que en las menos productivas. Los precios por tonelada a través de las regiones también varían. Por ejemplo, en el caso de los viñedos de los valles sureños los precios promedios son tres veces mayores que los del valle de San Joaquín.

En California, para cada producto, en cada región donde éste se cultiva, se están desarrollando un conjunto de estrategias alternativas para el tratamiento del suelo, considerando costos y rendimientos. Los costos esperados para alternativas químicas serían los mismos que su precio normal de mercado.

Entre las alternativas químicas están el metam sodio, fenamifos y una aplicación experimental de altas concentraciones de urea u otros fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, toda nueva tecnología que involucre el uso de

productos químicos tendrá que sufrir un lento y costoso proceso de registro. Entre los controles no químicos considerados, están la rotación de cultivos, los barbechos y la solarización de suelos.

#### **4.2.2. Análisis del impacto de la cancelación del uso del BM en California.**

La eliminación del BM puede aumentar los costos del tratamiento del suelo y disminuir los de cosecha; en el último caso, debido a las pérdidas de rendimiento o a la reducción voluntaria de la producción, en respuesta a las barreras impuestas por los mercados de exportación. Para las flores, los agricultores esperan adaptar un tratamiento de vapor para la producción interna y dazomet para la producción externa. Para flores, frutas, vides, nogales y plantas de frutilla, los agricultores esperan sustituir el bromuro de metilo por las rotaciones de cultivo. En este caso, los costos más bajos de cosecha se compensan con los cambios en los costos de tratamientos de suelo, de modo que el costo actual por há caerá. Por otro lado, los retornos a los productores son sustancialmente afectados por las pérdidas de mercados para sus productos.

La cancelación del BM para fumigación de suelos tendrá un impacto significativo en los agricultores de California. Estiman que los efectos a corto plazo serán pérdidas en más de US\$ 196 millones, de los cuales US\$ 67,7 millones lo tendrán los viveros y US\$ 128,4 millones los cultivos. De esta última cifra US\$ 106 millones se asocia a la frutilla, US\$ 5 millones a la uva, US\$ 4 millones a los nectarines y US\$ 7 millones a los duraznos. Estas pérdidas no incluyen los efectos multiplicadores sobre otros rubros económicos de California.

El plan de acción propuesto acerca de una prohibición total del BM, es probablemente ineficiente desde el punto de vista económico, porque no considera la cantidad de BM utilizada y por otra parte, no toma en cuenta los beneficios económicos para la salud pública. Una eliminación progresiva, en la cual la cancelación comience usando las cifras más bajas y luego proceda secuencialmente, podría evitar algunos de los inconvenientes que se derivan de la eliminación inmediata de todos los usos agrícolas. Al permitir que grandes cantidades continúen usándose por un período específico, se evitarían pérdidas importantes para los productores en el corto plazo, mientras se entrega incentivos para investigar alternativas de tratamiento de suelos en el largo plazo.

Alternativamente, la imposición de impuesto desalentaría el uso del BM, y así los productores enfrentados a un aumento en el precio, reemplazarían parte de la cantidad del BM por un compuesto alternativo como el metam sodio. Dependiendo de las condiciones, podrían cambiar a una nueva tecnología de control de plagas o bien continuar usando el mismo nivel de BM a pesar del mayor costo. Una política semejante podría otorgar incentivos para que los usuarios de cantidades importantes, encontraran alternativas más económicas. Por ejemplo, se ha estimado que un impuesto que aumentara el precio del BM a US\$ 40/Kg, podría provocar una disminución del empleo de BM en la fumigación del suelo desde 10.000 ton actuales a 3.000 ton. Naturalmente, medidas de este tipo exigen mayor meditación.

### **4.3. Efectos económicos de la eliminación del BM en la postcosecha.**

El impacto económico de la eliminación del BM para la fumigación en postcosecha es función del cultivo en cuestión. Para las nueces, si los procesadores californianos usaran una alternativa de control de plagas que signifique un tratamiento de más tiempo, dispondrían de una menor oferta para el primero de noviembre, fecha clave para el embarque de nueces a Europa. Además, la eliminación de BM podría efectivamente cerrar el acceso a los mercados de exportación para cerezas, duraznos y nectarines hasta que otras alternativas de tratamiento cuarentenario sean aprobadas por el comercio oficial.

Los dos usos más importantes del BM en postcosecha para California son la fumigación de rutina de nueces para exportar a Europa y la fumigación de frutas de carozo y uvas para satisfacer restricciones cuarentenarias.

Como se expresó anteriormente el impacto de este compuesto en la fumigación de suelos es importante, por las pérdidas económicas, concentradas en unos pocos cultivos y regiones. A pesar, que la fumigación de suelos con BM en 1990, correspondió a un 95% de todos los usos agrícolas, también este producto es un valioso agente para el control de insectos en postcosecha. Las aplicaciones de postcosecha del BM generan retornos por Kg significativamente más altos, que el usado en fumigación de suelos.

En el caso de las nueces, que son fumigadas principalmente para controlar la polilla de la manzana y la polilla de las naranjas sin semillas, la fosfina es una alternativa interesante, pero tiene importantes desventajas, tales como un largo tiempo de tratamiento y una reducción de la actividad a bajas temperaturas. Se necesita un procesamiento rápido para enviar nueces

de California a Europa (25% de las exportaciones se venden habitualmente antes del 7 de diciembre). Lo que no se exporte se vende en el mercado interno a precios más bajos.

El segundo tipo de impacto relacionado con postcosecha tendría lugar en el caso de restricciones cuarentenarias, por el ingreso de una peste exótica. En este caso, se requiere el tratamiento con BM para algunas frutas frescas que se comercializan en el mercado internacional. Entre éstas se incluyen los duraznos, nectarines, cerezas dulces, ciruelas y uvas. Es evidente que sin un cambio en las regulaciones del mercado, la eliminación de BM podría implicar la pérdida de varios mercados de exportación de importancia en el caso de una cuarentena. Aunque este capítulo se refiere a la situación de California, es conveniente considerar que en agosto de 1994, el estado de Washington inició las exportaciones de manzana a Japón, las que a su vez también deben ser fumigadas con BM.

A los productores californianos puede beneficiarles que una parte de la fruta importada deba ser tratada con BM para cumplir con regulaciones cuarentenarias de EE.UU. Si los otros países - como Chile - tienden a eliminar el uso de BM, los agricultores de California enfrentarán una menor competencia foránea y recibirán precios más altos por sus productos.

#### **4.3.1. Impacto de la eliminación del BM en nueces.**

California es el principal productor de nueces, con casi el 100% de la cosecha comercial de los EE.UU. y aproximadamente el 45% del total mundial. Aproximadamente un tercio de las nueces cosechadas en California son exportadas constituyendo un 75% del total de embarques de nueces con cáscara y un 20% de las sin cáscara. Este producto ocupó el lugar número 12 entre las exportaciones más importantes de California en 1992, con ingresos por sobre los US\$ 136 millones.

Existen dos mercados distintos para las nueces, dentro de Europa. Uno de ellos es el mercado de las nueces con cáscara que, actualmente, deben ser tratadas con BM como una condición de aceptación. El otro mercado es el de las nueces sin cáscara para las panaderías y los fabricantes de cereales y "snacks", cuyo mercado tiene una demanda relativamente constante todo el año. El producto sin cáscara constituye un gran mercado de exportación.

La recuperación del BM, fosfina, atmósfera controlada, tratamientos de frío o calor e irradiación, requieren capitales significativos e inversión de instalaciones. Los tratamientos con calor pueden dañar las nueces, mientras que los de frío y de atmósfera controlada necesitan largos tiempos de exposición. Dada la dispersión geográfica de la producción de nueces en California, es improbable que se establezca una zona libre de plagas. Mientras no esté disponible un método de control biológico para las nueces, las técnicas para recuperar y reutilizar el BM, una vez que estén completamente desarrolladas, serán una alternativa aceptable en el largo plazo.

Dado el conjunto de alternativas disponibles actualmente, y que los productores de nueces enfrentan la cancelación inmediata del registro del BM, la fumigación con fosfina sería lo más probable. Esta alternativa, ampliamente utilizada para fumigar otros tipos de fruto de nuez, puede ser usada en las cámaras de fumigación existentes, con un tiempo de exposición más corto que en los tratamientos de frío y que son por lo general menos caros que el dióxido de carbono y otras atmósferas controladas. Sin embargo, la transición hacia la fosfina implica un aumento en el tiempo de tratamiento de cuatro horas a, aproximadamente, una semana.

No todas las variedades de nueces son adecuadas para la exportación. De acuerdo a los industriales, los consumidores extranjeros tienen una fuerte preferencia por las nueces grandes, de apariencia atractiva, característica que

no cumplen las nueces producidas para el consumo interno. Debido a su gran tamaño, las nueces con calidad de exportación son cosechadas más tarde, desde principios de septiembre hasta principios de diciembre, con un "pick" a mediados de octubre. El 31 de octubre, es el último día en que los productores pueden entregar las nueces a los procesadores para luego enviarlas a Europa, destinando, todas las nueces que no son recibidas, a esta fecha, a mercado interno aún cuando su calidad sea de exportación.

Para los productores californianos de nueces, la cancelación de BM provocaría que los retornos totales a productor cayeran US\$ 9,9 millones anualmente, o en un 2,8% del total como resultado de su prohibición. Las nueces de calidad exportable que deberán ser vendidas en el mercado interno, cuando se use fosfina, reducirán en unos US\$ 46 millones las utilidades.

Para algunos productos es posible que la demanda en los mercados restringidos tenga un mayor precio que en el mercado interno. En ese caso los precios promedios caerán y las ganancias para los productores tempraneros serán menores.

#### **4.3.2. Efecto cuarentenario.**

Las cerezas que se exportan a Japón y Corea, y los duraznos y nectarines a México se fumigan habitualmente con BM bajo la actual regulación de acuerdo al Programa de USDA. Es necesario recordar que las uvas y ciruelas californianas estuvieron sujetas a una emergencia cuarentenaria en respuesta a la infestación en 1980 de mosca mediterránea de la fruta.

En el corto plazo, la cancelación del BM podría eliminar efectivamente el acceso a los mercados de exportación para las cerezas, duraznos y

nectarines debido a que el uso de tratamientos cuarentenarios alternativos requiere negociaciones del comercio formal. Ya que las cerezas, duraznos y nectarines son altamente perecibles, todo tratamiento cuarentenario contempla largos tiempos de exposición, tales como tratamientos de atmósfera controlada o almacenamiento en frío, los que requieren modificaciones en la cosecha y en las prácticas de manejo para asegurar que la fruta tratada sea negociable. Si a los productos sujetos actualmente a cuarentena, no se les puede aplicar BM, la totalidad de las cosechas deberán ser vendidas en el mercado interno de fruta fresca. Tales pérdidas podrían reducirse enviando los duraznos, nectarines y cerezas a otros mercados.

En California se ha estimado el impacto económico para las uvas y las ciruelas si hubiera ocurrido una infestación con una plaga exótica y si la fumigación con BM no estuviera disponible. Así, más de la mitad de las pérdidas serían en la industria de la uva de mesa; aproximadamente US\$ 37 millones. Al igual que en el caso de los duraznos, nectarines y cerezas, estas pérdidas podrían ser disminuidas si los agricultores fuesen capaces de enviar su uva hacia otros mercados.

De los cultivos considerados, las ciruelas experimentarían la declinación más severa en el precio, cayendo en un 30% si toda la producción fuese vendida en el mercado interno. Esta gran disminución se explica considerando que la industria de ciruelas de California produjo el 87% de la cosecha nacional en 1992 y que la demanda interna de ciruelas es altamente inelástica, es decir, no responde mucho a cambios en el precio. Como resultado, las pérdidas estimadas para esta industria son relativamente grandes, aproximadamente US\$ 19 millones.

El tratamiento cuarentenario con BM es obligatorio, no sólo a las exportaciones estadounidenses de productos agrícolas, sino también a los

productos importados, que en su mayoría llegan durante el período en el cual hay déficit en el abastecimiento de California.

En relación a los meses en los cuales California compete directamente con las importaciones sujetas a tratamiento cuarentenario con BM, las uvas de mesa tienen el período de traslape más largo. La estación de compra-venta de uva de mesa californiana dura desde junio hasta marzo; la uva que se importa desde Chile y México parte en noviembre y continua hasta julio. Un 92% de estas importaciones requieren fumigación con BM. Las utilidades de los productores de uva de mesa de California se estiman en US\$ 36 millones en el caso de que se prohíban estas importaciones. La rentabilidad actual podría ser más baja, si los productores que compiten (de áreas no sujetas a tratamientos cuarentenarios con BM) fuesen capaces de aumentar el abastecimiento entregado al mercado de EE.UU.

Las ganancias de los productores de damascos por exclusión de las importaciones son mínimas, ya que casi no enfrentan competencia con las importaciones en el mercado de fruta fresca. La importación de duraznos y nectarines se realizan en los meses complementarios a la producción interna, existiendo competencia directa sólo a comienzos y fines de la temporada. Las utilidades estimadas para esos productores son, aproximadamente, de US\$ 157.000 anuales. Análogamente, las ciruelas frescas tienen un pequeño traslape con las importaciones, excepto a principios de la temporada. En este caso, las utilidades estimadas son de similar magnitud.

El impacto para los productores californianos al reducir las importaciones de esos productos dependen de las relaciones entre la demanda, durante la estación de compra y venta en California, y el abastecimiento, fuera de estación. Esto ha sido sostenido en el caso de Red Flame chilena durante los meses de invierno. La disponibilidad de uva de

mesa todo el año, la hace similar a las bananas (un producto diario), teniendo un mercado y ventas constantes.

#### **4.3.3. Impacto de la eliminación del BM a largo plazo.**

El impacto a largo plazo de la eliminación del BM como fumigante puede diferir sustancialmente con el impacto a corto plazo descrito anteriormente. La industria de nueces debe encontrar una manera de hacer frente en el corto plazo al problema del mercado (de vacaciones) europeo comentado antes. Los programas para expandir los mercados internos o las exportaciones fuera de este período podrían resolver este problema. Otras respuestas a largo plazo de la industria de nueces, frente a la pérdida del BM, incluye la selección de variedades con fecha de cosecha más temprana o reubicación de huertos a regiones más cálidas que conducirían a una cosecha más temprana. Debido a que los nogales tardan 7 a 10 años para empezar a producir rendimientos económicos, ajustes de esta clase tomarían muchos años o quizás décadas para completarse. Una alternativa interesante para esto es el control biológico.

Resumiendo, el impacto económico sobre los agricultores de California podría agravarse, si la prohibición del uso de BM no fuera la misma que en otras partes de los EE.UU. o del mundo. Si fuera así, la agricultura de California estaría en desventaja para competir, especialmente en el mercado de Japón, Canadá y México. En este caso, sus competidores extranjeros que tuvieran acceso al BM ganarían y el medio ambiente continuaría afectado por el uso de este producto. Esto no sólo forzaría a los productores a elegir dentro de un pequeño conjunto de alternativas que pueden estar disponibles más tarde, sino también estarían en desventaja para competir en los mercados mundiales.

## **5. ORGANISMOS VINCULADOS CON EL TEMA DEL BROMURO DE METILO**

Se establecieron contactos con fabricantes y distribuidores de BM interesados y/o preocupados de resolver el problema de abatir el fumigante. Además, se realizó intercambio de información con centros de investigación que están tratando de resolver este problema. Se pretendió conocer el grado de avance o de éxito que han logrado en tal sentido.

Por este motivo, se constituyó un grupo de contacto e información sobre el BM formado por :

- Jorge Leiva, Jefe proyecto Ozono  
Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)
  
- Carlos Canales, Coordinador Proyecto Bromuro de Metilo  
Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)
  
- Miguel Canala-Echeverría  
Asociación de Exportadores de Chile
  
- Juan Francisco Fernández  
División Desarrollo Sustentable, ODEPA  
(renunció; a la fecha de este informe, falta designar al profesional representante de ODEPA)
  
- Marco Schwartz  
Universidad de Chile

- Pedro Cuadra  
Servicio Agrícola y Ganadero, SAG
- Juan Carlos Quinchavil  
INTEC-CHILE
- Sergio Vives  
Departamento Política Especial, Ministerio RR.EE.

Este grupo se relacionó con las siguientes personas, en el extranjero :

- Bárbara Hunter, Western Fumigation, Estados Unidos
- Steve Gorman, Enviroment Canadá
- Moez Nagji, HALOZONE, Protecting the planet 's fragile ozone layer,  
Ontario-Canadá
- Lynn Shugarman, TERR-AQUA ENVIRO SYSTEMS INC.,  
California-Estados Unidos
- Ruth Covill, Enviromental Management Departament, California,  
Estados Unidos

En el Anexo V se incluyen además los participantes del Seminario Regional para América Latina y del Caribe sobre bromuro de metilo, organizado por el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia y por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Programa Acción Ozono de Industria y Medio Ambiente, bajo el auspicio del Fondo Multilateral realizado en Santafé de Bogota, Colombia entre el 31 de octubre y el 2 de noviembre de 1995.

## **6. PRODUCTOS ALTERNATIVOS PARA EL BROMURO DE METILO**

Encontrar productos alternativos para el BM no es una tarea simple debido al amplio rango de uso que tiene. Sin embargo, técnicamente, ya existen algunas alternativas a las aplicaciones normales del fumigante.

Muchas de las alternativas identificadas por el Methyl Bromide Technical Options Committee (MBTOC) fueron del tipo no clasificadas. Para prevenir emisiones del BM a la atmósfera es necesario combinar racionalmente procedimientos que incluyan técnicas químicas y no químicas. Esto se conoce como manejo integrado de plagas (MIP), que utiliza técnicas de monitoreo de plagas, estableciendo niveles de daño de la plaga y una combinación de tácticas seleccionadas para prevenir o manejar estos problemas y estimando los costos involucrados. La intervención de productos químicos en el manejo integrado de plagas, incluyendo posiblemente el uso del BM, se hace normalmente en base a la necesidad más que de rutina.

La aplicación de mucho de los productos del tipo no clasificado y alternativas de MIP requerirán a menudo cambios en el procedimiento determinado. Los efectos variarán respecto del BM, y se reflejarán en los rendimientos de la producción sostenible y en los costos asociados. En algunos casos, se puede esperar rendimientos menores y aumento de los costos.

El MBTOC estimó que usando tecnología probada es técnicamente posible reducir el uso del BM y las emisiones a la atmósfera. Esta reducción sería alcanzable a través de una combinación de alternativas y uso de mejores tecnologías de retención del BM, en conjunto con tiempos de exposición mayores para el tratamiento con BM, particularmente la fumigación de suelos.

Alcanzar tal reducción puede vincularse a algunos usos de otras alternativas que pueden causar, potencialmente, efectos ambientales y de salud. Algunas opciones, aunque técnicamente efectivas, pueden no ser aceptables para los mercados y los consumidores.

Fue notorio que habían contrastes específicos en la rápida implementación de algunas alternativas asociadas con el tiempo que toma ganar la aceptación de algunos procedimientos de registro y regulación. El problema es particularmente deprimente en los casos relacionados con el tratamiento de exportación junto con los requerimientos cuarentenarios, donde se pueden requerir ensayos extensivos y negociaciones bilaterales de protección.

### **6.1. Alternativas en suelos**

El uso más amplio del BM es la fumigación de suelos. En particular en el de presembrado donde un gran complejo de plagas que se desarrollan en el suelo limitan la producción económica de ciertos cultivos. Ha sido usado exitosamente bajo una amplia variedad de condiciones y sistemas de cultivo (Figuras 6.1 y 6.2).

La fumigación de suelos con BM ha sido reemplazado, en algunas áreas, por métodos y técnicas que han estado disponibles por muchos años, pero que han sido adaptadas o modificadas a los requerimientos locales. Ninguno de los métodos alternativos específicos, por si solo, tiene el amplio espectro, eficacia o consistencia del BM. Para algunas situaciones, no hay alternativas adecuadas al uso del BM. El desarrollo de un sistema agrícola sin el uso del BM, en algunos casos, pueden requerir la integración de tecnologías alternativas múltiples (MIP) e investigación extensiva para alcanzar un espectro similar de eficacia y confiabilidad.

Será necesario desarrollar una aproximación al MIP para manejar plagas para prevenir los problemas ambientales futuros asociados con el control de plagas del suelo. Cada táctica individual en una estrategia de MIP puede tener comportamientos diferentes. Las restricciones son vistas como indicadores de las brechas existentes en la investigación, la que necesita enfocarse no sólo sobre sistemas biofísicos, sino también parámetros políticos y económicos.

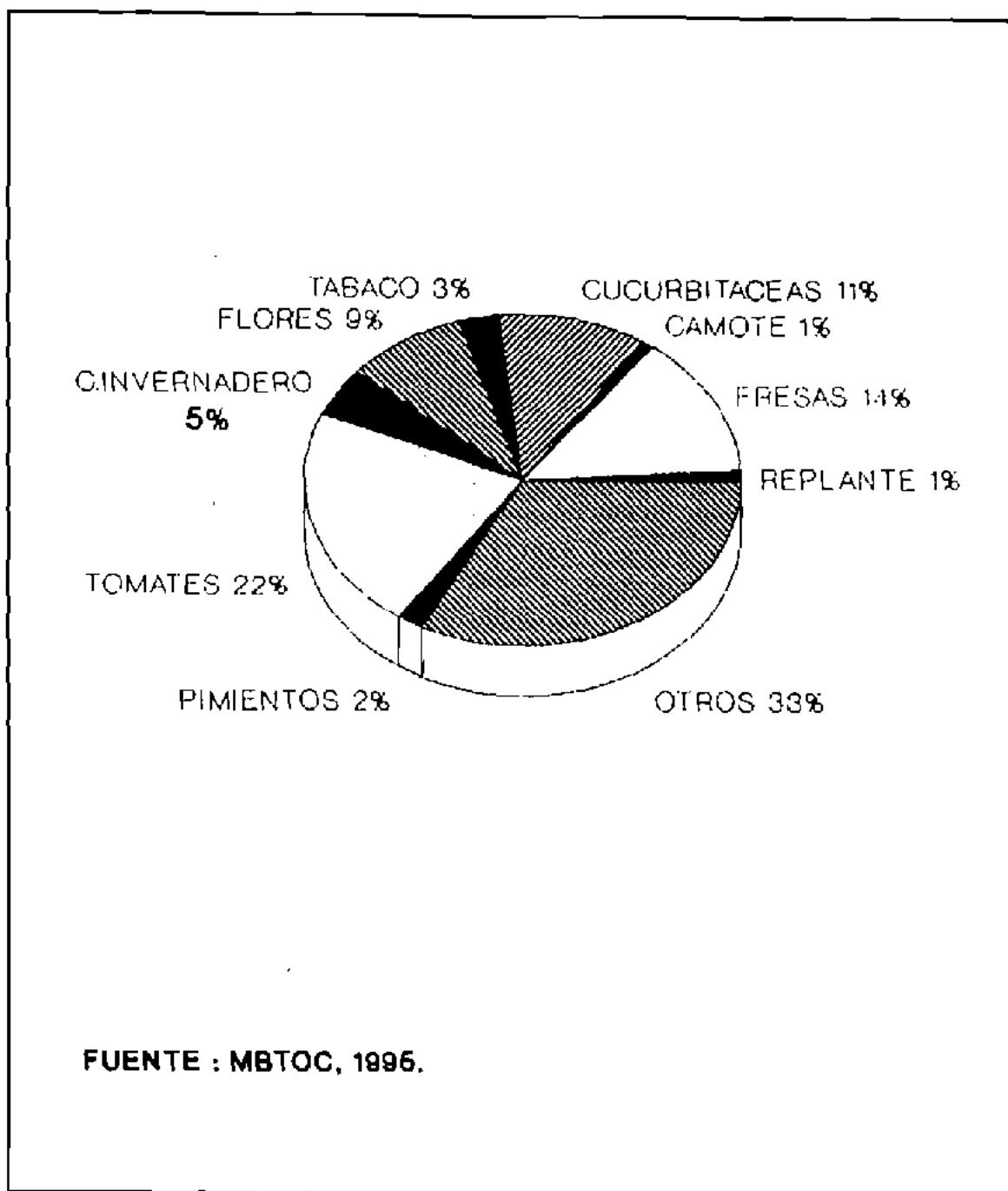
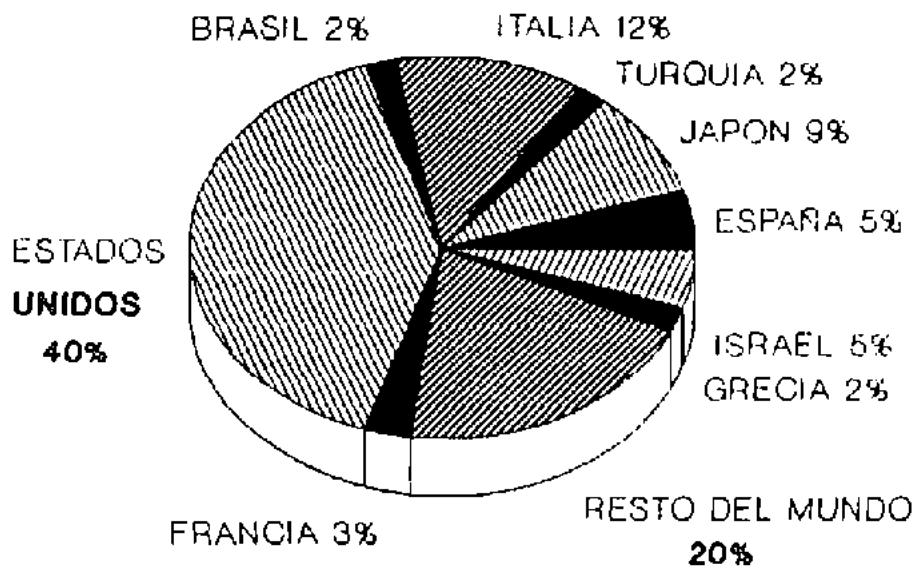


Figura 6.1. Uso mundial (excluyendo los EE.UU.) del bromuro de metilo para fumigación del suelo, 1992 (por categoría de uso).



FUENTE : MBTOC, 1995.

Figura 6.2. Uso mundial del bromuro para fumigación del suelo, 1992 (por país).

### **6.1.1. Alternativas no químicas para el BM**

Varias alternativas no químicas están en uso y otras están bajo investigación. Estos métodos no son igualmente efectivos para todas las plagas, sistemas de cultivo o localidades; y pueden tener un espectro estrecho de actividad. Las alternativas no químicas incluyen :

**a) Prácticas culturales** tales como sustratos de crecimiento de plantas, artificiales, rotación de cultivos, época de siembra, profundidad de aradura, manejo del flujo de agua, barbecho, cultivos cubiertos, uso de mulch, nutrición por fertilización, y desarrollo e injertación de plantas.

**b) Control biológico y enmiendas orgánicas.**

**c) Métodos físicos** tales como la solarización de suelos, tratamientos con vapor, sobrecalentamiento o tratamientos con agua caliente y uso de mulch plásticos con longitudes de onda selectivas.

### **6.1.2. Alternativas químicas**

Se han identificado varios productos químicos potenciales. Ellos incluyen los fumigantes y los no fumigantes. Sin embargo, para muchos de éstos hay que estudiar si tienen algún efecto negativo en la salud humana y/o en el ambiente.

Los productos químicos fumigantes disponibles son :

- El Metilisotiocianato (MITC) y compuestos que generan MITC e hidrocarburos halogenados.

- **Mezclas de fumigantes de suelos, que tienen un espectro de control similar al del BM.**

**En algunos casos se puede alcanzar un control individual de plagas del suelo similar al del BM a través del uso de combinaciones de productos no fumigantes (por ejemplo nematicidas, fungicidas, herbicidas y insecticidas).**

**Hay otros compuestos químicos que requieren de investigación adicional adecuada para determinar sus usos como alternativas al BM. Se han usado, hasta ahora, algunos con distintos grados de éxito (por ejemplo, amoníaco, formaldehído, bisulfuro de carbono y ácidos orgánicos).**

## **6.2. Alternativas para los productos no perecibles.**

Los alimentos no perecibles son aquellos que pueden ser almacenados fácilmente por largos períodos debido a su bajo contenido de humedad. Estos productos son tratados con bromuro de metilo previo a su consumo, procesamiento o transporte. En estos alimentos se realiza un control de plagas para prevenir daños en el producto. Muchas plagas pueden sobrevivir y proliferar durante almacenamiento. La razón más importante de tratar estos productos es el riesgo de la introducción y propagación de la infección, ya sea desde el campo o en almacenamiento durante el movimiento normal de los productos durante su comercialización.

Generalmente, los productos no perecibles tienen menos de un 15% de humedad. Ellos incluyen :

- Artículos culturales y de museos
- Cultivos de bebidas tales como cocoa, café y té
- Granos de cereales tales como maíz, centeno, cebada, arroz y sorgo
- Pescado seco, carnes, y alimentos derivados
- Frutas secas y nueces
- Productos de granos tales como harina, semolina, etc.
- Hierbas y especias
- Maníes, porotos y lentejas
- Semillas para siembra
- Tabaco (postcosecha)
- Maderas sin nudos y productos derivados

La fumigación es el principal medio, a nivel mundial, de desinfección de productos no perecibles en almacenamiento y durante su comercialización.

### 6.2.1. Actuales usos del bromuro de metilo.

El BM se ha usado ampliamente en alimentos y otros productos almacenados por más de 50 años. Reemplazó el uso del ácido cianhídrico y del óxido de etileno debido a su alta toxicidad a los insectos, buen poder de penetración y mejores características de manejo que otros fumigantes.

Se estima que del BM usado en productos no perecibles, un 49% se usa en maderas sin nudos, un 5% en frutas secas y nueces, y un 47% en cereales y legumbres.

El BM tiene una acción rápida sobre la plaga, completando el tratamiento en pocos días y, en algunos casos, en menos de 24 horas. El tiempo de tratamiento incluye tanto el período de exposición al fumigante como el de la aireación. Su rápida acción hace que el tratamiento sea particularmente conveniente en el caso de que un alimento no pueda ser mantenido por largos períodos, por razones de logística, como ocurre en puertos durante la importación o exportación del producto.

Durante la aplicación, el BM líquido no debe entrar en contacto directo con el producto, y especialmente con alimentos, ya que se pueden producir manchas, daños y residuos excesivos. Aunque se han desarrollado muchos modelos para este propósito, normalmente se utiliza un espiral de tubería de cobre sumergido en agua caliente que actúa como vaporizador para dosificar una gran cantidad de BM, particularmente en climas templados. El fumigante líquido pasa a través del espiral previo a introducirse a la cámara de fumigación.

En algunas aplicaciones, el líquido es atomizado a través de boquillas produciéndose una rápida vaporización por absorción de calor a partir de la

atmósfera. Cuando se usan latas para fumigación a pequeña escala, el fumigante normalmente se libera bajo su propia presión mediante un aplicador especial punzante conectado a una tubería flexible.

Se puede considerar que el BM es una herramienta para desinfectar y proteger los productos no perecibles del daño de plagas. Hay una gran variedad de otras medidas tales como el uso de un sistema integrado de control de plagas. La mayoría de éstas se aplican en almacenamiento de granos de cereales, sin embargo, los principios son los mismos para productos no perecibles en general.

En general, el BM juega un pequeño pero significativo rol en la desinfección y protección de productos no perecibles. En algunas situaciones importantes, su rápida acción y confiabilidad ha conducido a su uso continuo, como tratamiento alternativo u obligatorio. Estas situaciones son :

- Tratamiento de madera sin nudos, tratada internacionalmente contra insectos plaga y algunos hongos
- Desinfección de grano (a granel) según requerimientos fitosanitarios o cuarentenarios en los puntos de importación o exportación.
- Tratamiento de plagas específicas tales como Trogoderma granarium e Hylotrupes bajulus
- Desinfección de grano ensacado, incluyendo grano para ayuda alimentaria, particularmente en Africa y Singapur en los puertos de importación

- **Protección y desinfección de pasas y nueces en almacenamiento, previo a su venta**
- **Desinfección de artículos de museos y reliquias culturales**

#### **6.2.1.1. Plagas de interés**

La mayoría de las plagas de interés de los productos no perecibles que son tratadas con BM son insectos y en menor medida, ácaros. Los hongos y nemátodos no son organismos de interés, excepto en maderas sin nudos y semillas de siembra, respectivamente. Algunas veces, el BM es usado específicamente por motivos de cuarentena para controlar otros organismos (tales como garrapatas, caracoles, etc.) que pueden entrar al alimento o la madera pero que normalmente no dañan el producto.

#### **6.2.1.2. Tipos de cámaras de fumigación**

Es necesario que un producto a fumigar sea puesto en cámaras para evitar pérdidas del gas.

El método más eficiente de fumigación para productos es en cámaras equipadas de modo que la aplicación del fumigante sea rápida y tenga recirculación para alcanzar una rápida distribución del fumigante. La fumigación de productos también se realiza :

- **Bajo camisas a prueba de gases, de varios grosores**
- **En depósitos**
- **En cámaras portátiles de plástico especialmente selladas**
- **En contenedores de carga**
- **En silos**

- En carros de trenes
- En lanchones y barcos
- En cámaras de vacío especialmente diseñadas y equipadas

## **6.2.2. Descripción general de las alternativas**

Hay una gran cantidad y variedad de alternativas al BM para la desinfección de productos no perecibles. La elección óptima es altamente dependiente del producto en particular y de la situación en que se va a realizar el tratamiento.

### **6.2.2.1. Fumigantes y otros gases**

#### **Fosfina**

La fosfina es el único fumigante, además del BM, que está registrado y permitido ampliamente para la desinfección de la mayoría de los productos no perecibles. Está catalogado como uno de las más tóxicos fumigantes conocidos pero se usa a bajas concentraciones. Su acción contra plagas tiende a ser mucho más lenta que la del BM, con largos períodos de exposición y a bajas temperaturas (Anexo VI).

La fosfina penetra bien dentro de los productos y puede ser removida rápidamente por aireación, después de finalizar el tratamiento. En general, tiene un bajo grado de sorción.

La fosfina formaría una mezcla explosiva con el aire cuando la concentración excede 1,8% del volumen, sin embargo, en una fumigación normal no se alcanza este nivel. Esto se puede evitar fumigando a bajas presiones y diseñando un sistema especial de vacío y recirculación.

La fosfina reacciona con el cobre, plata y oro, especialmente en atmósferas húmedas, lo que limita su uso por efectos detrimentales en el equipo eléctrico y la maquinaria.

El uso de la fosfina está sujeto a ciertas consideraciones tales como :

- La temperatura del producto debería estar sobre 10°C, preferentemente sobre 15°C.
- El período de exposición debe ser prolongado para una acción efectiva contra todos los estados de desarrollo de la plaga, típicamente 5 a 15 días, dependiendo de la temperatura.
- Se deben usar técnicas probadas y bien controladas para prevenir que la plaga desarrolle resistencia.
- El grano muy seco (< 10% de humedad) puede ser difícil de fumigar ya que la fosfina tiene una evolución restringida a partir de formulaciones de fosfuro metálico.

La toxicidad de la fosfina a las plagas de artrópodos ha sido bien investigada y se dispone de calendarios de dosis para los insectos y ácaros comunes en los productos almacenados.

Todos los estados del ciclo de vida de los insectos de productos almacenados tienen una tolerancia amplia, similar a la del BM (un factor de 3x). Sin embargo, hay un alto grado de variación en la tolerancia a la fosfina, los huevos y las pupas son más tolerantes que las larvas y los adultos. Los ácaros son difíciles de controlar con fosfina debido a que el estado de huevo es altamente resistente.

El algunas especies de escarabajos en productos almacenados se producen problemas tales como la presencia de resistencia de la plaga y se deben usar altos niveles de fosfina. En estos insectos, colectados en campo (en varios países, particularmente de Africa y de la India) se ha detectado resistencia debido al uso frecuente del fumigante en condiciones de baja hermeticidad. La resistencia de la fosfina es manejable manteniendo la concentración del gas por largos períodos de exposición. En silos, el control de insectos se puede realizar por una continua entrada del fumigante usando una mezcla de fosfina y dióxido de carbono a partir de un cilindro presurizado.

La mayoría de los autores señalan que el mayor problema del uso de la fosfina es que el producto requiere de fumigaciones prolongadas (más de cuatro días, en algunos casos) creando con esto resistencia de la plaga al fumigante y demandando un mayor costo por arriendo de naves y uso del puerto (Anexo VII).

Las formulaciones de fosfina están ampliamente disponibles en el mundo. La mayoría contiene fosfuro de aluminio. Menos frecuente es fosfuro de magnesio formulado con carbamato de amonio o urea para disminuir el riesgo de flamabilidad. La fosfina es generada in situ por la reacción del fósforo metálico con la humedad atmosférica (Anexo VIII).

### **Ácido cianhídrico**

El ácido cianhídrico (HCN), se usaba como fumigante para productos no perecibles. Actualmente, ha sido reemplazado por el BM y la fosfina, los cuales son mucho más convenientes y, en muchos casos, más efectivos (Anexo VI).

Las dificultades en la disponibilidad y el registro o re-registro del HCN hacen predecir la sustitución inmediata del gas por usos particulares del BM donde sean necesarios. Los cilindros de HCN líquido son inestables y no pueden ser almacenados por largos períodos. Sin embargo, el HCN puede desarrollarse in situ a partir del cianuro de sodio. Es usado contra roedores, donde se permite, debido a su muy rápida acción. Los límites de residuos aprobados por el Codex Alimentario para el HCN en granos y harinas han sido suspendidos actualmente.

### **Formiato de etilo**

El formiato de etilo se usó formalmente como fumigante para granos. Actualmente, su uso se ha restringido a las frutas secas y productos de cereales procesados, en donde esté permitido.

Su acción es muy rápida con exposiciones de sólo unas pocas horas, sin embargo, por problemas de distribución del fumigante normalmente se requieren exposiciones más prolongadas (varios días). Las dosis para pasas son 3-6 mL/15 Kg durante 24 horas.

### **Bisulfuro de carbono**

El bisulfuro de carbono se usaba como fumigante para grano (a granel o en sacos). Su formulación era líquida, en mezcla con tetracloruro de carbono o puro. En la mayoría de los países su uso ha sido discontinuado y su registro se ha suspendido. Sin embargo, aún se usa en algunos lugares de Australia, donde se aplica al grano almacenado. La aplicación a grandes cantidades está restringida por el potencial riesgo de incendio del material. Se necesita desarrollar métodos seguros a gran escala.

### **Sulfuro de carbonilo**

Este gas tiene propiedades insecticidas, sin embargo, su uso como fumigante no está registrado. Recientemente, se ha planteado como posible reemplazante del BM. Sin embargo, aún no hay estudios que apoyen esta premisa. Tiene buenas propiedades de penetración y actúa en la mayoría de las plagas de granos almacenados, en dosis de 200-600 gh/m<sup>3</sup> a 25°C.

### **Ozono**

Aparte de su acción de esterilización contra bacterias y virus, sólo se conoce información muy limitada relacionada con su toxicidad a los insectos. El ozono muestra algún potencial como fumigante, sin embargo, debe ser aprobado como tal.

Se ha encontrado que actúa sobre Sitophilus oryzae, Oryzaephilus surinamensis, Tribolium spp. y Ephestia elutella.

### **Metil isotiocianato (MITC)**

El MITC fue introducido en 1959 como nematicida de suelos bajo el nombre comercial Trapex. Elimina nemátodos, ciertos hongos e insectos del suelo y también tiene cualidades herbicidas.

Este componente se está estudiando como fumigante y protector del grano. Estudios preliminares de eficiencia biológica muestran que el MITC es muy activo contra Sitophilus granarius (en todos los estados). Este compuesto debe estar bien mezclado con el grano para obtener resultados óptimos.

### **Fluoruro de sulfurilo**

Este compuesto se ha comportado como un efectivo fumigante, principalmente para el control de termitas. Se aplica en residencias y otras construcciones protegidas. Es muy tóxico a todos los estados post embrionales de los insectos, sin embargo, los huevos de varias especies son resistentes. En pruebas de laboratorio y de campo, este compuesto no produce problemas de color, olor o reacciones corrosivas en los materiales que se fumigan. Sin embargo, el BM afecta estos materiales (Anexo VI).

### **Atmósferas controladas y modificadas**

El tratamiento con atmósferas controlada o modificada basadas en el uso de dióxido de carbono y nitrógeno es una alternativa a las fumigaciones con gases tóxicos, para el control de insectos, en todos los productos no perecibles. Sin embargo, este tratamiento no es efectivo contra plagas fungosas.

Las atmósferas de baja concentración de oxígeno, creadas por la adición de nitrógeno a la cámara de fumigación, requieren un máximo de 1% de oxígeno para actuar efectivamente. Las atmósferas basadas en el uso de dióxido de carbono tienen una concentración de 60%  $\text{CO}_2$  en el aire. A este nivel hay alrededor de 8% de  $\text{O}_2$ , concentraciones suficientes para controlar la mayoría de las plagas en productos almacenados indefinidamente. Se considera que el  $\text{CO}_2$  tiene un efecto tóxico sobre los insectos además de actuar como un gas inerte que reduce el nivel de  $\text{O}_2$ .

El uso de  $\text{CO}_2$  en el grano se desarrolló en Australia y EE.UU. aunque Australia usa preferentemente fosfina para tratar este producto. El conocimiento adquirido en esta materia está siendo usado para arroz

almacenado y otros productos envasados en algunos países de la ASEAN. Para tratar el grano se prefieren las atmósferas basadas en el uso de CO<sub>2</sub> en relación a las basadas en el nitrógeno, por razones técnicas. Recientemente, se han desarrollado atmósferas, basadas en el uso de nitrógeno, más convenientes y competitivas en precio. Estas están en uso comercial en Australia, en terminales de exportación originalmente diseñadas y equipadas para el tratamiento de granos con BM.

Se han determinado los datos sobre tiempo de exposición de los productos almacenados de modo de controlar varias especies y estados de plagas. La mayoría de las especies se controlan completamente a exposiciones de 2-3 semanas a 25-30° C. En casos extremos, las larvas de *T. granarium* (en diapausa) requieren exposiciones más largas, de 17 días o menos (a 30° C) con niveles de CO<sub>2</sub> superiores al 60%.

Las estructura donde se use atmósfera controlada y modificada debe estar bien sellada para evitar usar altas concentraciones de gases.

En algunos países el uso de atmósfera controlada o modificada puede necesitar su registro u otra medida de aprobación.

#### **6.2.2.2. Insecticidas de contacto**

A diferencia de los fumigantes, los insecticidas de contacto proporcionan una protección más permanente evitando la reinfección. Estos productos se aplican directamente al grano o en las construcciones donde se almacenan o en los vehículos de transporte. Su uso no está registrado en productos procesados.

La acción sobre la plaga y el producto almacenado es distinta en fumigantes, tales como el BM, y en los insecticidas de contacto. Estas diferencias se describen en el Cuadro 6.1. A pesar de estas diferencias ambas técnicas pueden dar origen a un producto final libre de plagas, en aquellos mercados donde su uso está permitido.

Cuadro 6.1. Diferencias entre los fumigantes (BM) y los insecticidas de contacto.

FUMIGANTES	INSECTICIDAS DE CONTACTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protección no duradera</li> <li>- El grano puede ser tratado in situ</li> <li>- Puede usarse en la mayoría de los productos</li> <li>- La desinfección puede ser completada dentro de 1-15 días, de acuerdo a la temperatura</li> <li>- Los fumigante sólo pueden ser aplicados por personal calificado</li> <li>- Generalmente efectivo contra todas las especies de insectos</li> <li>- No se conoce incidencia de tolerancia frente al BM, pero se ha conocido resistencia frente a la fosfina</li> <li>- Buena penetración en el grano (a granel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posible protección duradera</li> <li>- Normalmente el grano debe moverse de modo de aplicar el insecticida</li> <li>- En la mayoría de los países sólo se permite previo al procesamiento del producto</li> <li>- La desinfección se logra con un periodo prolongado de exposición, desde los estados tempranos hasta los estados adultos</li> <li>- Pueden ser aplicados por personal semicalificado</li> <li>- Variados compuestos son selectivamente efectivos contra diferentes especies de plagas</li> <li>- La mayoría de las plagas de insectos desarrollan resistencia a grupos de insecticidas o algún insecticida en particular, con su uso continuado</li> <li>- Poca penetración a granel</li> </ul>

Fuente : MBTDC, 1995.

### 6.2.2.3. Métodos físicos de control

#### Tratamientos de frío

En general, los tratamientos de frío se usan específicamente para la desinfección de grandes partidas de productos no perecibles, aunque ellos pueden ser útiles en casos, tales como en objetos de museo o pequeñas cantidades de cereales, donde se necesita una desinfección no química. Bajo estas circunstancias, éstos pueden ser una alternativa al BM.

Para una rápida acción se necesitan pocos días de exposición a bajas temperaturas ( $\leq -15^{\circ}\text{C}$ ) para asegurar la desinfección del producto. El enfriamiento debe ser rápido para prevenir la aclimatación de la plaga.

Bajo  $10^{\circ}\text{C}$ , la reproducción y propagación de la plaga decae lentamente. A  $4^{\circ}\text{C}$  los adultos de la mayoría de las especies sobreviven por muchos meses, aunque sus estados inmaduros pueden ser eliminados. Las especies de origen tropical tales como Sitophilus oryzae, S. zeamais, Tenebroides mauritanicus y Lasioderma serricorne tienden a ser sensibles al frío, mientras algunas plagas importantes tales como Cryptolestes spp., brucos, ácaros y algunos lepidópteros son muy tolerantes. En consecuencia, el enfriamiento se usa para prevenir el daño de la plaga y su multiplicación, más que como un desinfectante.

#### Tratamiento térmico.

El tratamiento térmico destaca como una opción de control de plagas en productos no perecibles que es capaz de combinarse con el uso de BM y otros fumigantes de acción rápida. Los productos deben alcanzar temperaturas de  $50$  a  $70^{\circ}\text{C}$  y luego ser rápidamente enfriados para prevenir daños en aquellos termosensibles. El tiempo requerido es altamente dependiente de la temperatura del producto y la experimentada por la plaga que se puede controlar (todos los estados) en menos de un minuto a  $65^{\circ}\text{C}$ .

Se están desarrollando sistemas térmicos para el control de plagas mediante lecho fluidizado, uso de microondas o radiación. Sin embargo, estas técnicas requieren de gran capital.

### **Radiación**

La radiación es un método que podría controlar plagas en una amplia variedad de productos no perecibles. En algunas situaciones, ya está en uso comercial. El proceso involucra el uso de energía gama, electrones acelerados o rayos X que penetran el producto. La efectividad del tratamiento se relaciona con la energía desarrollada, para controlar insectos sin afectar la calidad del alimento.

El uso de la radiación se conoce desde 1912 y a partir de entonces se ha invertido en su investigación. Se tienen datos de radiosensibilidad en 40 especies de plagas de productos almacenados. Estos datos muestran que las plagas varían en su sensibilidad a la radiación. Generalmente, los estados en desarrollo son más sensibles que los adultos; las hembras son más sensibles que los machos y los adultos se pueden esterilizar fácilmente sin matarlos. Como grupo, los escarabajos son más sensibles que las polillas, y las moscas de la fruta son más sensibles que los escarabajos. Los ácaros tienen un rango de sensibilidad similar a la de los escarabajos.

El Grupo Consultivo Internacional de Irradiación de Alimentos (International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI), bajo el escudo de la FAO/IAEA Joint Division, ha publicado una guía provisional para la radiación de granos de cereales, para conocer esta tecnología.

La selección del tipo de equipo de radiación depende del producto (en envases o a granel), la cantidad de producto y otros factores. En los irradiadores gama se pueden tratar productos envasados o a granel; y en los aceleradores se pueden tratar más efectivamente productos en pequeñas capas (2-5 cm de grosor).

Actualmente, hay pocos acuerdos que admitan el movimiento de productos irradiados en el mercado internacional. Esto es un impedimento en el uso del método y es especialmente crítico cuando la radiación se usa para satisfacer requerimientos de cuarentena. La industria de alimentos se preocupa de la aceptación por parte del consumidor y además por el gran gasto de capital inicial necesario para la construcción de una planta.

La radiación es una técnica efectiva que puede satisfacer las necesidades cuarentenarias en situaciones particulares. Sin embargo, no hay tratamientos de cuarentena aprobados con este método.

#### **Remoción física (sanitización)**

La sanitización es una parte importante del manejo normal de productos no perecibles en almacenamiento. Permite reducir la frecuencia del control de plagas o también, eliminar la fumigación con BM. La sanitización es, en general, la aplicación de ciertas medidas diseñadas para extraer la plaga o prevenir su acceso al producto. Incluye la limpieza y la eliminación de refugios de plagas, incluyendo residuos de alimentos en que la plaga puede multiplicarse, y el rediseño de maquinaria y construcciones. La rotación de los stocks y el uso de envases seguros son también parte de la sanitización, ya que ambas medidas reducen la presión poblacional de la plaga. Otras medidas incluyen la aplicación de insecticidas spray para controlar el movimiento de la plaga en el producto almacenado.

#### **6.2.2.4. Métodos biológicos**

Los métodos biológicos pueden otorgar protección a largo plazo a productos almacenados en situaciones específicas. Recientemente se está considerando el uso de agentes biológicos para controlar plagas durante almacenamiento. Se consideran posibles dos tipos de sistemas :

- Usando insectos predadores y parasitoides (control biológico clásico)
- Usando patógenos microbianos.

**El uso de estos agentes biológicos es una medida de control preventiva. No es comparable con la fumigación con BM debido a su especificidad, excepto en casos en que prevalecen sólo unas pocas plagas de interés. El tratamiento es aplicable en campo y en algunos casos el control de la plaga es duradero.**

### **6.3. Alternativas para el tratamiento de productos perecibles.**

Aunque los pesticidas y otras medidas de control se usan para eliminar las plagas en los huertos o en el campo, estos tratamientos de precosecha no pueden garantizar que todas las plagas se eliminen. Por el contrario, los tratamientos de postcosecha se realizan bajo procedimientos controlados para asegurar que las plagas de importancia cuarentenaria sean eliminadas y así evitar su propagación a otras áreas. Los tratamientos ideales son aquellos efectivos en el control de un amplio espectro de plagas, rápidos, que no dañen el producto, seguros para el operador y el consumidor, de fácil aplicación, que no dañen el ambiente, de gran eficiencia, que proporcionen seguridad al producto, de bajo costo y fácilmente aceptados por el consumidor y las agencias reguladoras.

Casi todos los tratamientos de postcosecha en productos perecibles se realizan con propósitos de cuarentena. Considerando todos los tratamientos de desinfección normalmente aplicados en los mercados mundiales, la fumigación con BM es el tratamiento cuarentenario predominante para frutas frescas, hortalizas y flores cortadas. Existen pocos tratamientos cuarentenarios aprobados que no usen BM y además tienen una aplicación muy restringida.

Se han desarrollado un gran número de programas con tratamientos para controlar un amplio rango de plagas que podrían presentarse en productos frescos importados. La mayoría de los países aplican un solo tratamiento para controlar las importaciones, si se interceptan plagas vivas. El país importador necesita usar un tratamiento de desinfección para comprometerse, con el país exportador, a controlar plagas consideradas extremadamente dañinas si accidentalmente se importan. Cualquier tratamiento desarrollado debe tener el nivel de seguridad cuarentenaria exigido por el país importador y asegurar la comercialización del producto.

Si no está disponible un tratamiento alternativo al BM, el país importador notifica al país exportador de la inhabilidad de desinfectar el

producto en el puerto de entrada si se detectan plagas cuarentenarias el producto será reembarcado o destruido. Así, los países exportadores sin alternativas aceptables encararán pérdidas de exportaciones, y los países importadores, tendrán menor variedad de productos frescos disponibles para el consumidor al no permitir su entrada.

### **6.3.1. Usos actuales del BM**

Existen muchos productos que se tratan con BM; en los cuadros 6.2 y 6.3 se presentan ejemplos de frutas y hortalizas fumigadas con BM.

El MBTOC, en la reunión realizada en marzo 1993, en Hague (Holanda), formó un subcomité ("Productos Perecibles") para determinar los usos del BM en postcosecha. Para ello se encuestaron 49 países (los principales exportadores de fruta, Anexo IX), a través de formularios enviados, a cada país, por dicho comité.

La información estuvo referida a :

1. Productos perecibles fumigados por el país importador como condición de entrada.
2. Productos perecibles fumigados por el país de origen antes de ser exportado.
3. Productos perecibles fumigados antes del embarque dentro del mismo país, el cual, por ejemplo, busca prevenir la distribución de plagas entre sus regiones.

Sólo 22 países respondieron enviando sus antecedentes; dicha información se resume en los cuadros 6.4, 6.5 y 6.6.

**Cuadro 6.2. Frutas frescas tratadas con bromuro de metilo, a lo menos en alguna ocasión, para la desinfección y el control de la plaga.**

<b>FRUTAS FRESCAS</b>		
Manzana	Arándano	Cítricos
Damasco	Tuna	Naranja
Banana	Chirimoya	Pomelo
Mora	Cereza	Limón
Feijoa	Mango	Lima
Uva	Melón	Coco
Guayaba	Sandía	Papaya
Kiwi	Nectarin	Maracuyá
Litchi	Aceituna	Durazno
Pera	Ciruela	Frambuesa
Piña	Granada	Frutilla
Níspero	Membrillo	

Fuente : MBTOC, 1995.

**Cuadro 6.3. Hortalizas frescas tratadas con bromuro de metilo, a lo menos en alguna ocasión, para la desinfección y el control de la plaga.**

<b>HORTALIZAS</b>		
Alcachofa	Maíz	Calabaza
Espárrago	Zapallo	Camote
Pimentón	Berenjen	Tomate
Brócoli	Endivia	Zuchini
Repollo bruselas	Ajo	Albahaca
Repollo	Jengibre	Betarraga
Zanahoria	Arroz	Diente de León
Yuca	Lechuga	Eneldo
Coliflor	Cebolla	Hinojo
Apio	Plátano	Rábano
Achicoria	Papa	Puerro
Crisantemo (hoja comestible)	Espinaca	Loto
Perejil	Verdolaga	Ñame
Menta	Ruibarbo	
	Romaza	

Fuente : MBTOC, 1995.

Cuadro 6.4. Ejemplos de fumigación en las importaciones, como condición de entrada.

PAIS IMPORTADOR	PRODUCTO	PLAGA DE INTERÉS	CANTIDAD IMPORTADA (ton)	BM USADO (Kg)
Canadá	Peras	Lepidópteros	100	15
	Hortalizas mezcladas	Dípteros y coleópteros	2,5	1
	Damascos y Duraznos	Lepidópteros	4	0,3
	Otras frutas frescas	Homópteros	2	1,2
	Chile	No se informó		
Costa Rica	No hay datos sobre el uso de BM			
Dinamarca	No se hace fumigación de productos perecibles			
Egipto	Manzana	Hemípteros Homópteros	1374	270,6ton
	Coco	Coleópteros Hemípteros Dípteros	759	74
	Pera	Homópteros	35	8
Alemania	2 de 16 estados informaron que no se hace fumigación en productos perecibles.			
Hungría	No se hace fumigación de productos perecibles			
Estados Unidos	Frutas (16 tipos) Hortalizas (13 tipos)	Varias	6100	109ton

## Continuación Cuadro 6.4

PAIS IMPORTADOR	PRODUCTO	PLAGA DE INTERES	CANTIDAD IMPORTADA (ton)	BM USADO (Kg)
Japón	Fruta fresca	Acaros	1582181	42,3ton
		Lepidópteros		
		Coleópteros		
	Hortalizas frescas	Hemípteros	269996	96,5ton
		Acaros		
Lepidópteros				
Flores cortadas y ornamen- tales	Coleópteros	329467000 unidades	11,6ton	
	Hemípteros			
	Acaros			
Bulbos y tubérculos frescos	Acaros	277559000 unidades	163	
	Lepidópteros			
	Coleópteros			
Plantas de vivero	Hemípteros	71273000 unidades	2,1ton	
	Acaros			
	Lepidópteros			
Kenya	Estacas, plantas enraizadas, bulbos, flores cor- tadas y frutas diversas	Diversas	No informados	3,7ton
		plagas y		
		enfermemades		
Malasia	Sauce	Insectos	No disponibles	<15ton
Marruecos	No se informó			
Noruega	No se hace fumigación en productos perecibles			

## Continuación Cuadro 6.4

PAIS IMPORTADOR	PRODUCTO	PLAGA DE INTERES	CANTIDAD IMPORTADA (ton)	BM USADO (Kg)
Polonia	No se usa en postcosecha			
Singapur	No se informó			
Sud Africa	No se informó			
Corea del Sur	Piña	Homópteros	4848	85ton
	Pomelo	Homópteros	5118	3ton
	Achicoria	Homópteros	1,3	0,3ton
	Rosas	Lepidópteros	2,1	1,2ton
	Orquídeas	Lepidópteros	182	1,8ton
	Abeto ornamental	Coleópteros	3,2	0,7ton
	Injertos en viveros	Homópteros	300309 unids.	0,3ton
	Rododendron	Nemátodos	2126 unids.	0,2ton
	Bulbos de lirios	Nemátodos	230000 unids.	1ton
	Arbol de higo	Nemátodos	152999 unids.	0,1ton
España	Ajo	Lepidópteros	969	no se informó
	Coco	Acaros		no se informó
	Membrillo	Dípteros		no se informó
Suecia	No se hace fumigación en productos perecibles			
Suiza	No se informó			
Tailandia	No se informó			

Fuente : MBTOC, 1995.

Cuadro 6.5. Ejemplos de fumigación en las exportaciones como condición de entrada.

PAIS EXPORTADOR	PRODUCTO	PRINCIPAL PLAGA DE INTERES	EXPORTADO A	CANTIDAD EXPORTADA	BM USADO (Kg)
Canadá	Estacas de vivero ( <i>Malus</i> spp.)	Homópteros Lepidópteros	EE.UU. y Francia	2900 unidades	2,7
Chile	Uvas	Acaros	EE.UU.	Millones de cajas 10800	No se informó
	Ciruelas	Varias	EE.UU.	310	No se informó
	Duraznos	Varias	EE.UU.	217	41,6
	Nectarines	Varias	EE.UU.	183	No se informó
	Damascos	Varias	EE.UU.	5	No se informó
	Tomates	Dípteros y Lepidópteros	Argentina	168	680
Costa Rica	No hay datos sobre el uso de BM				
Dinamarca	No se hace fumigación de productos perecibles				
Egipto	No se informó				
Japón	Arboles bonsai, <i>Cornuss</i> spp., <i>Cotoneaster</i> spp., <i>Rosa</i> spp.	Escamas	Reino Unido	958 unidades	2,5
Finlandia	No se hace fumigación de productos perecibles				
Alemania	2 de 16 estados informaron que no se hace fumigación en productos perecibles.				

Continuación Cuadro 6.5

PAIS EXPORTADOR	PRODUCTO	PRINCIPAL PLAGA DE INTERES	EXPORTADO A	CANTIDAD EXPORTADA	BM USADO (Kg)
Hungría	No se hace fumigación de productos perecibles				
Islandia	No se hace fumigación de productos perecibles				
Malasia	Orquídeas	Trips y ácaros	Japón	1000000 unidades	?
	Rosas	Trips y ácaros	Japón	20000 unidades	?
Marruecos	Papas	<u>Photorimea operculella</u>	Francia y otros países europeos	24,7ton	12
Noruega	No se hace fumigación de productos perecibles				
Singapur	Orquídeas	Lepidópteros	Japón EE.UU.	30000000 unidades	?
Sud Africa	Piña	Acaros	Europa y Japón	5080ton	4ton
	Clavel doble	Acaros	Europa y Japón	2ton	0,1ton
	Crisantemo	Acaros y nemátodos	Europa, Japón y EE.UU.	10ton	0,75ton
Corea del Sur	Castaña	Coleópteros	Japón, EE.UU. y Canadá	342ton	17ton
Sur	Repollo	Homópteros	Japón	190ton	15,4ton
	Repollo chino	Homópteros	Japón y China	135ton	4ton
España	No se informó				

Continuación Cuadro 6.5

PAIS EXPORTADOR	PRODUCTO	PRINCIPAL PLAGA DE INTERES	EXPORTADO A	CANTIDAD EXPORTADA	BM USADO (Kg)
Suecia	No se hace fumigación de productos perecibles				
Suiza	No se informó				
Tailandia	Orquídeas	Trips	Japón, EE.UU. y Australia	118000000 unidades	5,5ton
	Espárrago	Trips y lepidópteros	Japón	1864ton	1,7ton
Estados Unidos	Cerezas	Lepidópteros	Japón y Corea	16400ton	7,3ton
Unidos	Duraznos	Lepidópteros	Chile, Israel y Marruecos	?	?
	Nectarines	Lepidópteros	Chile y Israel	?	?
	Frutillas	Trips	?	?	?

Fuente : MBTOC, 1995.

Cuadro 6.6. Ejemplos de fumigación en embarques dentro del mismo país.

PAIS	PRODUCTO	PLAGA DE INTERES	EMBARCADO DESDE...A	CANTIDAD EMBARCADA	BH USADO
Canadá	Estacas de vivero ( <i>Malus</i> spp.)	<u>Grapholita molesta</u>	Ontario a Columbia Británica	16000 unidades	14Kg
	Frutales-Patrones	<u>Grapholita molesta</u>	Ontario a Columbia Británica	50000 unidades	15Kg
Chile	Tomates	<u>Ceratitis capitata</u>	Arica (I Región) a Zona Central	30000 ton	2,5ton
Japón*	Fréjol	Mosca del melón	Islas Yaeyama a otras regiones	38ton	114ton

\* A partir de 1993, la mosca del melón (Bactrocera cucurbitae) ha sido completamente erradicada de las regiones del sudoeste de Japón incluyendo las Islas Yaeyama. Con esto se ha eliminado la fumigación con BH al embarcar productos hacia otras regiones de Japón.

Fuente : MBTOC, 1995.

### **6.3.2. Características de las alternativas posibles.**

A continuación se detallan las características de las alternativas posibles en precosecha y postcosecha de productos perecibles.

#### **6.3.2.1. Tratamientos de precosecha.**

La presencia de plagas en postcosecha indica un insuficiente control de precosecha de modo de cumplir los estrictos estándares fitosanitarios, y por esto se ha puesto atención en controlarlas antes de la cosecha. La inspección determina la efectividad de los tratamientos de precosecha. Si, a través del muestreo, se considera que la incidencia de plaga es muy baja o nula, el producto puede ser exportado sin tratamiento de postcosecha. Sin embargo, el control de campo de una plaga rara vez proporciona seguridad cuarentenaria. Como regla general, un 90% del pesticida aplicado no acierta en la plaga de interés. Esto produce niveles de control, en campo, que raramente sobrepasan el 90% de mortalidad de la plaga lo que es un nivel de control insuficiente comparado con el concepto actual de 99,9% de mortalidad para tener seguridad cuarentenaria.

#### **Prácticas culturales conducentes a la reducción de la plaga.**

En cada etapa de la producción y embalaje, hay una reducción de la población de la plaga principalmente debido a la aplicación de pesticidas y selección de fruta infectada por el personal o la maquinaria. La reducción de plagas puede cuantificarse en puntos claves en la cadena de producción para la exportación. Los sistemas que logren esto son altamente dependientes del conocimiento de la biología y fenología de la plaga/huésped. Los análisis de riesgos usados muestran que la probabilidad de exportar accidentalmente la plaga es, a menudo, mínima y en algunos casos excede el nivel de seguridad cuarentenaria cuando sólo se usa fumigación.

La reducción de las poblaciones de insectos puede lograrse mediante prácticas culturales tales como la plantación de vegetales modificados genéticamente de modo que no sean el huésped más preferido por el insecto (resistencia vegetal del huésped), mediante la cosecha en el momento en que el producto no es susceptible al ataque (por ejemplo la papaya que es cosechada inmadura y madurada posteriormente), cosechando cuando la plaga no está activa (por ejemplo en estado de diapausa o invernación), mediante prácticas de cosecha mejoradas que extraen las plagas del campo o del huerto, mediante la incorporación de agentes biológicos tales como parásitos y predadores, liberando insectos estériles, usando feromonas, o usando agentes microbianos como patógenos de plagas. Sin embargo, en algunos casos la presencia de agentes biológicos y microbianos en el producto, después de la cosecha, puede causar problemas de cuarentena.

El uso de procedimientos múltiples conduce a una reducción de las plagas que normalmente se producen en la mayor parte de la producción hortícola. Si el nivel de seguridad cuarentenaria es aceptable, estos procedimientos se pueden sustituir por un tratamiento de postcosecha.

#### **Zonas y períodos libres de plagas.**

Los países han establecido algunas zonas libres de plagas que consisten en áreas geográficas donde el producto se puede producir y exportar debido a la ausencia de plagas de importancia cuarentenaria. Japón acepta melones provenientes de la Región Autónoma Hsingchang Uighur en China basándose en que esta área está libre de la mosca del melón, y acepta productos producidos en Tasmania (Australia) como libres de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) y de la mosca de Queensland (*Bactrocera tryoni*). En el futuro, será también posible que las autoridades importadoras otorguen períodos libres de plagas que asegura que la plaga no puede infectar el producto en ese momento.

De este modo, como no se aplica un tratamiento directo, la comercialización del producto no se perjudica. Sin embargo, estas zonas están a menudo restringidas a áreas aisladas geográficamente mediante zonas valla en que excluyen las plantas huéspedes y las áreas residenciales donde sea posible, además se requieren de esfuerzos continuos, monitoreo e información, basados en el conocimiento extensivo de la plaga y la biología del producto. Es un procedimiento caro debido a todos estos factores.

### **Inspección y certificación.**

Algunos países inspeccionan una muestra del producto previo a la exportación (inspección de preembarque final) y certifican cada consignación basados en los niveles de aceptabilidad de plagas de importancia cuarentenaria. Sin embargo, esto no evita una inspección posterior a la llegada del producto. Los oficiales de cuarentena japonesa inspeccionan flores cortadas en Holanda lo que reduciría la inspección y la desinfección al llegar a Japón. Algunos productos son aceptados sólo después de la inspección y envasado del producto y la garantía de los procedimientos usados en el país importador para eliminar alguna plaga viva (por ej. Japón, EE.UU., Nueva Zelandia) o aquellas plagas vivas que están dentro de los límites permisibles (por ej. Nueva Zelandia).

La inspección es ambientalmente aceptable, sin embargo, es una labor intensiva. Los costos de inspección son impuestos por el país exportador para la certificación de preembarque y por el país importador para la inspección a la llegada. En el futuro, estos costos se pueden establecer usando sistemas automáticos de inspección. Esto consistía en usar bajas dosis de rayos X para las plagas visibles, o sistemas de detección traza (usando productos químicos específicos) para los casos de sospecha de presencia de plagas.

### 6.3.2.2. Tratamientos de postcosecha.

#### Alternativas no químicas.

Las alternativas no químicas al BM, generalmente son ambientalmente sanas y dejan al producto libre de residuos químicos. Sin embargo, comparadas con la fumigación con BM, requieren técnicos expertos en implementación y operación de modo de eliminar las plagas sin dañar el producto.

Pocos tratamientos se han aceptado para uso cuarentenario. Hasta la fecha, sólo se han usado comercialmente los tratamientos térmicos y de frío para el control de la mosca de la fruta de la papaya, mango y cítricos.

**Tratamiento con frío.** El tratamiento con frío se aplica generalmente en fruta infectada con plagas tropicales que tienen baja tolerancia a las condiciones de frío, comparadas con las plagas templadas. El rango de temperatura aceptable es restringido y además el tratamiento debe documentarse en detalle para satisfacer a las autoridades importadoras. La duración y la temperatura del tratamiento (normalmente  $-1^{\circ}\text{C}$  a  $+2^{\circ}\text{C}$ ) dependen de la susceptibilidad de la plaga y la tolerancia de la fruta a las condiciones de frío. Este tratamiento se puede usar contra plagas encontradas en o sobre productos subtropicales (por ej. cítricos) y tropicales (por ej. mangostán) durante 10 o más días. El tratamiento se realiza en tránsito o en lugares habilitados. Algunos productos sensibles a bajas temperaturas pueden sufrir daños. El daño por frío se puede reducir si el producto es acondicionado a temperaturas relativamente bajas previo al almacenamiento en frío. Este tratamiento se usa comercialmente para controlar las moscas de la fruta en uvas, kiwis y cítricos.

**Tratamiento térmico.** Los tratamientos térmicos incluyen aquellos que usan aire húmedo (> 90% de humedad relativa (HR)) o seco (< 90% HR), y la inmersión en agua caliente. En general, se realizan por 10 minutos a 8 horas a temperaturas que fluctúan entre 40 y 50°C dependiendo de cual temperatura y tiempo son letales para la plaga. Para la mayoría de los productos termosensibles, sólo es posible controlar las plagas superficiales.

Los embarques comerciales de frutas tropicales tales como mango se sumergen durante un período breve en agua caliente a 46,1°C y durante 65-90 minutos para eliminar cualquier plaga que pueda estar presente. La temperatura del agua y el período de inmersión se mantienen en forma precisa de modo que la tolerancia de la plaga al calor sea excedida sin dañar el producto. Recientemente, se han comercializado papayas (expuestas a temperaturas de pulpa de 47,2°C) de Hawaii a EE.UU. continental después de 4-7 horas usando calor seco, o a Japón usando vapor de agua. Este tratamiento elimina todos los estados de 3 especies de mosca de la fruta para ese producto. Se están conduciendo pruebas de laboratorio para eliminar plagas templadas asociadas con manzanas, carozos, kiwis y cítricos, y para conocer el efecto de estos tratamientos sobre su duración en almacenamiento.

El calor es una alternativa ambientalmente aceptable pero que consume mucha energía y se puede usar en plagas encontradas en o sobre la mayoría de los productos tropicales y algunos subtropicales. La temperatura, duración y aplicación del método debe ser preciso para eliminar plagas sin dañar el producto. Sin embargo, en muchos productos altamente perecibles tales como espárragos, guindas u hortalizas de hoja no es posible el uso de altas temperaturas ya que su vida útil y comercialización se reducen significativamente.

**Atmósfera controlada (AC).** La vida útil de una fruta se puede extender alterando la atmósfera normal (21% de oxígeno y 0.03% de anhídrido carbónico) a 0,5-3% de oxígeno y 2-5% de anhídrido carbónico, y manteniendo un control sobre éstas. Normalmente los tratamientos se realizan durante muchos meses a bajas temperaturas (por ej. 0-2° C) y no se pueden usar en productos tropicales debido a que les causan daño por frío. La atmósfera y la temperatura varían de acuerdo a la fruta y la variedad. Las ACs se han usado por al menos 30 años para prolongar la vida en almacenamiento de peras y manzanas. Recientemente, las ACs han probado ser efectivas a escala de laboratorio para el control de plagas cuarentenarias, particularmente cuando se combinan temperaturas superiores a 30° C con periodos cortos. Desafortunadamente, en algunos casos los requerimientos para el control de insectos dañan el producto.

La AC es un tratamiento ambientalmente sano que se usa para controlar plagas en productos almacenados perecibles tales como las manzanas. Hay pocos usos comerciales de la AC para la desinfección de productos frescos. Esto se debe a que se necesitan períodos muy largos de almacenaje frío para alcanzar una alta mortalidad de la plaga, lo que produce una reducción inaceptable de la calidad del producto.

**Atmósfera modificada (AM).** La vida útil de una fruta puede también extenderse disminuyendo su respiración mediante la modificación de la atmósfera, reduciendo el oxígeno y aumentando el anhídrido carbónico. La atmósfera final no se puede controlar fácilmente o no es predecible ya que depende del proceso biológico de la respiración de la fruta que, por ejemplo, aumenta con el aumento de la temperatura. Las AMs se generan normalmente por varios tipos de envoltorios del alimento. En algunos casos, el alimento es paletizado y envuelto, y luego se nivelan las concentraciones de gases establecidas para la atmósfera deseada. La permeabilidad del film

que se use varía con el tipo de film y la temperatura, haciendo que la AM dificulte el control de las temperaturas que el alimento pueda experimentar (en tránsito). Los consumidores, sin embargo, pueden eventualmente limitar el uso de esta tecnología debido a que su implementación se relaciona con el excesivo uso de materiales de embalaje.

Hay films especializados en la mantención de la calidad del alimento que usan componentes absorbentes de la atmósfera. Tales films son llamados envases activos. Estos envases parecen ser importantes en el futuro, particularmente, debido a que ellos tienen un papel en la desinfección además de aumentar la vida útil del producto.

Recientemente, la aplicación de coberturas especializadas, hechas de cera o celulosa, en cítricos han probado ser efectivas a nivel de laboratorio para eliminar la mosca de la fruta del Caribe. Sin embargo, el tratamiento con cera del producto puede no ser aceptado por el consumidor.

La AM es un tratamiento ambientalmente sano que se usa para controlar plagas en productos perecibles, los que se almacenan durante, a lo menos, 7 días como en el caso de las frutillas. Sin embargo, no hay evidencia de su uso comercial para la desinfección de estos productos.

**Radiación.** La radiación puede controlar varias especies de plagas y tiene ventajas adicionales como permitir que el alimento sea tratado en el envase final con un leve incremento en la temperatura. El éxito del uso de radiación en bajas dosis (rayos de isótopos o electrones) está en romper el ciclo de vida (normalmente produciendo esterilidad y a veces mortalidad) de la plaga sin reducir el valor del producto. En algunos productos se produce un aumento de la vida útil (por ej. en mango, papaya, tubérculos, litchi y algunos berries) a las dosis permitidas para la desinfección ( $\leq 1$  Kgy).

Una gran cantidad de información avala el uso de la radiación en algunas frutas y hortalizas. La radiación es una alternativa ambientalmente sana, aprobada en más de 36 países y en más de 40 productos alimenticios incluyendo hortalizas y frutas.

Entre los factores que normalmente influyen en la adopción de esta tecnología están la aceptación por parte del consumidor, la industria y organismos reguladores. Algunos de estos factores son el costo-beneficio a escala comercial, la verificación de plagas vivas pero estériles, la seguridad en el transporte del isótopo (aspecto importante para el público), el largo tiempo de almacenamiento y la ubicación del centro para la radiación.

A pesar de estos factores, muchos países han aprobado el uso de radiación gama. El límite aceptado internacionalmente para la radiación de alimentos es 10KGy; Estados Unidos permite tratamientos sobre 1KGy para estimular su uso en productos de primera necesidad. Las agencias de los EE.UU. han reconocido respuestas similares entre las especies de la mosca de la fruta. Para prevenir experimentos innecesarios, han recomendado una dosis mínima de 0,15KGy que no tiene efectividad en el producto huésped. Del mismo modo, se recomendó un mínimo de 0,30KGy para insectos, distintos de moscas y ácaros.

**Microondas.** El uso de microondas para el control de plagas está en una etapa temprana de investigación. Se necesita un mayor estudio para determinar el potencial de las microondas en la eliminación de plagas sin reducir la calidad del producto. Esta técnica permite la descentralización del tratamiento de los productos lo que puede ser ventajoso para el tratamiento cuarentenario de pequeños embarques.

**Remoción física.** Experimentalmente, el uso de agua a altas presiones ha mostrado ser efectiva en la extracción de un gran número de plagas de la superficie de la fruta. También se ha usado aire bajo presión positiva o negativa para extraer plagas, pero no en un número suficiente como para ser un tratamiento aceptable. Estos tratamientos sirven sólo para remover plagas de la superficie de la fruta tales como contaminantes accidentales, pulgones o algunos chinches. La elección de aire o agua depende de la tolerancia del producto al tratamiento o la conveniencia de su uso en la operación de embalaje.

**Tratamientos combinados.** Los tratamientos se pueden combinar para alcanzar los niveles de eficacia requeridos. Esto se hace necesario cuando un solo tratamiento es incapaz de alcanzar estos niveles o cuando un tratamiento simple causa toxicidad a las dosis necesarias para el control de la plaga. Por ejemplo, la fumigación con BM combinada con un período corto de almacenamiento en frío elimina los huevos de la polilla de la manzana (en manzanas) más efectivamente que si se usara un solo tratamiento. La combinación de vapor seguido de almacenamiento en frío elimina las moscas orientales de la fruta en litchi importados de Taiwán y Japón.

Estos dos tratamientos son los únicos conocidos comercialmente disponibles y aceptados por las agencias reguladoras. Es raro combinar tratamientos debido, probablemente, a que se requiere una extensiva documentación técnica para demostrar la eficacia del tratamiento a las agencias reguladoras, lo que no ocurre al usar tratamientos simples.

### **Alternativas químicas.**

**Fumigación.** Es la acción de liberar y dispersar un producto químico pesticida en estado gaseoso de modo que alcance la plaga completa o parcialmente. En el Anexo VI se presentan las características de los principales fumigantes existentes.

Los tratamientos de fumigación que se usan, por ejemplo con anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) y ácido cianhídrico (HCN), dependen de la concentración, de la temperatura y la duración para eliminar la plaga sin dañar el producto. El uso del ácido cianhídrico no está aprobado en todos los países.

El  $\text{SO}_2$  se usa principalmente para el control de hongos durante el almacenamiento en frío de uvas, y hay recientes investigaciones que muestran un potencial en el control de insectos tales como chinches y lepidópteros.

El HCN se usa normalmente en productos frescos para controlar plagas tales como trips, moscas blancas, escamas y áfidos.

Hay interés en el uso de productos vegetales volátiles tales como aplicaciones separadas de formiato etilo o metilo y acetaldehído, pero ninguno está registrado como tratamiento fumigante. Los dos primeros son inflamables y explosivos cuando se mezclan con aire a las concentraciones necesarias para eliminar plagas, y requieren ser aplicados en un diluyente inerte como el  $\text{CO}_2$ . El formiato de etilo tiene una acción menos pesticida que el formiato de metilo. El acetaldehído es más efectivo como fungicida que como pesticida, y se ha cuestionado su seguridad para el ser humano.

Las formulaciones de aerosol a base de productos vegetales naturales, por ejemplo piretroides, o el insecticida diclorvos, se usan para eliminar plagas en algunas exportaciones de flores cortadas en países como Nueva Zelanda, Australia y Malasia.

Los fumigantes generalmente penetran bien y sirven particularmente para la eliminación de plagas que pudieran estar dentro del producto. Sin embargo, están siendo desfavorecidos por aquellos consumidores que están incursionando en alimentos sin productos tóxicos. El registro de nuevos productos químicos fumigantes es costoso y lleva tiempo de modo que muchos países necesitan realizar pruebas de seguridad para avalar su posible uso.

**Inmersiones en productos químicos.** Los productos se pueden sumergir en una solución muy diluida de pesticida después de la cosecha para eliminar plagas de interés que puedan presentarse en o sobre ellos. Por ejemplo, los tomates australianos exportados a Nueva Zelanda son sumergidos en insecticida para controlar la mosca de Queensland (Bactrocera tryoni) que pudiera estar dentro del producto; y algunas flores cortadas se sumergen para controlar plagas superficiales.

Algunos países se oponen al uso de inmersiones en productos químicos debido a la preocupación del consumidor por los residuos, o por razones ambientales después de aplicar el tratamiento. Otros países como Nueva Zelanda y Singapur aceptan el tratamiento siempre que el límite máximo de residuos no sea excedido. Por estas razones, la inmersión en productos químicos se acepta para productos no comestibles tales como plantas ornamentales, bulbos plantas de vivero y flores cortadas.

### **Restricciones a la aceptación de alternativas.**

Las principales restricciones al desarrollo y aceptación de un potencial tratamiento cuarentenario alternativo ya han sido mencionadas. Los tratamientos alternativos se desarrollaron e implementaron mediante la integración de muchos factores técnicos, ambientales y regulatorios. Las consideraciones económicas, logísticas e ingenieriles son también factores claves en la aceptabilidad de un tratamiento alternativo.

Lo prioritario es el desarrollo de tratamientos de desinfección efectivos que no reduzcan significativamente la comercialización del producto. La aceptación de un tratamiento alternativo debería determinarse mediante la comparación entre el efecto del BM sobre el producto y la alternativa, además de la evaluación de no usar tratamiento. En los productos sensibles deberían determinarse los umbrales de daño por el tratamiento.

Si la industria adopta un tratamiento alternativo al BM, debe ser práctico, estar documentado para probar que es satisfactorio, de costo razonable (principalmente determinado por los costos de equipo y operación), y producir niveles aceptables de residuos. La aprobación del Gobierno del país importador, a menudo requiere extensa documentación técnica. Este paso es a menudo el mayor impedimento para la aprobación final de los tratamientos cuarentenarios.

Aparte de las restricciones regulatorias, la aplicación y aceptación casi universal del BM para la desinfección de postcosecha ha restringido el desarrollo de tratamientos alternativos. Por ej., algunas agencias reguladoras tienen una política de aceptación de sólo un 99,9968% de mortalidad (conocido como Probit 9) mientras otras agencias aceptan niveles bajos de mortalidad basados en la metodología del análisis de riesgo de plaga. Hay publicaciones que indican que la mortalidad de Probit 9 puede no ser necesaria para alcanzar la seguridad cuarentenaria. El uso de la seguridad de Probit 9 se basa en las consideraciones políticas, más que en las justificaciones técnicas. Los delegados de la reunión del CODEX de diciembre de 1993 establecieron el análisis de riesgo de plagas como un método para tomar decisiones fitosanitarias (Codex, 1993). Recientemente, la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) desarrolló "Los Principios de Cuarentena Vegetal relacionados al Mercado Internacional" quien busca armonizar la política de cuarentena entre países y ver como estos principios influirán en el desarrollo y uso de tratamientos alternativos en el futuro. Para prevenir pérdidas en las exportaciones o evitar restricciones a las importaciones por no disponer de una alternativa comercial al BM, es imperativo que los científicos, industriales y agencias reguladoras revisen todos los procedimientos de aceptación para los tratamientos cuarentenarios de modo de modernizar el proceso para desarrollar e implementar alternativas tan rápido como sea posible.

### **6.3.3. Disponibilidad de alternativas para controlar plagas en cada grupo de productos.**

#### **6.3.3.1. Manzanas y peras.**

Las exportaciones de manzanas y peras son económicamente importantes para : Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Francia, Hungría, Italia, Holanda, Nueva Zelandia, Sud Africa y EE.UU.

Las plagas de interés cuarentenario son la polilla de la manzana, la mosca de la fruta, ácaros, escamas y enfermedades bacterianas en la mayoría de los países.

El BM se usa muy poco en manzanas y peras, sin embargo, en un futuro cercano podría usarse, en grandes cantidades, para controlar Cydia pomonella en exportaciones a Japón desde Nueva Zelandia y los EE.UU. De hecho, en septiembre de 1994, este último país exportó manzanas fumigadas desde el Estado de Washington a Japón.

#### **Alternativas existentes.**

Hay pocos tratamientos comerciales para controlar plagas en manzanas y peras. La certificación de pre-embarque logra su objetivo en varios países que exportan a los EE.UU. incluyendo Nueva Zelandia y Chile. El almacenamiento en frío con ACs se usa para eliminar escamas en manzanas exportadas de Canadá a California. USDA-APHIS aprueba el tratamiento con frío para controlar la mosca de la fruta en manzanas y peras importadas a EE.UU. desde Chile, Francia, Israel, Italia, Jordania, México, Sud Africa, España y Uruguay. En China, se usa la radiación a menor escala para aumentar la vida útil de las manzanas.

### **Alternativas potenciales.**

La AC a baja temperatura elimina algunas especies de lepidópteros. Los tratamientos más económicos pueden alcanzarse con la combinación de ACs y calor, o usando sólo calor. Se está determinando la tolerancia relativa de la plaga comparada con el producto cuando se expone sólo a AC, o cuando se combina con calor. Es necesario tener un completo entendimiento de la fisiología de la fruta y de la plaga bajo AC/calor o sólo calor de modo de optimizar los parámetros del tratamiento.

Es posible establecer una zona libre de la plaga polilla de la manzana en el Oeste de Australia debido a que el insecto ha estado ausente en las áreas de producción de manzanas y peras. Para establecer este tipo de zona se están liberando polillas estériles en la región del Valle de Okanagan en Canadá.

Ha sido posible disminuir la población de la plaga en manzanas debido a que se han mejorado las operaciones de embalaje en el Estado de Washington. Existe el potencial de reducir la incidencia de las plagas mejorando las prácticas de manejo tanto en el packing como en el huerto.

Se han definido las respuestas de todos los estados de la polilla de la manzana frente a la radiación. Manzanas Red Delicious irradiadas con dosis superiores a 1KGy fueron comercializadas después de 11 meses de almacenamiento. Sin embargo, aún se necesita de mayor información sobre la tolerancia de las variedades de manzana.

### **6.3.3.2. Carozos.**

Los carozos incluyen duraznos, ciruelas, cerezas, damascos y nectarines. Las exportaciones son económicamente importantes para : Canadá, Chile, Francia, Nueva Zelanda, EE.UU. y algunos países del Mediterráneo.

Aunque los carozos son infectados por un gran número de plagas, la polilla de la manzana, moscas de la fruta, polilla oriental de la fruta, mosca de la cáscara de la nuez, ácaros y trips son las plagas de mayor interés cuarentenario en la mayoría de los países.

Algunos países, por ejemplo EE.UU., Nueva Zelanda y Canadá, han desarrollado un tratamiento obligatorio de fumigación con BM para las exportaciones de cerezas y nectarines a Japón. El USDA-APHIS acepta sólo un tratamiento de frío para algunos carozos que incluyen cerezas importadas de Chile, ciruelas de Israel, y damascos, duraznos y ciruelas de Marruecos (Anon.,1992).

#### **Alternativas existentes.**

Australia ha impuesto niveles máximos de plagas. Acepta nectarines y damascos provenientes de Nueva Zelanda con certificación de preembarque siempre que estos niveles no sean excedidos. Cerca de 14 toneladas de ciruelas frescas fueron importadas por Sud Africa desde Francia las cuales habían sido irradiadas con dosis de 2KGy.

#### **Alternativas potenciales.**

Los carozos toleran ACs con bajas concentraciones de oxígeno (0,25-0,50%) durante 8-40 días dependiendo del producto y la temperatura. La AC combinada con alta temperatura puede dañar la calidad de estas frutas. Se

está determinando una alternativa para controlar plagas bajo AC a cierto rango de temperaturas.

La investigación preliminar ha mostrado que algunas variedades de nectarines toleran 24 horas de exposición al calor, usando aire húmedo a 41° C, para eliminar algunas especies de trips. La inmersión de damascos en agua caliente a 25-45° C por 10-30 minutos daña la calidad de la fruta, debido probablemente a que entra inóculo a su carozo. Las cerezas Bing toleran un tratamiento para controlar la polilla de la manzana que consiste en la aplicación de aire húmedo a 47° C por 35 minutos y luego almacenamiento a  $0 \pm 1$ ° C por menos de 14 días.

Nueva Zelanda acepta un período libre de plagas para la mosca de la cáscara de la nuez en exportaciones de nectarines desde EE.UU..

Las cerezas, nectarines y duraznos son los carozos más tolerantes a la radiación y, además, este tratamiento permite el control de insectos. Una dosis superior a 1KGy no daña las cerezas Rainier, la cual es aproximadamente 3 veces la dosis requerida para eliminar el estado más resistente de la polilla de la manzana.

Las cerezas son tolerantes a los niveles de CO<sub>2</sub> generados por un tratamiento con AM que puede ser efectivo en el control de plagas.

Las cerezas y los nectarines son los huéspedes de menor importancia para la polilla de la manzana. Este hecho combinado con los pesticidas aplicados en el huerto y la selección en el packing alcanza los niveles de seguridad requeridos por la mayoría de los países. Las variedades de nectarines varían en su susceptibilidad a los niveles de infección con polilla de la manzana a nivel de campo.

### 6.3.3.3. Cítricos.

Los cítricos incluyen las naranjas, pomelos, limones y tangerinas. Las exportaciones son económicamente importantes para : Australia, Brasil, Israel, Japón, Sud Africa, EE.UU. y algunos países del Mediterráneo.

Las moscas de la fruta, escamas y algunos gorgojos son las principales plagas de importancia cuarentenaria en la mayoría de los países.

El BM, a menudo, daña los cítricos a las concentraciones necesarias para eliminar la mosca de la fruta, lo cual limita su uso.

#### Alternativas existentes.

Japón acepta cítricos de Florida expuestos a 10-14 días de tratamiento con frío a  $0,6^{\circ}\text{C}$  para controlar la mosca del Caribe (*Anastrepha suspensa*); cítricos de Sud Africa después de 12 días de tratamiento en frío a  $-0,6^{\circ}\text{C}$  para controlar la mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata*); y cítricos de Israel después de 13-14 días de tratamiento con frío a  $0,5^{\circ}\text{C}$  para controlar las mismas especies. USDA-APHIS acepta el tratamiento con frío por 11-22 días dependiendo de la temperatura para controlar las especies de la mosca de la fruta en algunas variedades de cítricos de 23 países. A veces, es necesario un acondicionamiento previo de los cítricos con altas temperaturas para que la fruta tolere el tratamiento con frío.. La fumigación con HCN se usa para eliminar escamas. El uso de aire caliente seco que eleva la temperatura de pulpa a  $47,8^{\circ}\text{C}$  (durante 3 horas mínimo) es un tratamiento cuarentenario aprobado en pomelos para controlar la mosca de la fruta mexicana (*Anastrepha ludens*). El uso de aire caliente húmedo durante 6 horas a  $43,3^{\circ}\text{C}$  (temperatura de pulpa) está aprobado para controlar esta misma especie en pomelos, naranjas y tangerinas provenientes de México.

### Alternativas potenciales.

Estas incluyen la radiación en algunas variedades de naranjas, pomelos y limones. El uso de radiación ha mostrado daños significativos en limas. Algunos cítricos se envuelven individualmente en films fungicidas, lo que crea una atmósfera capaz de eliminar insectos siempre que éstos no rompan estos films. Algunos tratamientos con AM dañan los cítricos limitando su uso masivo. Se están desarrollando tratamientos térmicos para controlar diferentes especies de la mosca de la fruta en pomelos, y también para naranjas Valencia. También se puede controlar plagas mediante la resistencia inducida genéticamente en la fruta; adicionando coberturas a la superficie de la fruta (en combinación con el insecticida dimetoato o calor) que reducen la posibilidad del desarrollo de la plaga en la atmósfera interna; demostrando que hay zonas o períodos libres de plagas debido a una serie de medidas de control aplicadas durante la producción. Se ha demostrado que el uso de agua a altas presiones elimina escamas y algunos gorgojos de los cítricos.

#### 6.3.3.4. Uvas.

Las exportaciones de uvas son económicamente importantes para : Australia, Brasil, Chile, Israel, Sud Africa, EE.UU. y muchos países europeos.

Las principales plagas de interés cuarentenario en uvas son las moscas de la fruta, lepidópteros, algunos chinches y ácaros.

El USDA-APHIS acepta el tratamiento con frío en 30 países para controlar la polilla de la vid (Lobesia botrana) y otros insectos al permitir que el tratamiento se combine con fumigación con BM. EE.UU. acepta exportaciones de uva desde Chile de zonas libres de la mosca del Mediterráneo permitiendo también que ellas sean fumigadas con BM para controlar el ácaro Brevipalpus chilensis.

### **Alternativas existentes.**

Japón acepta un tratamiento con frío durante 12 días a 0,5°C para controlar la mosca del Mediterráneo en uvas exportadas desde Chile.

### **Alternativas potenciales.**

La fumigación en almacenamiento con SO<sub>2</sub> (aplicado normalmente como control fungicida), sola o combinada con CO<sub>2</sub>, permitiría el control de la plaga, aunque esto ha sido poco estudiado. Algunos autores han encontrado que usando concentraciones de SO<sub>2</sub>, similares a las de una fumigación normal en uvas, elimina insectos que son claves en EE.UU.. Esto sugiere que el SO<sub>2</sub> tiene potencial para controlar tanto hongos como insectos. Sin embargo, la presencia de residuos de azufre a partir de sulfitos, normalmente de 10 ppm, pueden limitar su uso. En EE.UU. se requiere un etiquetado obligatorio de aquellos productos que contienen  $\leq 10$  ppm de sulfitos lo que advierte su presencia a las personas que son sulfito sensibles. Las uvas no toleran altas concentraciones de CO<sub>2</sub> por largos períodos. La radiación gama que usa  $< 1$  KGy ha mostrado tener potencial para la desinfección de esta fruta, la cual se daña con dosis superiores. En general, la respuesta de las uvas a la radiación gama es variable. Otras alternativas potenciales que requieren de mayor investigación son los tratamientos térmicos y las ACs.

#### **6.3.3.5. Berries.**

Los berries incluyen la frutilla, frambuesa, arándano y zarzaparrilla. Las exportaciones son económicamente importantes para : Australia, Brasil, Canadá, Colombia, Israel, Nueva Zelandia, Sud Africa, EE.UU. y Zimbabwe.

Las principales plagas de interés cuarentenario son el gusano del arándano y otras moscas de la fruta, trips, áfidos y ácaros.

Muchos países necesitan una fumigación con BM obligatoria para los berries importados de aquellos países con moscas de la fruta. Si no hay presencia de mosca de la fruta, estos frutos se importan después de su inspección.

#### **Alternativas existentes.**

Normalmente no hay alternativas para controlar las plagas internas. Sin embargo, la radiación muestra potencial para controlar el gusano del arándano (*Rhagoletis mendax*), en arándanos.

#### **Alternativas potenciales.**

En Florida se irradian comercialmente frutillas que han estado bajo AM con concentraciones de 10% CO<sub>2</sub>, que también puede permitir un control fitosanitario si se necesita. Normalmente se usan atmósferas con concentraciones de 15-20% CO<sub>2</sub> (una AM) para el control de *Botrytis* en frutillas en tránsito desde California a otras partes de EE.UU., un tratamiento que puede usarse también para eliminar trips y áfidos. La fumigación, con aplicaciones separadas de SO<sub>2</sub> o HCN, puede ser eficaz en algunos cultivos de berries. Los tratamientos térmicos se usarían para controlar plagas termosensibles tales como los trips; y los tratamientos con frío para controlar insectos tropicales con un período de exposición que no sea detrimental para la vida útil del producto. La AC no tendría suficiente duración para eliminar las plagas debido al corto período de vida de los berries.

### 6.3.3.6. Cultivos de raíz.

Los cultivos de raíz incluyen el ñame, papas, camotes, yucas, zanahorias, cebollas, jengibre y ajos. Las exportaciones son económicamente importantes para un gran número de países, y particularmente para las economías de muchos países en desarrollo.

Los cultivos de raíz son infectados por gorgojos, escamas, escarabajos, trips, ácaros y nemátodos. Su entrada sin tratamiento es permitida sólo si están libres de tierra ya que la mayoría de estas plagas pueden atacar la raíz del cultivo en el suelo. Normalmente, el BM es el único tratamiento registrado para los embarques de ajos y ñames exportados a EE.UU. y otros países, para controlar un amplio rango de plagas.

#### **Alternativas existentes.**

No se conoce ninguna (MBTOC, 1995).

#### **Alternativas potenciales.**

La radiación está siendo investigada como control del gorgojo del camote (*Cylas formicarius elegantulus*) en Florida, y para controlar nemátodos y escamas (*Aspidiella hartii*) en jengibre en Malasia. La radiación, que se usa normalmente en muchos países para inhibir la brotación en varios cultivos de raíz, podría utilizarse para prevenir la emergencia de plagas adultas. La radiación se usa normalmente para la desinfección de ajos en Sud Africa. El tratamiento térmico también se está evaluando en camote para controlar el gorgojo del camote y la polilla de la banana (*Opogona sacchari*) en Florida.

Se requiere evaluar la exposición al calor por inmersión en agua o aire húmedo debido a que se desconoce la tolerancia de muchos cultivos de raíz

a este tratamiento. Es posible la inspección de pre-embarque para algunos cultivos de raíz que estén libres de tierra, pero no es posible plagas internas tales como los nemátodos. Muchos de estos cultivos pueden almacenarse por períodos relativamente largos lo que sugiere que un control de plagas potencial sería la AC y los tratamientos con frío. También podría ser posible usar inmersión en insecticida diluido y variedades resistentes.

### **6.3.3.7. Hortalizas.**

Las hortalizas incluyen las porotos verdes, espárragos, brócolis, repollos de bruselas, hortalizas de fruto tales como tomates y pimientos, y hortalizas de hoja tales como repollo, coliflor, lechuga y espinaca. Las exportaciones son económicamente importantes para un amplio número de países, y particularmente para las economías en desarrollo.

Las hortalizas son afectadas por un amplio rango de plagas tales como moscas de la fruta, gorgojos, escarabajos, lepidópteros, trips, áfidos y chinches. En muchos países, el tratamiento predominante es la fumigación con BM cuando se detectan estas plagas vivas en embarques importados. Sin embargo, algunas hortalizas son sensibles a la fumigación con BM.

#### **Alternativas existentes.**

Las mayoría de las importaciones se respaldan en la inspección y los productos sólo se liberan al mercado si no se detectan plagas vivas. El espárrago se fumiga con BM en Japón para el control de lepidópteros y ácaros, y con HCN cuando se detectan trips y áfidos vivos. Los pimientos Bell de Okinawa han embarcado a otros lugares de Japón después de un tratamiento con vapor caliente para controlar la mosca del melón, presente en esta isla. Los tomates enviados desde Australia a Nueva Zelandia son

sumergidos en dimetoato para controlar la mosca de Queensland previo a su exportación. La técnica que usa aire caliente húmedo (44,4° C de temperatura de pulpa, durante 8,75 horas) es un tratamiento cuarentenario aprobado para controlar Ceratitis capitata, Bactrocera dorsalis y Bactrocera cucurbitae en pimiento Bell y tomate importado por EE.UU.

### **Alternativas potenciales.**

Los fumigantes formiato de metilo o etilo pueden controlar las plagas en hortalizas de hoja. Desafortunadamente, las concentraciones efectivas están cerca de sus puntos límites de tolerancia. Se necesita más investigación para definir la tolerancia de las plagas y alimentos a estos productos vegetales naturales. Las consideraciones de salud y/o ambientales pueden restringir estos u otros biocidas. El tratamiento térmico (vapor o inmersión) se podrían aplicar a algunas hortalizas (por ej. tomate, hortalizas de vaina verde), y plagas (por ej. trips). Los tomates normalmente se tratan comercialmente con radiación, un tratamiento que también parece ser posible en espárragos. La mayoría de las hortalizas de hoja sufren daño en sus tejidos por dosis de radiación incluso menores que aquellas usadas para eliminar la plaga. El tratamiento con frío puede controlar plagas tropicales tales como la mosca de la fruta en tomates, particularmente si ellos son cosechados inmaduros y si son capaces de soportar esta condición. Los repollos son exportados a Japón desde Nueva Zelandia bajo condiciones de AC en tránsito para mantener la calidad; este tratamiento podría considerarse como una alternativa en el control de plagas. Del mismo modo, se ha observado que las condiciones de almacenamiento en frío y AC eliminan áfidos y trips en hortalizas transportadas desde Estados Unidos a Guam.

### 6.3.3.8. Cucurbitáceas.

Las cucurbitáceas incluyen diferentes variedades de pepinos, melones y calabazas. Las exportaciones son económicamente importantes para : Australia, Chile, Israel, México, Holanda, Nueva Zelanda, Sud Africa y Estados Unidos. Para algunos países en desarrollo, la venta de cucurbitáceas es muy importante para la economía nacional.

Las cucurbitáceas son afectadas por un amplio rango de plagas, particularmente mosca de la fruta, lepidópteros, áfidos y trips.

La mayoría de las cucurbitáceas no son fumigadas con BM pero deben someterse a inspección y certificación previo a su exportación. La sandía exportada desde Tonga a Nueva Zelanda es el único ejemplo de aplicar disminución múltiple de plagas, basándose en el descarte de fruta infectada desde el campo hasta la cosecha, seguido de fumigación con BM. Este método se ha aplicado como resultado de un acuerdo intergubernamental.

#### Alternativas existentes.

Algunos países tales como EE.UU. y Japón aceptan importaciones de cucurbitáceas sólo de zonas libres de plagas. Japón recibe melón de la región de Hsingchiang en China debido a que es una zona libre de la plaga mosca del melón, y también calabaza de Tasmania, libre de las moscas del Mediterráneo y de Queensland. El tratamiento con aire caliente húmedo es un tratamiento cuarentenario aprobado (temperatura de pulpa de 44,4° C durante 8,75 horas) para controlar Ceratitis capitata, Bactrocera dorsalis y Bactrocera cucurbitae en berenjena, calabaza y zuchini.

### **Alternativas potenciales.**

Algunas cucurbitáceas tales como los pepinos y la calabaza son tolerantes al calor (agua o aire húmedo), particularmente si se acondicionan previamente a temperaturas ligeramente menores que la temperatura final, y además este tratamiento controla la mosca de la fruta y lepidópteros. Sin embargo, el acondicionamiento previo aumenta la tolerancia de la *Drosophila* al calor, fenómeno que podría producirse con otras plagas hortícolas. En Hawai se están desarrollando tratamientos térmicos en la berenjena y el zuchini. Algunas cucurbitáceas no son huéspedes de algunas especies de la mosca de la fruta, por lo tanto es posible desarrollar una alternativa de disminución múltiple; es posible además tener zonas libres de la plaga mosca del melón en Sud América para exportar a EE.UU. Se ha visto que la vida útil del pepino aumenta con el uso de envoltorios contráctiles, sin embargo, este aspecto requiere de más investigación.

#### **6.3.3.9. Frutas tropicales.**

Las frutas tropicales incluyen la palta, papaya, mango, banana, litchi, piña, guayaba, chirimoya, carambola y maracuyá. Las exportaciones son económicamente importantes para : las Américas, Australia, el Caribe, India, Indonesia, Malasia, México, Filipinas, Taiwán y Tailandia. Para algunos países en desarrollo, la venta y el abastecimiento de fruta tropical es muy importante para la economía nacional.

Las frutas tropicales son afectadas por plagas tales como lepidópteros, ácaros y gorgojos, sin embargo, la mosca de la fruta es la más importante. El BM no se usa en frutas tropicales debido a que las concentraciones requeridas para eliminar la mosca de la fruta, a menudo exceden la tolerancia de ella.

### Alternativas existentes.

El mango exportado de Taiwán a Japón se trata comercialmente con aire caliente húmedo hasta alcanzar una temperatura de pulpa de 46,5° C que se mantiene por 30 minutos para controlar Bactrocera dorsalis. La duración y la temperatura de la inmersión del mango dependen de la variedad. USDA-APHIS aprobó un tratamiento en papaya con aire seco a una temperatura final (de la cavidad seminal) de 47,2° C alcanzada en un mínimo superior de 2 horas.

La chirimoya se puede tratar con agua jabonosa (solución de una parte de jabón por 3000 partes de agua durante 20 segundos) y cera para controlar especies de ácaro, tales como Brevipalpus chilensis. La papaya es tratada cuando está ligeramente inmadura ya que en este estado no es susceptible a la infección por mosca de la fruta (resistencia del producto). Del mismo modo, la palta puede ser resistente al ataque de la mosca de la fruta cuando se desarrolla bajo buenas condiciones de riego y cuando se retiran los troncos infectados. La piña no es huésped de la mosca de la fruta lo que permite exportar después de la inspección de pre-embarque (resistencia del producto). La banana es aceptada por Japón como libre de mosca de la ya que aunque los adultos dejan sus huevos en la fruta, ellos no son incubados hasta formar la larva madura. El gorgojo de la semilla del mango se puede controlar por radiación a menos de 0,85KGy sin causar fitotoxicidad. En el caso de la palta se ha visto que la radiación ha causado daños en la fruta. El encerado de la chirimoya, para el control de plagas, es aceptado en importaciones realizadas por EE.UU. desde Chile. Por otro lado, el litchi importado por Japón desde Taiwán se trata comercialmente con la combinación de vapor caliente y tratamiento de frío para controlar la mosca oriental. Los kiwis subtropicales importados por Japón, desde Chile, son tratados con frío para eliminar la mosca del Mediterráneo.

### **Alternativas potenciales.**

La radiación ha sido probada principalmente en frutas tropicales y es la alternativa con mayor potencial para estos productos.

El calor (agua) es efectivo para eliminar algunas especies de moscas de la fruta en banana, guayaba, carambola y mango.

Se requiere de mayor investigación para determinar el potencial de los tratamientos con frío y calor (aire húmedo) para paltas de Hawai. Se están desarrollando tratamientos térmicos para mango y litchi en Hawai. La disminución múltiple aparece como una buena opción en la palta, basada en zonas y períodos libres de plagas, resistencia del huésped y la condición de éste. El uso de films envoltorios parece ser una alternativa posible en exportaciones de papaya y otras frutas tropicales. Está en investigación un tratamiento con films para proteger mangos. También se están probando otros tratamientos tales como almacenamiento en frío, radiación e insecticidas.

#### **6.3.3.10. Flores cortadas y plantas ornamentales.**

Las flores cortadas tales como las rosas, claveles, crisantemos, aves del paraíso y orquídeas son exportaciones económicamente importantes de : Australia, Colombia, Kenya, Malasia, Holanda, Nueva Zelandia, Singapur, Sud Africa, Tailandia, EE.UU. y Zimbabwe. Las exportaciones de plantas ornamentales incluyen aquellas leñosas decíduas, perennes y cicádidas, y las exportaciones son económicamente importantes para los mismos países.

Las flores cortadas y las plantas ornamentales son afectadas por plagas tales como lepidópteros, trips, áfidos, ácaros y escamas. Las plagas

interceptadas vivas, en destino, son fumigadas con BM. La dosis varía con la temperatura, plaga de interés y en el caso de las plantas ornamentales el estado fisiológico de ésta por ej. el estado de dormancia.

Es interesante consignar que Colombia es un importante exportador de flores a EE.UU. (casi US\$ 400 millones), que son fumigadas en destino con BM. Una situación similar sucede con las flores exportadas por Australia e importadas y fumigadas por Japón.

#### **Alternativas existentes.**

El BM daña muchos tipos de flores cortadas, y la alternativa más común a éste es la inspección. Algunas flores y plantas ornamentales se fumigan con HCN para controlar áfidos, trips y moscas blancas, pero el tratamiento puede ser detrimental para algunas flores tales como gerbera que tiene un alto contenido de humedad. En Tailandia y Hawai las flores cortadas también se sumergen en una solución diluida de insecticida como el malation para controlar trips y otras plagas. El USDA-APHIS aprueba el uso de inmersiones en productos químicos (durante 30 segundos) en lugar de fumigar en el caso de que las plantas sean susceptibles al uso de fumigantes. También se permite el uso de una pulverización con agua a altas presiones contra moluscos tales como Succinea horticola seguido de una inmersión en insecticida diluido (carbaril), o la remoción manual de las plagas donde sea práctico seguido de una inmersión en malation-carbaril. Las formulaciones aerosol de insecticidas (por ej. diclorvos y permetrina) se usan en exportaciones de flores cortadas desde Nueva Zelanda a Japón.

#### **Alternativas potenciales.**

La radiación está siendo investigada para flores cortadas y sus plagas en países tales como Holanda, Nueva Zelanda, Malasia, Filipinas y Tailandia.

Se ha descubierto que la radiación controla trips en orquídeas a una dosis de 1,5-2,0 Kgy, sin embargo su vida útil se reduce a la mitad (8-10 días). También se ha comprobado que la radiación aumentaría la vida útil en rosas, fresias y claveles, en experiencias realizadas en Holanda.

Las formulaciones de insecticidas tipo aerosol y los productos naturales están investigándose en Tailandia y otros países. Hasta ahora los resultados muestran que las formulaciones carecen de penetración en el producto y además no siempre eliminan los ácaros y los minadores de hojas.

El tratamiento térmico con aire húmedo parece ser una alternativa para el tratamiento de flores cortadas tropicales y para el follaje.

Se ha probado que una inmersión doble (2 horas entre cada inmersión) es más efectiva en eliminar especies de trips que una simple en orquídeas, de Hawai. La primera inmersión causa salida de la plaga desde las grietas o quiebres de las flores. Después de esto los trips quedan expuestos directamente a la segunda inmersión.

Una disminución múltiple permite controlar áfidos, chinches, trips, tijeretas y hormigas en el jengibre rojo (Hawai). Una inmersión insecticida de postcosecha sólo es efectiva (100%) si los pesticidas de precosecha reducen las poblaciones de algunos chinches en campo a <6%, la infección del áfido de la banana a <33% y la infección del áfido del algodón a <70%.

#### **6.3.3.11. Bulbos.**

Los bulbos incluyen los tulipanes, narcisos, lirios, gladiolos y ajos. Las exportaciones de bulbos son económicamente importantes desde : China, Holanda, Nueva Zelandia, Taiwán y EE.UU..

Algunos bulbos, por ej. los narcisos, son afectados por el ácaro del bulbo seco, el ácaro del bulbo y el áfido del bulbo del tulipán, plagas que son difíciles de detectar.

La mayoría de los bulbos son normalmente fumigados con BM en EE.UU. y otros países, esto depende de si la plaga se alimenta superficial o internamente. El USDA-APHIS acepta una inmersión en agua caliente (43,3-43,9°C durante 1 hora) de los bulbos de narciso para controlar el ácaro *Steneotarsonemus laticeps*.

#### Alternativas existentes.

En Japón, los bulbos infectados por áfidos y trips se fumigan con HCN. Los narcisos infectados con la mosca del bulbo y trips se sumergen en agua caliente durante 1,5-2,0 horas a 44°C para eliminarlos.

#### Alternativas potenciales.

Los lirios infectados con nemátodos podrían sumergirse en un insecticida diluido (por ej. metomil), o los tulipanes con el ácaro del bulbo del tulipán en una emulsión de pirimifosmetil. La arañita bimaclada y los áfidos son eliminados con diclorvos en formulación aerosol.

#### **6.4. Alternativas para estructuras**

La fumigación se usa como una técnica de manejo de plagas en estructuras. Se usa siempre que la infección esté tan propagada que los tratamientos localizados provoquen una reinfección o cuando la infección está dentro de las paredes o en otras áreas inaccesibles.

Las estructuras que son fumigadas corresponden al almacenamiento y producción de alimentos (molino, procesadoras de alimentos, depósitos de distribución), lugares no alimenticios (habitaciones, museos) y vehículos de transporte (camiones, barcos, trenes, aeroplanos).

El manejo de plagas en estos lugares se realiza mejor mediante procedimientos de MIP. La reducción o eliminación del uso del BM en programas de MIP puede ser compleja en algunas situaciones. El MIP en estructuras se basa en la sanitización de los posibles refugios y alimentos de las plagas, y en la buena construcción y mantenimiento. La detección de plagas sirve como aseguramiento de la calidad en el programa de manejo de plagas y como indicador de las necesidades del tratamiento.

El fluoruro de sulfurilo se usa como un sustituto directo del BM para erradicar insectos destructores de la madera en algunos países. Los pesticidas no fumigantes y los métodos no químicos se usan también como tratamientos locales.

Actualmente, no hay un fumigante sustituto general para el tratamiento con BM de estructuras para realizar desinfección de plagas e insectos destructores de la madera. La fosfina y el cianuro de hidrógeno son fumigantes alternativos en algunas situaciones. El tratamiento con calor es probablemente la alternativa localizada más efectiva como técnica no

química. Otras estrategias incorporan el uso de pesticidas no fumigantes y procedimientos no químicos.

Los vehículos de transporte oponen dificultades al de manejo de las plagas debido a que tienen equipo sensible, innumerables refugios para plagas y es económicamente difícil mantenerlos en la operación por un período prolongado. Además, el BM es el único fumigante permitido para muchos tratamientos cuarentenarios en los embarques en muchos países. Actualmente no hay alternativas establecidas al BM para una eliminación rápida de roedores e insectos en los aviones. Se puede reducir la dosis de BM mejorando la retención y el monitoreo y combinando BM con dióxido de carbono.

## **7. MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DEL BROMURO DE METILO**

En la operación de fumigación se pueden detectar tres puntos críticos por los cuales el bromuro de metilo puede ser emitido a la atmósfera.

1. Por pérdidas durante el tratamiento de fumigación. Esto reduce la efectividad del tratamiento y la seguridad de los operarios.
2. Durante la aireación del espacio de fumigación inmediatamente después de la fumigación en las cámaras o remoción de las carpas (como se hace en Estados Unidos) cuando, deliberadamente, se emite el bromuro a la atmósfera.
3. Por emisión del bromuro de metilo adsorbido en el suelo, productos o infraestructura.

Para la mayoría de las operaciones de fumigación, el venteo que sigue al tratamiento produce la descarga más importante. Le sigue la emisión de bromuro de metilo adsorbido y luego la atribuida a pérdidas involuntarias, aunque esto es dependiente del lugar y del material fumigado. El primer tipo, y también el tercero en alguna magnitud, pueden ser controlados o reducidos por una mejor aislación del sitio de fumigación. El segundo tipo puede ser controlado sólo por la recuperación seguida, si es posible, por un reciclado o un reprocesamiento, o su destrucción.

## **7.1. Recuperación del bromuro de metilo**

Se han propuesto e investigado técnicas para recuperar o capturar el BM de las operaciones de fumigación. Estas consisten básicamente en captar el bromuro de metilo a la salida de la cámara de fumigación y luego descomponerlo o bien reciclarlo, retornándolo a la cámara. Por razones técnicas o económicas, sólo tres técnicas de recuperación se han propuesto comercialmente. Estas son la adsorción en carbón activado, la condensación y la adsorción en reactivos líquidos. Varias otras se están investigando activamente. Si la aislación o confinamiento y la recuperación son maneras de reducir las emisiones de BM a la atmósfera, será necesario definir la cantidad o la concentración máxima permisible que puede ser emitida. Esto permitirá definir especificaciones de la eficiencia requerida para los equipos de recaptura.

### **7.1.1. Adsorción en carbón activado**

El carbón activado (CA) puede adsorber relativamente grandes cantidades (hasta 10-30% en peso dependiendo del tipo de CA y las condiciones de operación) de BM. Es ampliamente usado a través del mundo para remover trazas de contaminantes orgánicos a partir de flujos gaseosos. Para las operaciones de fumigación se colocaría un depósito con CA en la línea de venteo. Al final del tratamiento, la mezcla de gas con BM y aire se pasa a través de CA en el cual el BM se adsorbe. La proporción retenida en el CA depende principalmente de la cantidad de CA libre disponible, mientras que la velocidad a la cual se adsorbe depende de la concentración en el flujo de gas, la velocidad de flujo éste, de las características del carbón activado y de la temperatura. Los ensayos que se han practicado indican que a bajas cargas, se pueden obtener valores de recuperación de cerca del 100%. Cuando se alcanza la capacidad de adsorción del carbón activado hay que

regenerarlo o eliminarlo. La regeneración se consigue pasando aire caliente por el carbón activado. Esto generalmente tienen como resultado la emisión del BM a la atmósfera, pero puede ser la base de un proceso de reprocesado.

### 7.1.2. Reciclaje del BM adsorbido en carbón activado

Es técnicamente posible reciclar BM adsorbido en CA, por calentamiento del carbón; tradicionalmente se hace pasando aire caliente a través de él o alterando la presión (desorción por cambios de temperatura y de presión). Mediante aire circulante se saca el bromuro desorbido del CA y la mezcla puede, potencialmente, ser reintroducida en la cámara de fumigación. El BM es reprocesado como una mezcla de alta concentración en aire, adecuada para un reuso directo como fumigante, pero alguna inyección adicional será necesaria para compensar las pérdidas del sistema de manera de obtener una concentración satisfactoria para la fumigación. Estudios de planta piloto han demostrado la factibilidad técnica de tal proceso con una recuperación para reuso directo de BM de hasta un 95% (Smith, 1992). La técnica no ha sido demostrada, sin embargo, en instalaciones de fumigación de escala comercial, el aumento en la concentración de otros compuestos en fase gaseosa puede ser preocupante desde un punto de vista de las regulaciones y de la calidad del producto fumigado. Existen planes en Alemania para equipar una instalación de fumigación de granos con un sistema de reciclado basado en cambios de temperatura para producir la desorción del carbón activado (Schreiner, 1993). Este sistema de reciclado, transportable, tiene algunos dispositivos extras ya que se ha incorporado un paso de enriquecimiento para obtener concentraciones más altas. Esto reduce el tamaño y los costos de transporte y permite obtener altas concentraciones durante la desorción de reciclado, aún cuando la concentración en el aire extraído al final de la recuperación sea baja.

Esta técnica podría también ser usada para operaciones de fumigación de suelos. En este caso debería usarse una combinación de desorción por cambios de temperatura y presión, calentando el suelo por resistencias eléctricas, lo que evita el uso excesivo de aire diluido. Ambos procesos han sido exitosamente probados en la recuperación de CFC11 y en la limpieza de aire que está saliendo de suelos tratados para remover compuestos orgánicos volátiles.

### **7.1.3. Condensación y carbón activado**

Un sistema probando en California, Estados Unidos, es el método de condensación para recuperar BM, seguido de la remoción de cantidades trazas residuales con un lecho CA. Esta planta recicla directamente el BM.

### **7.1.4. Reprocesamiento y reciclaje con el método de condensación y carbón activado**

Existe una instalación de fumigación conocida como MBTOC, donde el BM es ahora reprocesado y reciclado. Esta instalación localizada en Los Angeles, tiene dos cámaras de vacío las cuales fueron reacondicionadas con una planta de recuperación y reciclado. Al terminar cada operación de fumigación, el BM remanente, se diluye con aire desde una toma simple. Esta mezcla diluida es entonces conducida a través de depósitos donde la mayor parte del BM se enfría y condensa usando nitrógeno líquido. El BM remanente y el aire pasa por un lecho de carbón activado, en el cual casi todo el BM remanente es adsorbido. Periódicamente, el lecho de CA se separa y se somete a una desorción por cambio de presión. La planta se diseñó para recuperar el 98% del BM factible de ser capturado y se instaló a finales de 1993. Sin embargo, el proceso está controlado mediante computadores debido a que las cámaras de fumigación no han funcionado en operaciones continuas,

desde entonces sólo se han desarrollado 30 ciclos de recuperación. El costo de inversión y los costos de operaciones no están disponibles, ni tampoco existen datos sobre la efectividad de la operación.

#### **7.1.5. Adsorción en líquidos reactivos**

Las aminas reaccionan típicamente con BM para dar productos no volátiles metilados. Se ha descrito un sistema basado en aminas orgánicas y álcali para remover BM residual de contenedores fumigados con capacidad de 28 m<sup>3</sup>.

En los 1970s se condujeron investigaciones relacionadas con una técnica de lavado con líquido para remover BM de operaciones de fumigación (Anónimo, 1976). El proceso fue desarrollado y probado usando un equipo que recircula BM y aire desde el lugar de la fumigación a través de un estanque de una solución de monoetanolamina (50%) y que posteriormente vuelve a la cámara de fumigación. El proceso permitió reducir el 70% de la concentración de BM, pero fue muy lento, tomando 40-60 minutos para alcanzar el nivel de reducción mencionado. El tamaño del equipo necesario para una operación de escala comercial y las dificultades de manejo del material líquido contaminado han conspirado contra el desarrollo de nuevas técnicas.

#### **7.1.6. Otras técnicas de recuperación**

Hay un número de técnicas que están bajo consideración y desarrollo para la recuperación de BM. Ellos son :

**a) Adsorción en otros adsorbentes tales como filtros moleculares.**

Están en uso comercial procesos basados en el uso de adsorbentes de zeolita para remover CFCs desde los flujos de venteo con aire. Se han comenzado los trabajos para desarrollar de este proceso en BM, tanto para recuperar como para reciclar (Nagji y Veljovic, 1994). Aunque las zeolitas son más caras que el carbón activado, presentan una alta capacidad de adsorción, particularmente a concentraciones bajas. Ellas pueden fabricarse para tolerancias muy pequeñas para aplicaciones específicas y puede ser posible evitar cualquier problema potencial de contaminación de BM recuperado con otros compuestos volátiles, utilizando sorción selectiva que se obtiene con un rango particular de tamaño de poros.

La investigación en Japón ha conducido al desarrollo de un nuevo adsorbente, MBAC, el cual es una mezcla de CA y otras sustancias especiales (aminas), que tiene una mayor capacidad de adsorción para BM que el CA solo. Este material puede ser producido como láminas e introducidas en un sistema con productos embalados para remover el BM de lenta adsorción, el bromuro de productos fumigados y también, tiene un potencial para recuperar BM de fumigaciones de suelos. La Asociación Japonesa de BM está actualmente conduciendo pruebas de evaluación (Muraoka T., comunicación personal).

**b) Separación por refrigeración y condensación.**

Debido a la alta concentración de BM en los gases de venteo y su bajo punto de ebullición, esta opción ha sido considerada muy compleja y cara para la recuperación de BM de operaciones de fumigación, aunque es usada para recuperar BM de instalaciones donde se re-ensava este producto desde contenedores grandes a más pequeños, para uso directo.

**c) Tratamiento de ozono/carbón activado.**

Un sistema que también está en desarrollo, en California Estados Unidos, considera el uso de ozonación para destruir directamente el BM en el flujo de gas del venteo de una cámara de fumigación. El gas de venteo que ha sido tratado, pasaría a través de un lecho de CA, para remover el BM que no reaccionó. Este proceso ha sido probado en una planta piloto y en una planta a escala comercial, con un objetivo de recuperación del 90%. Con este proceso se generará CA contaminado con compuestos de degradación de BM, y no se conoce si tales productos presentan problemas para su disposición, puesto que se esperaba que estuviera instalado para 1994.

**d) Combustión directa y destrucción catalítica.**

En los 70's también se desarrolló, en Japón, investigación en relación a la combustión directa y a un método de ruptura catalítica para la destrucción de BM en el flujo de venteo de las cámaras de fumigación (Anónimo, 1976b). Se construyeron grandes plantas piloto, pero el proceso no escaló a nivel comercial. Los procesos fueron efectivos para reducir la concentración en flujos de gas de venteo hasta niveles de ppm, pero no hubo desarrollo posterior debido a varias razones:

a) su alto costo; b) su falta de aplicabilidad para fumigar productos (no es transportable); c) por la preocupación del uso de calor directo, ya que el BM puede, bajo condiciones muy restringidas, formar mezclas explosivas con el aire, y d) por las dificultades de manejo de los productos de la destrucción (HBr y Br<sub>2</sub>).

### **7.1.7. Terr-Aqua Enviro Systems Inc.**

Este sistema utiliza una tecnología propia que combina el uso de luz UV y un sistema oxígeno/ozono activado para neutralizar u oxidar un amplio rango de compuestos orgánicos, incluyendo sustancias tóxicas como el BM. La fisicoquímica desarrollada es esencialmente la misma que ocurre en la estratósfera.

El sistema capta las emisiones gaseosas y las conduce mediante un ducto hacia un prefiltro de dos etapas, el que colecta las partículas desde el flujo de aire. Desde allí el aire pasa a través de un reactor fotolítico donde es expuesto a luz UV de cierta frecuencia y donde también se le inyecta el oxidante.

El flujo de salida pasa a un segundo reactor (Terr-Aqua reactor) donde es rociado con agua ozonada. Muchos de los compuestos posibles de recuperar son solubles en agua, incluyendo el bromuro, y pueden captarse en ella. El agua de este reactor se limpia y filtra continuamente en un sub-sistema de reciclaje.

Luego de abandonar el reactor, el efluente de aire pasa por uno de los dos lechos de CA, donde se remueve el material orgánico remanente, alcanzándose eficiencias del orden del 95 al 99%. La utilización de los lechos de carbón se alterna cada 24 horas; uno de ellos está en línea para captar el material, mientras el otro es sellado y alimentado con oxidante para regenerar el carbón.

Las ventajas de este sistema son su operación continua (24 horas), es de larga vida útil (la mayoría de los componentes son de acero inoxidable o fibra de vidrio), es modular pudiéndose ampliar fácilmente. Además, el CA

posee larga vida útil, 5 años o más, debido a su regeneración no destructiva mediante luz UV y oxidación. El sistema es totalmente automatizado, no requiere calor, vapor o combustible para su operación y no genera productos tóxicos.

Para estimar el costo de un sistema de esta naturaleza aplicado en cámara de fumigación con bromuro se debe asumir, primero, que la cámara es totalmente hermética y que existe un tiempo razonable para coleccionar el BM, incluyendo el "aire de lavado" de la cámara, para garantizar la seguridad de los operarios y un máximo de captura de las emisiones. Bajo esta situación existen dos opciones de capacidad de flujo de aire, las que determinan el tamaño del equipo y los factores de costo. Se asume, además, un mínimo de 4 lavados con aire para cada ciclo de fumigación (Cuadro 7.1).

La variación de  $\pm 15\%$  se estiman por factores de instalación y ubicación.

La eficiencia de diseño del sistema es de un 95% en la captura y neutralización de los compuestos específicos.

**Cuadro 7.1. Opciones de capacidad de flujo de aire que determinan el tamaño del equipo y su costo.**

Flujo de aire	Tiempo proceso colec. emisión	Tiempo proceso aire lavado	Costo estimado US\$
25.000 cfm	4 min	15 min	925.000 $\pm$ 15%
50.000 cfm	2 min	8 min	1.575.000 $\pm$ 15%

## **7.2. Tecnologías en desarrollo**

### **7.2.1. Sistema Bromosorb de Halozone**

Halozone Technologies Inc. es una firma que está desarrollando formas para prevenir la emisión de sustancias depresoras del ozono hacia la atmósfera.

Halozone ha desarrollado recientemente el sistema Bromosorb para recuperar y reusar el BM a partir de las emisiones provenientes de la fumigación.

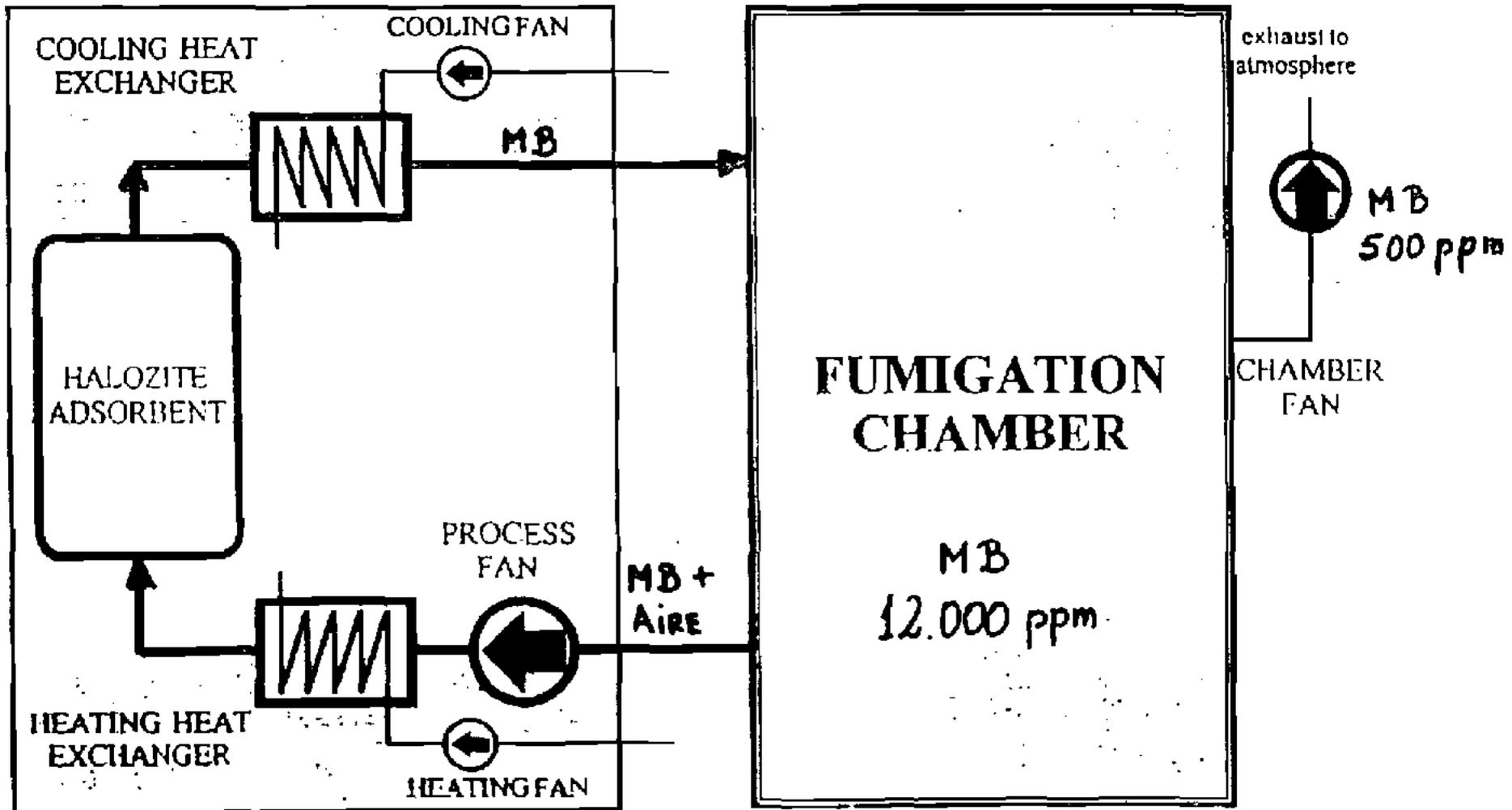
La comercialización de la tecnología del Bromosorb está comenzando con la instalación de unidades comerciales. La primera de ellas se situó en el Puerto de San Diego, EE.UU., en enero de 1995. En 1994 se hicieron ensayos exploratorios en el estado de Washington, Estados Unidos y en 1995 pretenden hacer lo propio en Chile.

#### **Descripción del proceso Bromosorb.**

La unidad Bromosorb está diseñada para recuperar más del 95% del BM disponible en la cámara después de la fumigación. Se hace circular el BM diluido con aire a través de la unidad. El BM es capturado en zeolita inerte, que llaman Halozite, mediante adsorción. Queda un remanente de 750 ppm o menos que es expulsado a la atmósfera usando los ventiladores de la cámara. Para realizar la siguiente fumigación se introduce la unidad Bromosorb en la cámara, que es calentada para producir la desorción del BM. Antes que se introduzca el BM en la cámara, el aire es enfriado.

# BROMOSORB™ UNIT SCHEMATIC

## SAN DIEGO UNIFIED PORT DISTRICT



**BROMOSORB UNIT**



**Ensayos realizados.**

Se realizaron pruebas (en Estados Unidos) en cámaras de fumigación, evacuando el BM con la unidad Bromosorb y sin ella (usado el ventilador de la cámara). La unidad Bromosorb tuvo un comportamiento similar o mejor que los ventiladores de la cámara, con el fin de mejorar la exposición prolongada del alimento a los distintos niveles de BM (Figura 7.1).

Los resultados de adsorción y desorción para estas pruebas se presentan en las figuras 7.2 y 7.3. Estas figuras ponen de manifiesto que la unidad Bromosorb es capaz de disminuir la concentración de BM desde 15.000-16.000 ppm hasta un nivel menor a 750 ppm en menos de 30 minutos. Además, se puede observar que para la reintroducción del BM a la cámara se necesitan cerca de 15 minutos (tiempo de desorción), para alcanzar la misma concentración inicial.

Por cromatografía, realizadas en la cámara de fumigación, se determinó que el funcionamiento del sistema Bromosorb es eficaz en la recuperación del BM, no produciendo compuestos extraños al proceso.

## EVACUACION DEL BM DE UNA CAMARA DE FUMIGACION

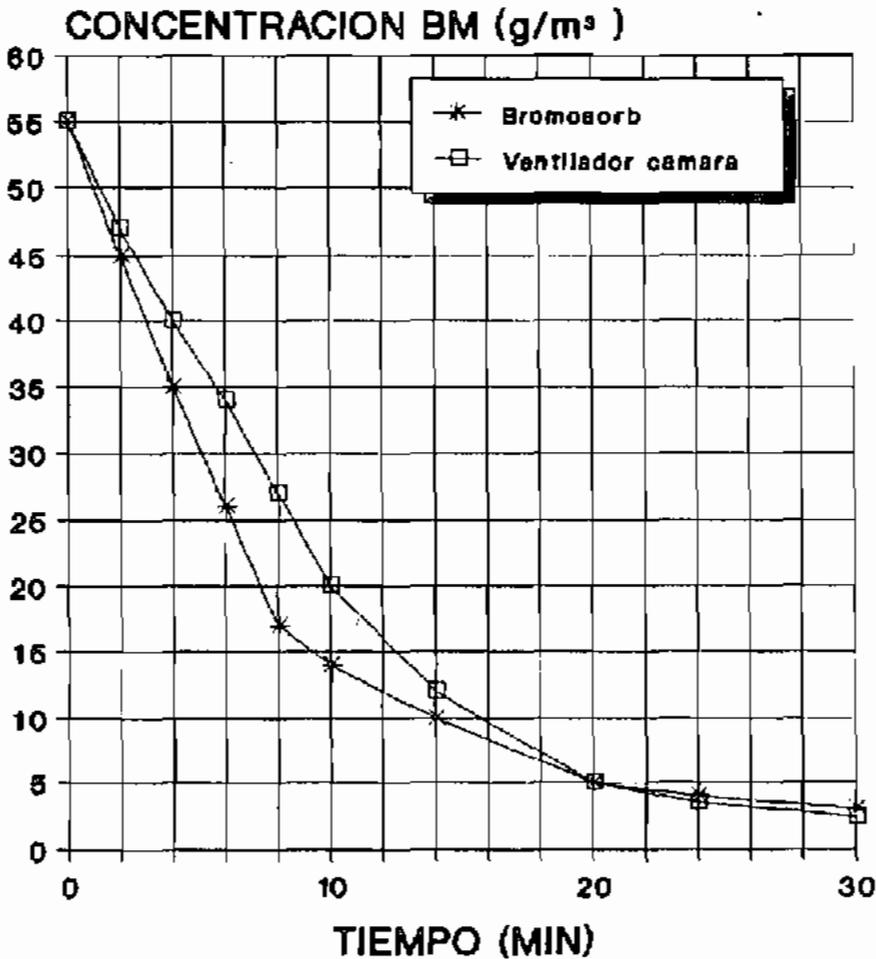


Figura 7.1. Variación de la concentración del BM al usar la unidad Bromosorb o los ventiladores de la cámara de fumigación, para su evacuación. Ensayo realizado en el Puerto de San Diego, EE.UU.,(1994).

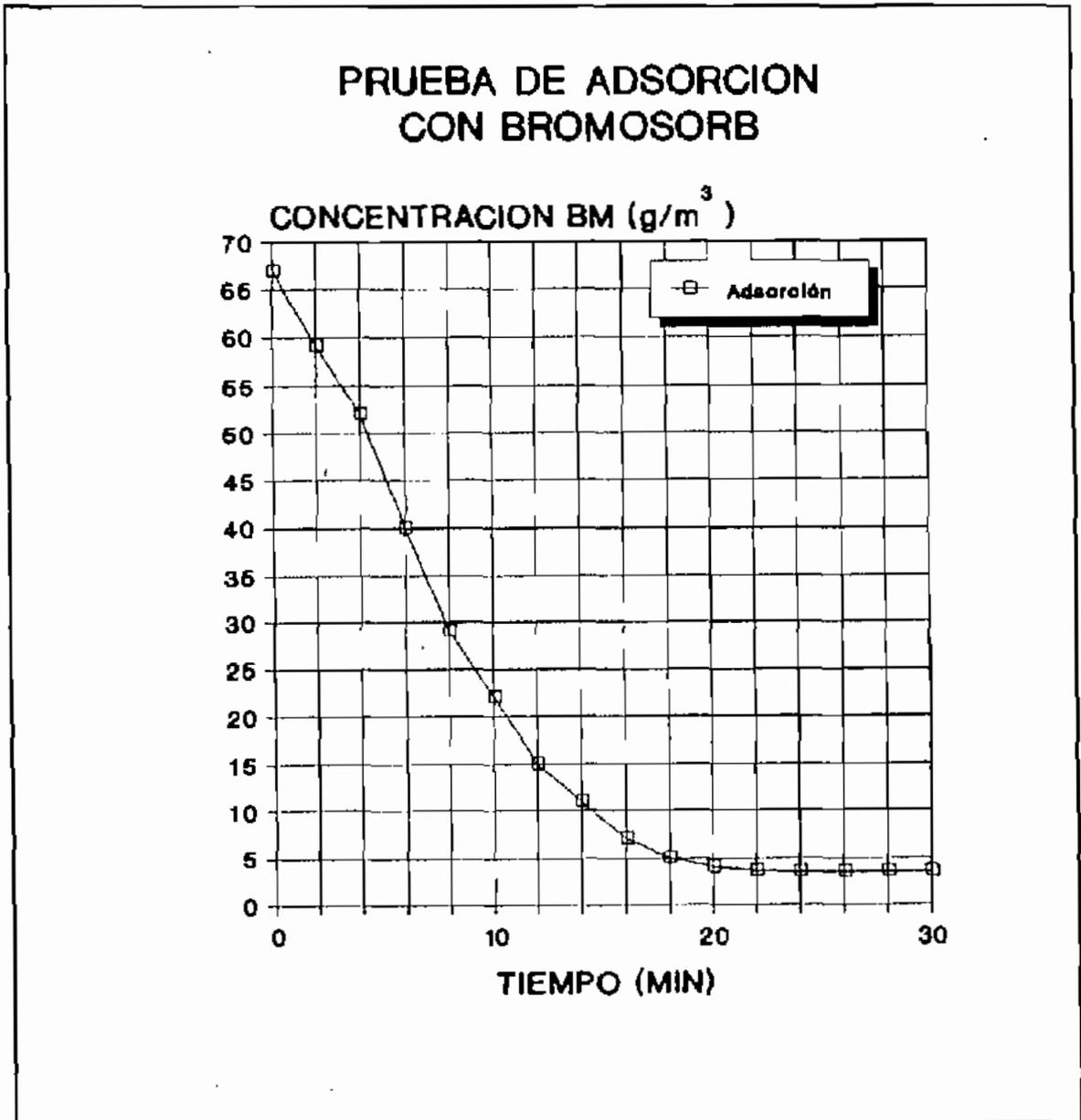


Figura 7.2. Variación de la concentración del BM durante la adsorción con Bromosorb. Ensayo realizado en el Puerto de San Diego, EE.UU., (1994).

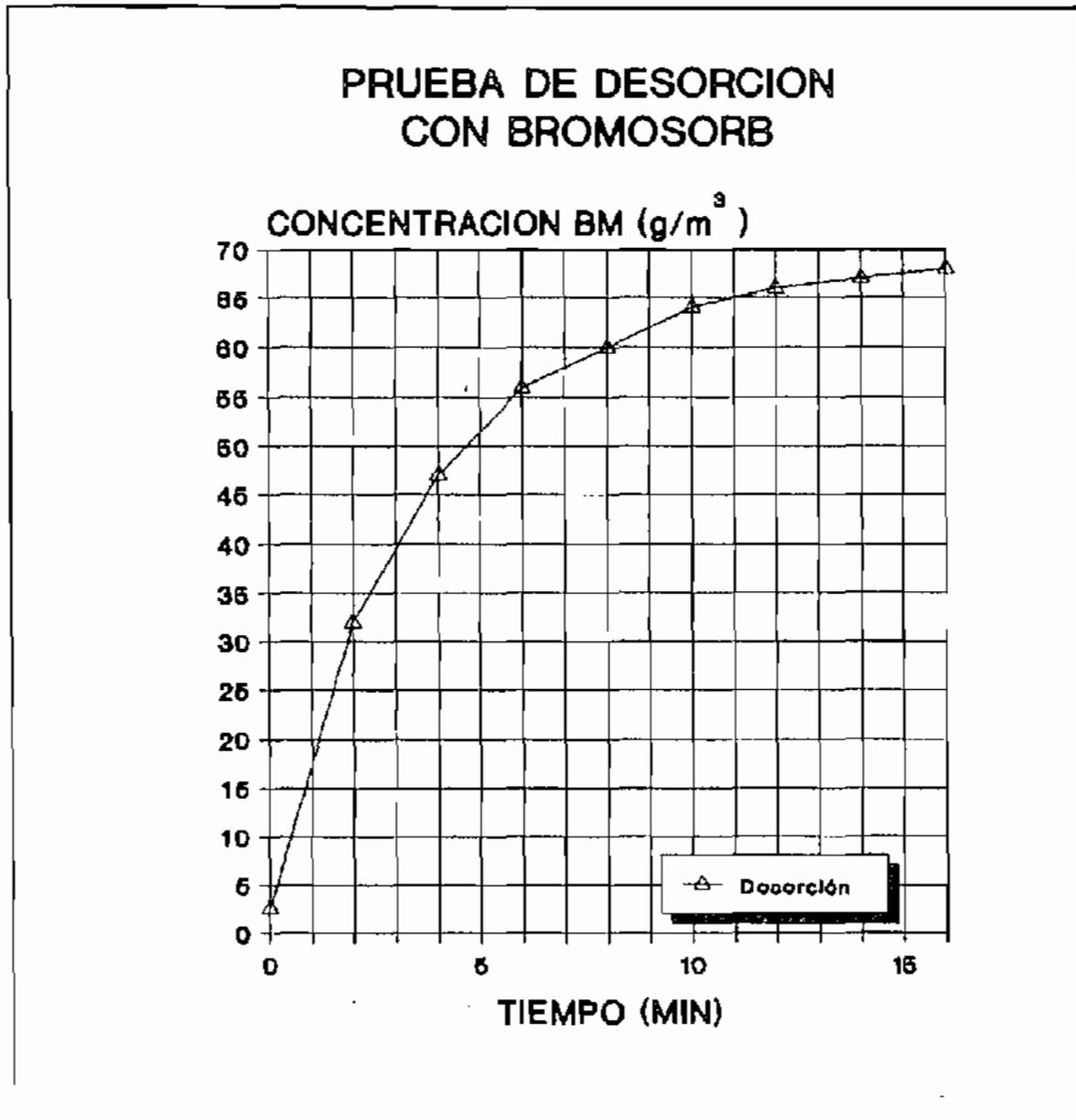


Figura 7.3. Variación de la concentración del BM durante la desorción desde la unidad de Bromosorb. Ensayo realizado en el Puerto de San Diego, EE.UU., (1994).

### **7.2.1.1. Evaluación técnica de la unidad Bromosorb en una cámara de fumigación en Chile<sup>1</sup>**

Las pruebas y verificaciones formales de esta unidad se llevarán a cabo con la participación de representantes de Chile (CONAMA, Asociación de Exportadores, Ministerio de Agricultura e INTEC) y representantes del SAG y USDA. Además del Banco Mundial (Sergio Oxman), Enviroment Canadá (Steve Gorman) y el experto internacional en bromuro de metilo (Don Smith).

#### **Objetivos**

El objetivo general del estudio es verificar el comportamiento de una Planta de recuperación y reutilización de BM, suministrado a Chile por Halozone. Las pruebas están destinadas para asegurar que la Unidad de recuperación :

- Esté correctamente instalada y su uso sea seguro
- Que cumpla las especificaciones de trabajo de acuerdo a su diseño.
- Que los operadores chilenos hayan sido adecuadamente entrenados para su uso.

Los objetivos específicos son :

- Evaluar la capacidad de reutilización de bromuro de metilo de la unidad Bromosorb, a través del análisis de las fases de adsorción y desorción del equipo.
- Determinar la retención de la capacidad de adsorción útil de la zeolita, después de varios ciclos de trabajo.

---

<sup>1</sup> Fuente : Fundación para el Desarrollo Frutícola, 1995.

- **Determinar el grado de pureza del BM después de varios ciclos sucesivos, durante la fase de desorción.**
- **Analizar aspectos prácticos de operación, seguridad, rendimiento de la unidad y aspectos técnicos y reglamentarios que dicen relación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Salud del Ambiente del Ministerio de Salud.**

## **Metodología**

### **a) Instalación y puesta en servicio de la unidad**

La unidad será instalada de acuerdo a las especificaciones y documentos de diseño del fabricante, bajo supervisión de un experto canadiense. Para ello se requerirá de Ingenieros y Técnicos nacionales par ejecutar las tareas específicas en cuanto a instalación eléctrica, red de agua, conexiones de ductos, cañerías y modificaciones a la cámara de fumigación. La instalación de la unidad, se llevará a cabo en el mes de octubre de 1995. Previa ejecución de los ensayos, se requieren las siguientes comprobaciones y observaciones :

- **Inspeccionar físicamente la Planta de recuperación para asegurar que ha sido construida según se describe en las especificaciones y documentos de diseño.**
- **Inspeccionar físicamente la Planta para constatar que ha sido conectada a la cámara de fumigación de manera apropiada y segura.**
- **Verificar que la planta de recuperación ha sido sometida a la prueba de impermeabilidad del gas.**

- Verificar que la Planta de recuperación ha sido certificada, en cuanto al cumplimiento con los reglamentos locales chilenos, respecto del uso de productos químicos peligrosos (por ejemplo, certificados de inspección o permisos de operación).
- Instalar puntos de muestreo de gas apropiados, tanto en la cámara de fumigación, como también en la Planta de recuperación. Además se debe contar con equipos e instrumentos para medir las concentraciones de BM, en un rango de concentración de 5ppm a 100g/m<sup>3</sup>, junto con los elementos para verificar su calibración. Adicionalmente a la determinación de concentración por cromatografía y sólo con fines referenciales y de verificación práctica, se encuentran disponibles 2 tipos de instrumentos, un detector electrónico con sensor de estado sólido para detección de 0 a 100 ppm, y un analizador de gas (lumiscopio) por conductividad térmica, para rango de 1 a 100 g/m<sup>3</sup>.
- Capacitar el personal técnico y a operadores, en el manejo y mantención de la unidad, considerando aspectos teóricos y prácticos. En este punto se contará, naturalmente, con la presencia del experto canadiense de Halozone.

#### **b) Pruebas de comportamiento**

Las pruebas de comportamiento de la Unidad de recuperación y reciclaje, se efectuarán en una cámara de fumigación según los parámetros que se presentan el Cuadro 7.2.

**Cuadro 7.2. Parámetros a seguir para realizar las pruebas de comportamiento de la unidad Bromosorb.**

PARAMETRO	VALOR
Volumen	286,82 m <sup>3</sup>
Dosis máxima usual de CH <sub>3</sub> Br	13,8 Kg
Concentración máxima de CH <sub>3</sub> Br	48 a 55 g/m <sup>3</sup>
- Cámara vacía	
- Cámara completamente cargada	
Velocidad de flujo del ventilador	250 m <sup>3</sup> /min °
Tiempo de ventilación antes de la apertura	90 minutos °
Concentración de CH <sub>3</sub> Br durante la apertura	500 ppm °

° Sin Planta de recuperación.

Se propone una dosis de 48 g/m<sup>3</sup>, que corresponde a lo usual en Chile dadas las condiciones de tratamiento en origen. La cámara propuesta corresponde a una instalación de tipo tradicional (sin prefrío) para 68 pallets de la Central Frutícola David Del Curto, Kalinka, ubicada en Calera de Tango, Región Metropolitana.

Se deberá efectuar las siguientes pruebas, para garantizar que la unidad cumple con las especificaciones del diseño, a fin de asegurar un comportamiento definido.

**Pruebas de comportamiento de la adsorción.** Esta prueba deberá realizarse en duplicado tanto en una cámara de fumigación no cargada (vacía) como en una cargada. Deberá considerarse 2 tipos de materiales para el ensayo con carga, esto es : UVA, madera 8,2 y cartón 8,2; lo que hace un total de seis pruebas. La unidad se ha diseñado para asegurar que la planta de recuperación sea capaz de reducir la concentración del bromuro de metilo emitido desde la cámara hasta por lo menos 500 ppm dentro de 45 minutos. Los pasos a seguir para el ensayo del comportamiento de la adsorción son:

- Sólo en las pruebas con cámara cargada; se procederá a estibar 68 pallets de uva, que corresponden a la capacidad de carga máxima permitida.
- Se inyectará bromuro de metilo para una concentración de  $48 \text{ g/m}^3$  y se hará circular durante 30 minutos.
- Se medirá la concentración de bromuro de metilo en la cámara de fumigación a los 30, 60, 90 y 120 minutos por intermedio de cromatografía y verificación con fumiscopio. Lo anterior a objeto de obtener las curvas de adsorción de los materiales y fruta. El tiempo final de 120 minutos corresponde a la duración oficial de un tratamiento cuarentenario de acuerdo a la norma 1101(a) del USDA.
- Se conmutará la planta de recuperación a la modalidad de adsorción, una vez terminadas las mediciones de concentración.
- Se medirá la concentración de bromuro de metilo en la entrada de la unidad de recuperación cada cinco minutos. La concentración debería disminuir hasta por lo menos 500 ppm dentro de 45 minutos.

- Se calculará la reducción porcentual en cada lectura de la concentración. La velocidad de reducción teórica de la unidad es de 95,5% a partir de una concentración inicial de 48 g/m<sup>3</sup>.
- Finalmente, se ventilará la cámara hasta confirmar que la concentración esté por debajo de 5 ppm, con detector electrónico y por cromatografía.

En el Cuadro 7.3. se indica la reducción efectiva para diversas concentraciones iniciales en la cámara con una concentración final de 500 ppm (se asume que 1 g/m<sup>3</sup> equivale a 230 ppm).

Cuadro 7.3. Reducción efectiva de la concentración del BM para diversos valores iniciales, en la cámara de fumigación.

Concentración inicial	Concentración final	Reducción
64 g/m <sup>3</sup>	500 ppm	96,6%
56 g/m <sup>3</sup>	500 ppm	96,1%
48 g/m <sup>3</sup>	500 ppm	95,5%
40 g/m <sup>3</sup>	500 ppm	94,6%
32 g/m <sup>3</sup>	500 ppm	93,2%
24 g/m <sup>3</sup>	500 ppm	90,9%

**Pruebas de comportamiento de la desorción.** La siguiente prueba se ha diseñado para verificar que la planta de recuperación, recicle el 99% de bromuro de metilo recuperado durante un ciclo de adsorción, pasando luego a la desorción del gas en un tiempo de 10 minutos.

Esta prueba de verificación se realizará después que se ha completado una serie de ciclos de adsorción/desorción, dado que existe una carga base de bromuro de metilo en la zeolita, que es irrecuperable. Al igual que en la prueba anterior, se deben realizar los ensayos en duplicado, tanto en cámara vacía como completamente cargada con uva en cajas de madera y cartón. Los pasos detallados a seguir para el ensayo del comportamiento de la desorción son:

- Se ventilará la cámara de fumigación hasta que la concentración de  $\text{CH}_3\text{Br}$  esté por debajo de 5 ppm. Dicha concentración se medirá con detector electrónico y por cromatografía.
- Se conmutará la planta de recuperación a la modalidad de desorción.
- Se medirá la concentración del bromuro de metilo a la salida de la planta de recuperación, cada dos minutos.
- Se calculará la desorción porcentual, relativa a la cantidad adsorbida en cada lectura de concentración. La planta de recuperación debería desorber por lo menos un 99% dentro de 10 minutos.

Las pruebas de adsorción y desorción pueden ser efectuadas conjuntamente y también deben demostrar que la planta de recuperación puede ser conmutada desde la modalidad de adsorción y estar lista para desorber en un tiempo similar al que demorará ventilar, descargar y volver a cargar la cámara, proceso que demora aproximadamente 3 horas y media.

Halozone, ha informado que el tiempo requerido para preparar la planta para la desorción puede alcanzar hasta 3 horas.

**c) Pruebas de capacidad de repetición y vida útil de la zeolita.**

Para determinar si existe una reducción anticipada apreciable en el comportamiento de la zeolita, en relación a la mantención de su capacidad de adsorción útil, se efectuarán durante los ensayos, análisis comparativos de las diferentes fases de adsorción y desorción tanto en cámara vacía como cargada, con lo que se completarán 6 ciclos.

Además se efectuarán cuatro ciclos completos adicionales, con cámara vacía. La capacidad de adsorción y desorción medidos, no debería variar en más de un 1% (esto es,  $\pm 0,5\%$ ).

**d) Pruebas de pureza del bromuro de metilo**

Un aspecto importante en el uso de bromuro de metilo reciclado se refiere a si durante el proceso de recuperación, el BM se contamina con otros compuestos que lo tornen inadecuado para su uso posterior en los productos.

Estas pruebas determinarán el grado de pureza del BM como consecuencia de su reutilización sucesiva en la Planta de recuperación. Para lo anterior se efectuarán los siguientes análisis :

- BM virgen, usando un cromatógrafo de gas para establecer su perfil de constitución.
- Muestreo del BM durante la fase de desorción de cada uno de los diez ciclos repetidos mencionados antes y comparación de los perfiles obtenidos.
- Muestreo de etileno durante la fase de desorción.

**e) Metodología analítica**

La metodología analítica para las mediciones de concentración y pureza, será por cromatografía gaseosa, para lo cual en cada experiencia de fumigación con el sistema Bromosorb, se tomarán muestras que serán analizadas en INTEC CHILE.

**f) Informe final y seminario de este estudio**

Para la redacción del informe final, se efectuará un análisis de los resultados obtenidos, conjuntamente con los organismos chilenos participantes y los expertos canadiense y neozelandés.

El informe final está previsto para el mes de agosto de 1996, el que describirá los principales resultados técnicos, prácticos y económicos de la tecnología Bromosorb, incluyendo las instituciones participantes y la metodología empleada.

Luego de la elaboración del Informe final, se efectuará un seminario proyectado para el mes de septiembre de 1996, en que se dará a conocer a todos los sectores interesados ( exportadores de frutas, instituciones, universidades, etc.), los principales resultados de la tecnología probada, considerando aspectos técnicos, prácticos y económicos. Se considerará, además, la participación de los expertos canadiense y neozelandés, en referencia a su experiencia en el tema.

## **8. RADIACIÓN**

### **8.1. Introducción.**

La sensibilidad de un insecto a la radiación varía con el estado de desarrollo en el momento de la irradiación. En general, la sensibilidad es mayor en estados iniciales de desarrollo con división celular activa. Esta actividad es mayor en los estados de huevos y menor en estados posteriores. El efecto de la irradiación en un estado puede manifestarse en estados posteriores. En adultos las gónadas tienen gran sensibilidad respecto del resto del cuerpo, debido a la activa reproducción y división celular; una irradiación con dosis subletales previene la reproducción de los adultos (ICGFI, 1991a).

La radiación es una tecnología relativamente nueva, con potencial de aplicación significativo para programas cuarentenarios. El problema del aumento de residuos de pesticidas hace que los tratamientos físicos como la irradiación sean una alternativa atractiva frente al uso de agroquímicos (ICGFI, 1991b).

La mayoría de los tratamientos cuarentenarios causan cierta fitotoxicidad. Sin embargo, los bajos niveles de energía requeridos por la irradiación para este tipo de tratamientos, tienen efectos fitotóxicos mínimos. En general, la elección de un método cuarentenario considera su eficacia, fitotoxicidad, facilidad de aplicación y costo. El costo de la irradiación es generalmente menor que el de los tratamientos de frío y es competitivo con el de la fumigación y otros tratamientos (tratamientos de calor, atmósfera controlada/modificada y uso de insecticidas en postcosecha) (ICGFI, 1991b).

El uso de la radiación como tratamiento cuarentenario de frutas y hortalizas fue, originalmente, propuesto por Koidsumi en 1930. Más tarde Balock *et al* en 1956 propusieron los rayos gamma producidos por Co-60 para el tratamiento de productos agrícolas infestados con la mosca oriental de la fruta (*Ceratitidis capitata* Wiedemann). Esta tecnología fue evaluada por primera vez sobre frutas y hortalizas en 1970, por un grupo internacional de expertos reunidos por FAO/IAEA (Loaharanu, 1993).

La radiación ha sido recomendada por un grupo internacional de expertos reunido por el ICGFI bajo el auspicio de FAO/WHO/IAEA en Washington, DC, en enero de 1991, como tratamiento cuarentenario de amplio espectro contra la infestación de insectos en fruta fresca y hortalizas. Las conclusiones y recomendaciones de esta reunión fueron sometidas a juicio en la Convención de Protección Vegetal para considerarlas como un tratamiento cuarentenario armonizado internacionalmente para fruta fresca y hortalizas (Loaharanu, 1993).

Estudios recientes indican que la radiación es aplicable contra muchos insectos plaga asociados a productos agrícolas. Los tratamientos de radiación tienen un nivel de seguridad cuarentenaria, con dosis inocuas para los productos agrícolas. Los productos tratados son seguros para el consumidor y el medio ambiente (ICGFI, 1991b).

El criterio para la aceptación del tratamiento cuarentenario por radiación es prevenir la emergencia de adultos viables (que no sean capaces de reproducirse) desde huevos o larvas, es decir, interrumpir su ciclo biológico (Diehl, 1990; ICGFI, 1991a).

Técnicamente, dosis bajas de irradiación (< 1 Kgy) pueden ser usadas como método de tratamiento cuarentenario en productos agrícolas. Muchas

investigaciones indican que si las dosis de irradiación son suficientemente altas, todos los insectos y ácaros pueden ser eliminados, sin embargo, estas dosis producen daño en muchos productos agrícolas. La radiación puede ser usada sin efectos fitotóxicos, proporcionando seguridad cuarentenaria, si el criterio usado para determinar efectividad es cambiado desde mortalidad a inhabilidad para producir descendencia viable (Anónimo, 1985).

Generalmente, probit 9 (no más 32 sobrevivientes en un millón de insectos tratados) es aceptado por muchos países como nivel de seguridad cuarentenaria. En muchos casos, este criterio es ultraconservacionista y representa una sobremortalidad (Anónimo, 1985).

El Comité de Opciones Técnicas del Bromuro de Metilo del Protocolo de Montreal determinó que la irradiación es una importante alternativa a este fumigante en el tratamiento de productos agrícolas y suelo, sin embargo no lo es para las fumigaciones de estructuras. Varios integrantes de este comité, aún tienen gran interés en mantener la fumigación con bromuro de metilo, mientras que otros prefieren técnicas alternativas por diversas razones, incluyendo las comerciales (Marcotte, 1993).

## 8.2. Características del proceso.

La radiación es un proceso físico que permite mejorar las tecnologías de protección y conservación de un alimento. Su uso puede ayudar a solucionar problemas de salud, además, minimizar los efectos ambientales que causan los productos químicos. Sin embargo, hace falta realizar programas de educación para crear interés en el público coordinando con el gobierno, académicos y la industria para lograrlo.

El proceso de radiación de alimentos ha estado regulado como un aditivo alimentario desde 1963 en Estados Unidos.

Sin embargo, las regulaciones de la organización mundial de la salud (WHO, World Health Organization) lo definen como un proceso en que los alimentos son expuestos a distintas fuentes de radiación. Estas fuentes son:

- Cobalto 60 (5,2 años de vida media) o cesio 137 (30 años de vida media).
- Rayos electrónicos
- Rayos X generados eléctricamente por aceleradores

La radiación permite tener alimentos libres de insectos, reducir o eliminar la contaminación bacteriana o fúngica, y permite detener el daño fisiológico (pudrición) en ciertos productos.

Actualmente, es un método que se considera seguro y factible de aplicar en una gran variedad de productos.

A partir de 1963, la FDA (Food and Drug Administration) permitió su uso según las especificaciones que aparecen en el Cuadro 8.1.

Como se dijo anteriormente, la radiación es un proceso físico que no adiciona residuos externos. Es un proceso útil en la conservación de varios alimentos frescos, perecibles y con alto contenido proteico.

Los cambios químicos inducidos en un alimento y sus contaminantes, vía iones y radicales libres, afecta la habilidad de las células para reproducirse, y así se puede controlar el proceso celular que conduce a la germinación, maduración o crecimiento de agentes microbianos, parásitos y plagas (por ejemplo insectos y arácnidos).

**Cuadro 8.1. Proceso de radiación de alimentos : usos y limitaciones en Estados Unidos (1991).**

- a) Control de *Trichinella spiralis* en porcinos  
(0,3-1,0 Kgy; 30-100 Krad)
- b) Inhibición del crecimiento y maduración de alimentos frescos (<1KGy; <100 Krad)
- c) Desinfección microbiana de preparaciones enzimáticas deshidratadas  
(<10 Kgy; <1000 Krad o <1 Mrad)
- d) Desinfección microbiana de sustancias aromáticas deshidratadas, usadas para el mejoramiento del aroma o sabor :  
hierbas culinarias, semillas, especias,  
hortalizas para sazonar, pimiento (<30 Kgy;  
<3000 Krad o <300 Krad)

Se han realizado distintos estudios para demostrar que la radiación es un proceso que puede ser considerado como una alternativa en el control de plagas en productos agrícolas. También se está evaluando su uso como tratamiento cuarentenario.

A continuación se presentan una serie de estudios que se están realizando en base a este tema.

### **8.3. Uso de la radiación en Florida, Estados Unidos.**

La investigación de la radiación como tratamiento cuarentenario se aceleró después del anuncio hecho por la EPA acerca de la prohibición futura del uso del BM como fumigante. En Florida, grupos estatales, federales y privados están combinando esfuerzos para buscar tecnologías que reemplacen al BM. La falta de implementación para irradiar productos agrícolas impulsaron que un grupo privado, en 1991, habilitara en Florida el único lugar en EE.UU. para tratar alimentos con Cobalto 60, diseñado específicamente para ello.

El Departamento de Agricultura de Florida construyó un gran acelerador lineal para demostrar que el uso de electrones y rayos X es aplicable a productos agrícolas. El acelerador se terminó en 1991, sin embargo, se comenzaron a producir problemas de diseño e instalación que fueron corregidos en dos años. El acelerador no ha cumplido con las pruebas de aceptación de la GEMS-E (General Electric Medical Systems-Europe) por lo que se ha estado negociando la aceptación final del equipo.

En Estados Unidos se considera que la radiación es una tecnología segura, limpia y efectiva para tratar productos médicos e industriales, sin embargo, los supermercados no están dispuestos a poner productos irradiados en sus estanterías. A pesar de esto, hay consumidores que han respondido bien frente a algunos productos irradiados. Se ha informado que unos 40 comerciantes detallistas y 50 servicios de comida ofrecen este tipo de productos.

Es evidente que la implementación de la radiación puede tener un desarrollo lento ya que su uso está sujeto al mercado (el cliente) o a algún tipo de desastre natural.

Los arándanos producidos por los mercados de California, Ontario y Columbia Británica deben recibir un tratamiento cuarentenario por la presencia de Rhagoletis mendax Curran. Esta mosca es una plaga de interés cuarentenario para Estados Unidos que se elimina usando fumigación con BM.

Para encontrar una alternativa a dicha fumigación se realizaron pruebas con radiación en la Estación de Investigación Hortícola en Miami, Florida. En 1994 y 1995 se trataron larvas, desarrolladas en arándanos, con rayos gama a dosis de 10-250 y 3-750 Gy, respectivamente. Ninguna dosis de radiación detuvo completamente la formación de la pupa a partir de la larva tratada. De los insectos recogidos en 1994, sólo un 10% de las pupas produjeron adultos, sin embargo se espera que los insectos adultos podrían emerger en las temporadas siguientes.

Los resultados de las pruebas realizadas en 1994 muestran que 10 Gy previenen la emergencia de adultos así como los resultados de los ensayos hechos en 1995, usando dosis menores, podrían provocar el mismo efecto.

El Departamento de Agricultura de EE.UU. ha propuesto una dosis general de 150 Gy para moscas tefritidas de Anastrepha que otorgaría seguridad cuarentenaria contra la mosca del arándano (Rhagoletis mendax). Se ha encontrado que esta fruta puede tolerar sobre 750 Gy de radiación gama sin mostrar efectos adversos en su calidad. (Sharp, J. 1995).

#### **8.4. Uso de la radiación en California, Estados Unidos.**

El Departamento de Agricultura y Alimentación de California (CDFA, California Department of Food and Agriculture) está muy interesado en la futura disponibilidad del BM y el impacto que tendría su pérdida en los

mercados de importación y exportación del Estado. Este organismo ha planteado la importancia de identificar, evaluar y desarrollar todas las alternativas posibles como tratamientos cuarentenarios.

Por esta razón, el CDFA ha integrado la radiación al programa de cuarentena vegetal del Estado, intentando identificar las perspectivas de los posibles usos de los tratamientos con radiación en productos alimenticios frescos para sus propias industrias y las agencias reguladoras.

### **8.5. Uso de la radiación en zonas tropicales.<sup>1</sup>**

#### **8.5.1. Los problemas cuarentenarios en las regiones tropicales y subtropicales.**

La mayoría de las frutas tropicales producidas en Hawai y otras regiones tropicales y subtropicales están bajo la cuarentena del USDA debido a la presencia de un gran número de plagas tales como moscas de la fruta, ácaros, áfidos, etc. Además deben probar que estas frutas están producidas en una zona libre de la mosca de la fruta, aplicar un tratamiento cuarentenario aprobado antes de que el producto pueda ser embarcado a los mercados de áreas no infectadas, tales como EE.UU. continental. La restricción cuarentenaria en Hawai ha limitado el desarrollo del cultivo y la exportación de algunos frutos tropicales de mucho interés debido a que los productores no tenían seguridad de sus retornos en base a los esfuerzos realizados.

---

<sup>1</sup> Lyle Wong, Dept. of Agriculture, State of Hawaii.  
James H. Moy, University of Hawaii.

### 8.5.2. Procedimientos cuarentenarios, pasados y actuales, usados en Hawai.

La fumigación con dibromuro de etileno (DE) se ha usado como tratamiento cuarentenario desde 1953 en papayas producidas en Hawai y otros productos, excepto la variedad de piña Smooth Cayenne que no es huésped de la mosca de la fruta. En algunas frutas tropicales se probó el BM, sin embargo, los embaladores de papaya siguieron usando el DE debido, probablemente, a las diferentes tolerancias del huésped a estos dos productos químicos. El DE fue cancelado por la Agencia de Protección Ambiental en septiembre de 1984 debido a su potencial carcinogénesis en el ser humano. Antes de la proscripción del DE, la industria de la papaya luchó por un tratamiento alternativo cuarentenario. Las alternativas disponibles fueron el tratamiento térmico, el tratamiento con frío o la radiación. En noviembre de 1983 se realizó una conferencia sobre el uso de radiación en alimentos y productos agrícolas de modo de tener un foro que presentara la información actual (a la industria) y que discutiera todos los aspectos del proceso como una técnica de desinfección. Mientras tanto, los investigadores del USDA, en Hawai, desarrollaron un tratamiento con doble inmersión en agua caliente que adoptaron los embaladores de papaya (42° C/30 min, seguido de 49° C/20 min). Los problemas técnicos y de calidad del tratamiento de doble inmersión causaron considerables pérdidas en las ventas de papayas exportadas. Los embaladores cambiaron gradualmente el método a un tratamiento con vapor caliente en que las papayas son calentadas con aire de 90-100% HR a 47,2° C durante 4-6 horas. Los investigadores del USDA-Hilo y la Universidad de Hawai en Manoa desarrollaron un método con aire forzado a alta temperatura conocido como tratamiento térmico seco. Los estudios mostraron que 5-10%, o más, de las papayas tratadas desarrollaron textura granulosa. También, se observó escaldado en las frutas tratadas con vapor caliente. Actualmente, 4 embaladores de papaya usan el método con vapor caliente en la isla de Hawai mientras los de la isla de Kauai utilizan el método con calor seco.

### **8.5.3. Factibilidad técnica del uso de la radiación como método de tratamiento cuarentenario.**

Los estudios conducidos alrededor del mundo en las pasadas tres décadas y media han demostrado la factibilidad y la efectividad técnica de la desinfección de varias frutas tropicales y hortalizas usando la radiación gama. Los investigadores del USDA-Hawai y la Universidad de Hawai estaban particularmente interesados en conocer todos los aspectos del uso de la radiación gama como tratamiento cuarentenario debido a los problemas causados por las plagas mencionadas anteriormente. Hay literatura científica y del gobierno que abarca aspectos tales como las regulaciones, la tecnología de la radiación, las facilidades para su implementación, calidad del producto, aspectos económicos, comercialización, aceptación del consumidor y seguridad de los alimentos irradiados. Hay 3 conceptos a considerar en el uso de la radiación como tratamiento cuarentenario en aquellos alimentos vegetales que puedan estar infectados por la mosca de la fruta :

- Se puede alcanzar la esterilización de cualquier estado de este insecto con 0,15KGy
- El nivel de seguridad cuarentenaria de Probit 9 (menos de 32 sobrevivientes en un millón) se puede lograr con 0,26KGy
- La mortalidad de los huevos (100%) se lograría con dosis de 0,40-0.70 Kgy (basándose en un estudio realizado en 35 frutas diferentes).

A partir de Enero de 1989, el USDA-APHIS aprobó la radiación para papayas producidas en Hawai como un tratamiento cuarentenario, a una dosis mínima de 0,15KGy.

#### 8.5.4. Uso de la radiación en Hawai.

La agricultura de Hawai está sufriendo un cambio radical en sus plantaciones agrícolas. Se ha diversificado en base a frutas tropicales, hortalizas y plantas ornamentales con la disminución de las plantaciones de piña y azúcar. El enfoque de esta diversificación es exportar a EE.UU. continental y otros mercados extranjeros. La mayor limitación es la necesidad de desinfectar los productos antes de exportar, debido a la presencia de especies como la mosca de la fruta, gorgojo de la semilla del mango, y otros insectos y ácaros de importancia cuarentenaria.

Isomedix, en Morton Grove (Illinois) está evaluando los requerimientos para un irradiador comercial en Hawai mediante ensayos con frutas exóticas hawaianas conducidas en transportes aéreos de carga.

Como resultado de esto se ha obtenido fruta tratada cuarentenariamente, empleando radiación gama, que se ha vendido al detalle en Illinois, Indiana, y Ohio con excelente respuesta del detallista y el consumidor.

La radiación es un tratamiento cuarentenario alternativo viable que puede aplicarse rápidamente a la mayoría de las frutas tropicales exóticas que están en producción comercial en Hawai, único estado bajo cuarentena vegetal para la mosca de la fruta. Además, se está realizando un esfuerzo conjunto entre la industria, y el USDA-ARS/APHIS para intentar expandir las oportunidades en la Agricultura de Hawai.

Los estudios realizados al respecto concluyen que :

- La radiación es un tratamiento cuarentenario de frutas efectivo y eficiente. Es una buena alternativa a la fumigación y al tratamiento térmico. Se espera que un tratamiento con radiación debería durar no más allá de 30 minutos.
- El control de calidad es muy importante. Por ejemplo, las papayas antes de irradiarlas deben tener un cuarto de su madurez. La dosis y la configuración del pallet debe ser óptima para aplicar la menor dosis posible a la plaga de interés.
- Es necesario educar al consumidor explicándole aspectos de la seguridad y los motivos de usar la radiación. Sería interesante realizar una demostración o muestra para familiarizar al consumidor con frutas poco conocidas. El USDA-ARS y el USDA-APHIS están trabajando en la modificación de las leyes para establecer una dosis general de 0,25KGy en el control cuarentenario de la mosca de la fruta en frutas tropicales, y posiblemente en otros alimentos vegetales y plantas ornamentales.

## **8.6. Uso de la radiación en diversos productos agrícolas.**

### **8.6.1. Uso de la radiación en granos.<sup>2</sup>**

La radiación presenta ventajas obvias como sustituto a la fumigación de granos con BM, frente a otras alternativas, para satisfacer los requerimientos cuarentenarios. La efectividad del proceso, en términos de la desinfección de insectos, no es afectada por variaciones en la temperatura o la humedad del grano. Además, la radiación es efectiva contra un amplio espectro de especies de insectos y la calidad del grano o de la harina permanece inalterable a las dosis necesarias. El proceso es esencialmente instantáneo, y no requiere de exposición prolongada y los costos del tratamiento pueden ser muy bajos por las características involucradas en el proceso y por la modernización de los terminales de exportación.

Algunos informes indican que se producen micotoxinas en granos irradiados en relación a aquellos productos que no han sido irradiados. Este fenómeno puede ser un obstáculo en la adopción de esta técnica, no obstante, se han realizado varios estudios sobre este aspecto para caracterizar los efectos de la radiación en la producción de micotoxinas. Los resultados demostraron que las perturbaciones inducidas por la radiación en la producción de estas toxinas son idénticas a aquellas inducidas por los fumigantes comunes, tales como BM y fosfina. Esta similitud aseguraría que el uso de la radiación no tiene un riesgo potencial lo que permitiría su implementación como tratamiento cuarentenario.

---

<sup>2</sup> Ph.D. Joseph Borsa. Food and Agricultura Group.  
Radiation Applications Research Section.  
AECL, Pinawa, Maritoba, Canadá.

### 8.6.2. Uso de la radiación en cerezas dulces <sup>3</sup>.

El tratamiento normal para la desinfección de cerezas en Estados Unidos es la fumigación con BM. Las restricciones o la eliminación del BM es de gran interés para el mercado de exportación de cerezas. En 1994, sobre 1,7 millones de cajas de cerezas se embarcaron a Japón desde EE.UU. por un valor de US\$ 42 millones, por lo tanto, es un riesgo no encontrar una alternativa efectiva.

Como se mencionó anteriormente una de las fuentes de la radiación son los rayos electrónicos. Sin embargo, es necesario determinar si este tipo de radiación puede comunicar efectivamente la dosis al insecto de modo de esterilizarlo sin afectar la calidad de la fruta.

En un estudio realizado por el USDA-ARS se determinó que se puede controlar la polilla de la manzana en cerezas Bing con dosis de radiación de sólo 0,25KGy y, la mosca de la fruta con dosis de 0,15KGy, también en cerezas. No se encontró evidencia de pérdida de calidad en cerezas dulces Bing o Rainier con dosis sobre 0,30KGy. Por sobre 0,60KGy se producen pérdidas (14%) en la firmeza y en el color de estas cerezas, sin embargo el cambio de color es poco evidente a simple vista. Las cerezas Rainier muestran pérdidas similares en la firmeza, pero esta pérdida se produce a una dosis baja (sobre 0,30KGy). También se aprecia una evidente diferencia de color a dosis de 0,60KGy (o superiores) con aumento en los valores de los matices. Este cambio fue visible a ojo desnudo a dosis de 0,90KGy. No se presentaron defectos en las cerezas Bing a los niveles considerados, sin embargo, si existieron, a la dosis más alta (0,90KGy), en cerezas Rainier.

---

<sup>3</sup> S.R. Drake and L.G. Neven  
USDA-ARS.

Considerando que los niveles de radiación necesarios para el control cuarentenario son menores a 0,50K Gy y que no se producen pérdidas de calidad en cerezas Bing y Rainier a estas dosis, estos dos cultivares buenos candidatos para el tratamiento cuarentenario usando un acelerador lineal como fuente de radiación. La pérdida de calidad en cerezas irradiadas es pequeña considerando que los métodos convencionales (fumigación con BM) pueden producir pérdidas considerables.

### 8.6.3. Uso de la radiación en frutas secas y nueces <sup>4</sup>.

La industria de nueces y de frutas secas de los Estados Unidos está localizada principalmente en California donde se producen prácticamente todas las pasas, nueces, almendras y ciruelas secas de esta nación. La producción anual de estos productos, en dicho estado, excede el millón de toneladas, con un valor superior a 2 billones de dólares. Los insectos presentes en postcosecha causan pérdidas estimadas en 96 millones de dólares cada año y su control ha dependido del uso de los fumigantes BM y fosfina. Por este motivo, en 1984-85, se puso en marcha un proyecto de investigación multidisciplinario con la participación de varias agencias gubernamentales, universidades y grupos industriales para encontrar alternativas a dichos fumigantes.

El objetivo de tal estudio fue investigar el potencial técnico y económico de la radiación como sustituto de la fumigación en la industria de estos productos. Los insectos de interés fueron Cydia pomonella, Ameylois transitella, Plodia interpunctella y Carpophilus hemipterus. Todas las dosis utilizadas fueron inferiores a 1K Gy (100 Krads). El producto fue evaluado sensorialmente inmediatamente después de irradiado o después de un año

---

<sup>4</sup> Judy A. Johnson

(almacenamiento acelerado a 32,2°C). Se realizó, además, un estudio comparativo de costos entre la aplicación de la radiación, la fumigación normal y otras tecnologías alternativas tales como atmósferas modificadas y/o refrigeración.

Los resultados del estudio mostraron que la radiación es una tecnología eficaz en reducir el daño causado por insectos y prevenir la reinfección sin afectar la calidad del producto. Sin embargo, se encontró que el método no es económicamente competitivo con alguno de los métodos químicos o los métodos alternativos que se han planteado. Las mayores limitantes encontradas fueron :

- Las regulaciones podrían impedir que los productos fueran irradiados más de una vez, limitando la utilidad del tratamiento durante almacenamiento.
- Los insectos no mueren inmediatamente después que son irradiados, aumentando la posibilidad de que los consumidores encuentren insectos vivos en el producto.
- Las construcciones a gran escala y los altos costos de mantención hace que los irradiadores sean inalcanzables para los procesadores.

Sin embargo, se encontró que la radiación tiene potencial en ciertas áreas dentro de las frutas secas y las nueces, especialmente como tratamiento cuarentenario contra la polilla de la manzana en nueces.

#### 8.6.4. Uso de la radiación en frutas y hortalizas frescas <sup>5</sup>.

La mayoría de las frutas y hortalizas frescas toleran la radiación ionizante a dosis de 0,25K Gy con un efecto mínimo en su calidad. Algunos productos se pueden dañar a dosis entre 0,25 y 1,0 Kgy. La tolerancia que tienen las frutas y hortalizas frente a la radiación es variable. Generalmente las hortalizas sin fruto (por ejemplo lechuga) son mucho más susceptibles al stress provocado por la radiación que las frutas (por ej. manzanas) y hortalizas de fruto (por ej. tomates).

Algunos tratamientos con radiación no tienen efectos detrimentales sobre la condición y la calidad de algunos productos y cultivares. Sin embargo, a veces se pueden producir daños con los tratamientos comerciales aprobados. Es importante que aquellos que se desarrollen bajo condiciones de laboratorio sean factibles de aplicar a nivel comercial.

#### 8.7. Otros estudios relacionados con el uso de la radiación

##### 8.7.1. Uso de la radiación para controlar la polilla de la manzana <sup>6</sup>.

Entomólogos del USDA-ARS están trabajando en tratamientos cuarentenarios en pomáceas y carozos para eliminar la polilla de la manzana. Algunas investigaciones indican que dosis de 250-300Gy son suficientes para prevenir la eclosión de los adultos y que las manzanas Red Delicious pueden tolerar estas dosis con una ligera o ninguna pérdida de la calidad de la fruta.

---

<sup>5</sup> Roy E. McDonald and William R. Miller.

<sup>6</sup> Lisa G. Neven. USDA-ARS, Yakima, WA.

Se trabajó con la teoría que se podrían detectar los cambios en la actividad de la fenoloxidasa en polillas de la manzana irradiadas. Se trataron polillas con dosis de 0, 100, 300, 600 y 900 Gy y se evaluaron los niveles de fenoloxidasa en los 0, 2, 4 y 6 días siguientes.

Prácticamente no se encontraron diferencias significativas en la actividad de la fenoloxidasa en las polillas tratadas con radiación. La alta concentración de fenoloxidasa en la hemolinfa puede contribuir a este fenómeno. En otro trabajo se establece que las células de los lepidópteros contienen más enzimas reparadoras del ADN que otras células. La razón aún no está clara, sin embargo esto explicaría por qué los lepidópteros son más resistentes al stress ambiental dado por las altas o bajas temperaturas, la radiación ultravioleta o una combinación de tratamientos cuarentenarios, que la mayoría de las plagas dípteras.

#### **8.7.2. Técnicas para identificar moscas de la fruta irradiadas <sup>7</sup>.**

Hay un gran interés en pruebas que se están desarrollando para identificar insectos irradiados que puedan encontrarse en alimentos tratados por motivos cuarentenarios. Estos insectos, en muchos casos, se encuentran en estados inmaduros tales como larvas de mosca de la fruta. También se ha señalado que se produce una disminución del tamaño del ganglio supraesofágico (cerebro) de la larva de la mosca del Mediterráneo después de la radiación. La radiación no tendría efecto en el tamaño del proventrículo por lo tanto se puede realizar una correlación que serviría como indicador de la radiación. Se ha encontrado que otras moscas de la fruta muestran las mismas alteraciones (Rahman *et al*, 1990).

---

<sup>7</sup> Burrel J. Simttle and James L. Nation.

Recientemente se ha completado un estudio que evalúa las respuestas de la larva la mosca del Mediterráneo a la radiación usando tres técnicas : desarrollo del cerebro, melanización y fenoloxidasa. En dicho estudio las larvas se irradiaron con dosis de 150Gy usando una fuente de cesio 137 o un acelerador lineal de 10 MeV.

Todos estos métodos pueden identificar larvas que han sido irradiadas. Los resultados son mejores si la larva se irradia en el estado de huevo o en un estado larvario primario y luego se evalúa en un estado larvario terciario. Sería difícil para los inspectores que tratan aspectos cuarentenarios evaluar el tamaño del cerebro. La melanización si es aplicable debido a que sólo se requiere de un congelador y de la evaluación de un cambio de color. Se cree, sin embargo, que la técnica de la fenoloxidasa sería la que tiene el mayor potencial para identificar larvas de mosca irradiadas.

### 8.7.3. Uso de la radiación en *Trogoderma granarium* <sup>a</sup>.

*Trogoderma granarium* Everts, es la plaga cuarentenaria más seria en los productos almacenados tales como granos, nueces, maníes y harinas.

En EE.UU. el único tratamiento cuarentenario aprobado para este escarabajo es la fumigación con BM en el puerto de entrada. Al parecer otros fumigantes y tratamientos insecticidas no podrían reemplazar al BM como tratamiento cuarentenario. La razón principal es la inusual tolerancia del escarabajo, especialmente la larva en diapausa, a muchos insecticidas. Otros fumigantes y el uso de atmósferas con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> no son métodos efectivos contra esta especie, y se ha detectado que ha desarrollado resistencia a la fumigación con fosfina.

---

<sup>a</sup> John H. Brower  
U.S. Grain Marketing Research Lab.  
USDA-ARS.

La radiación tiene varias ventajas sobre la fumigación como tratamiento cuarentenario. La más importante es que se puede alcanzar la dosis letal para el insecto en pocos minutos o en 1-2 horas dependiendo de las condiciones de la radiación.

#### **8.7.4. Irradiador GRAY STAR™<sup>9</sup>.**

En Estados Unidos se ha desarrollado el equipo GRAY STAR™, un irradiador cuya disponibilidad puede ser de gran utilidad a los productores agrícolas para ciertas aplicaciones de postcosecha. El irradiador GRAY STAR™ se puede usar normalmente con los siguientes propósitos :

- Desinfección cuarentenaria
- Extensión de la vida útil (hortalizas y frutas)
- Prevención de la brotación (papas, cebollas y ajo)

Otros usos prácticos incluyen : Reducción de la carga bacteriana del alimento (bacterias y parásitos), Esterilización (elementos médicos, productos personales, alimentos y contenedores).

El GRAY STAR™ es un tipo de irradiador diferente ya que puede tratar productos agrícolas cargados en pallets estándares.

A diferencia de un irradiador convencional, este equipo está hecho completamente de acero, de piezas prefabricadas. Además debe ser construido en el sitio donde vaya a utilizarse.

Este equipo estará disponible pronto; las características técnicas y de funcionamiento están detalladas en un video, disponible a quien lo solicite.

---

<sup>9</sup> Martin H. Stein, Rusell N. Stein and Albert S. Marulli

### 8.7.5. Madera tratada con cobalto 60 <sup>10</sup>.

Para determinar qué organismos son la mayor amenaza a la madera norteamericana, un grupo de expertos en la materia, con conocimientos en plagas forestales, patógenos y nemátodos estudió el uso de la radiación en maderas importadas desde Rusia. Para ello desarrollaron una evaluación de riesgo de plagas. En enero de 1995 se creó un panel de expertos en la materia para determinar si las maderas importadas desde este país podrían ser tratadas con radiación (cobalto 60) para eliminar las plagas, patógenos y nemátodos enumerados en la evaluación de riesgo de plagas realizada. El objetivo del panel fue establecer un nivel de dosis estandarizada, para todos los organismos de interés. Además, estas dosis podrían ser usadas por algún país, que pueda utilizar la radiación, para exportar madera a Estados Unidos.

Los objetivos del panel fue establecer el tipo de experimentación que se conduciría, además de la cantidad y la calidad de los datos necesarios para que el USDA-APHIS apoyara o rechazara los tratamientos con cobalto 60 como una forma de disminuir la plaga en maderas rusas. Se impusieron algunas consideraciones generales tales como la forma del desembarco de las maderas; un nivel de mortalidad de 100% en la mayoría de los estados de desarrollo que fueran encontrados y la resistencia de la plaga a la radiación.

Los parámetros de investigación se establecieron para cada grupo de organismos y se colocaron en el formato del protocolo. Después de una revisión externa, el protocolo se dio a los científicos rusos que conducen los experimentos. El panel de investigación realizó una visita local para observar como los datos están siendo recogidos y analizados. Muchos de estos datos corresponden a insectos, sin embargo, hasta ahora la investigación es aún desconocida para patógenos y nemátodos.

---

<sup>10</sup>

Robin N. Huettel.  
USDA. APHIS, PPQ, Oxford. NC.

Por otro lado, la Corporación Internacional del Servicio de Energía Ionizante Ruso-Americano (RAIES, Russian-American Ionizing Energy Services <sup>11</sup>) constituida por un consorcio de socios norteamericanos, europeos y rusos ha realizado una operación conjunta para construir y operar plantas comerciales, usando la tecnología de energía ionizante convencional (es decir, radiación con cobalto 60), para esterilizar madera rusa, incluyendo madera de embalaje, chips y madera aserrada verde para exportar a EE.UU., Japón y otros mercados. Los requerimientos fitosanitarios para las exportaciones de este producto desde Rusia a Japón actualmente necesitan tratamiento con BM contra insectos y ciertos hongos. Se necesita que los tratamientos sustitutos al BM se desarrollen y aprueben rápido de modo de tener autorización para usar un tratamiento mixto de energía ionizante más un biocida sustituto al tratamiento cuarentenario con BM para la madera proveniente de Japón.

### 8.8. Uso de la radiación en Chile<sup>12</sup>

El cuestionamiento del BM en la fumigación condujo a investigar en la Universidad de Chile en colaboración con la Comisión Chilena de Energía Nuclear, la radiación ionizante como una alternativa para el tratamiento cuarentenario.

Se realizó un estudio para evaluar el efecto de la radiación ionizante sobre Brevipalpus chilensis Baker, especie nativa considerada cuarentenaria en EE.UU., para la exportación de uva de mesa (hospedante primario de tal especie).

---

<sup>11</sup> Dr. Thomas Ward.  
RAIES, International Corporation  
Arlington, Virginia

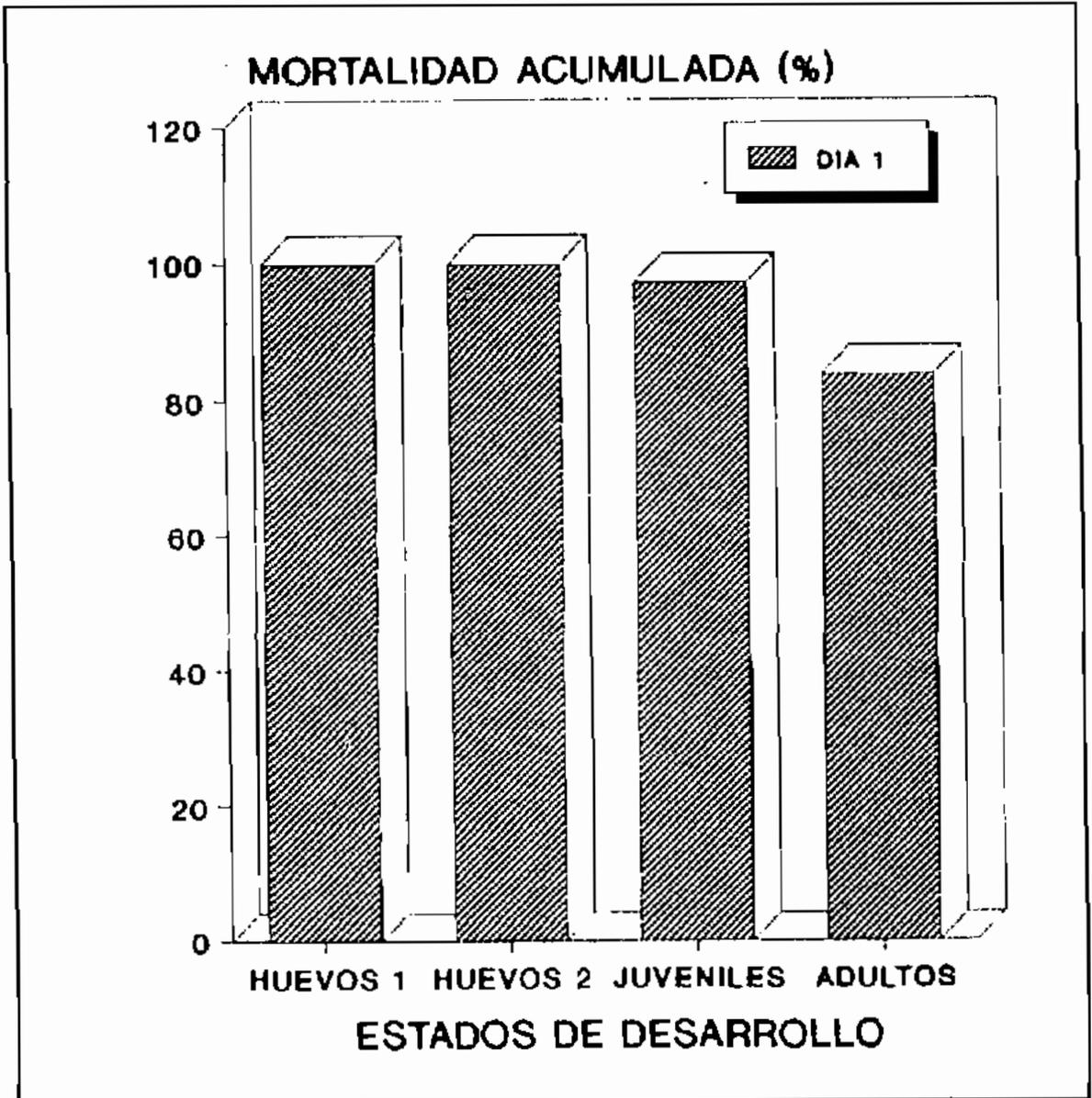
<sup>12</sup> Yael Jadue Díaz y Claudio A. Vargas Ogaz.  
Memoria de Título. Universidad de Chile.

Los resultados muestran que los estados de menor desarrollo fueron más susceptibles a la radiación en combinación con almacenamiento en frío.

La aplicación de los distintos niveles de radiación (500 -1000 y 1500 Gy) produjeron en todos los casos un 100% de mortalidad en los huevos. Los estados juveniles y adultos, también se vieron afectados, teniendo escasa sobrevivencia con dosis de 500 y 1000 Gy respectivamente. Además, los escasos sobrevivientes de estados juveniles y adultos tratados no fueron capaces de continuar su ciclo, no representando un riesgo cuarentenario (Figuras 8.1, 8.2, 8.3 y 8.4).

La utilización de almacenamiento en frío por 15 días a 0-2°C, simulando la duración de un embarque de uva a Estados Unidos tiene, aparentemente un efecto sinérgico con la radiación ionizante (Cuadro 8.2).

Al finalizar esta investigación, se recomendó estudiar el efecto de dosis subletales (que interrumpen el ciclo) de radiación ionizante sobre machos y hembras mediante cruzamientos dirigidos, para determinar las dosis que causan esterilidad y una reducción en la fecundidad.



**Figura 8.1.** Mortalidad acumulada de cuatro estados de desarrollo de *Brevipalpus chilensis* tratados con dosis de 500Gy de radiación ionizante después de prefrío de 24 h (0-2°C), un día después de 15 días de almacenamiento en frío (0-2°C).

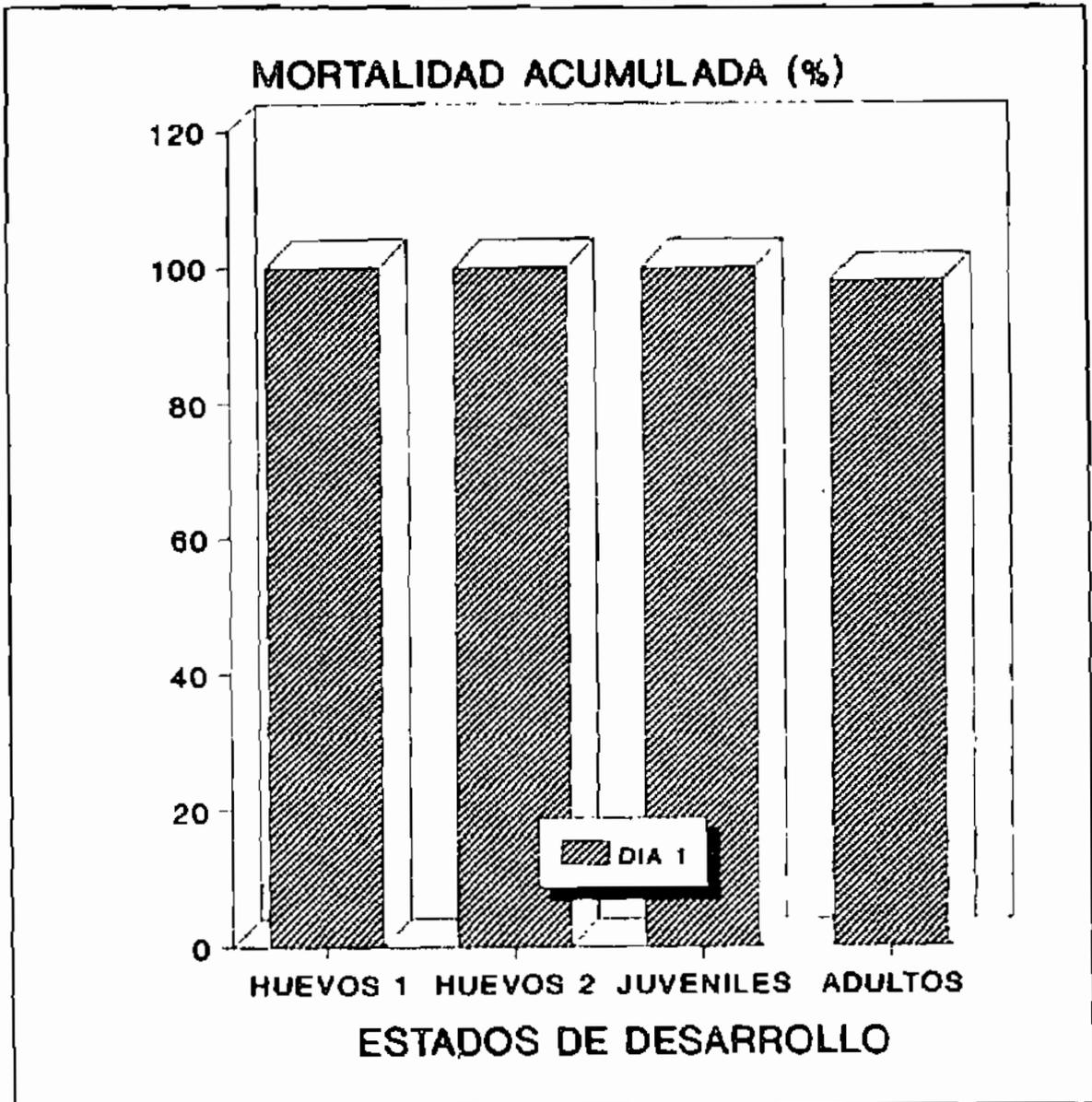
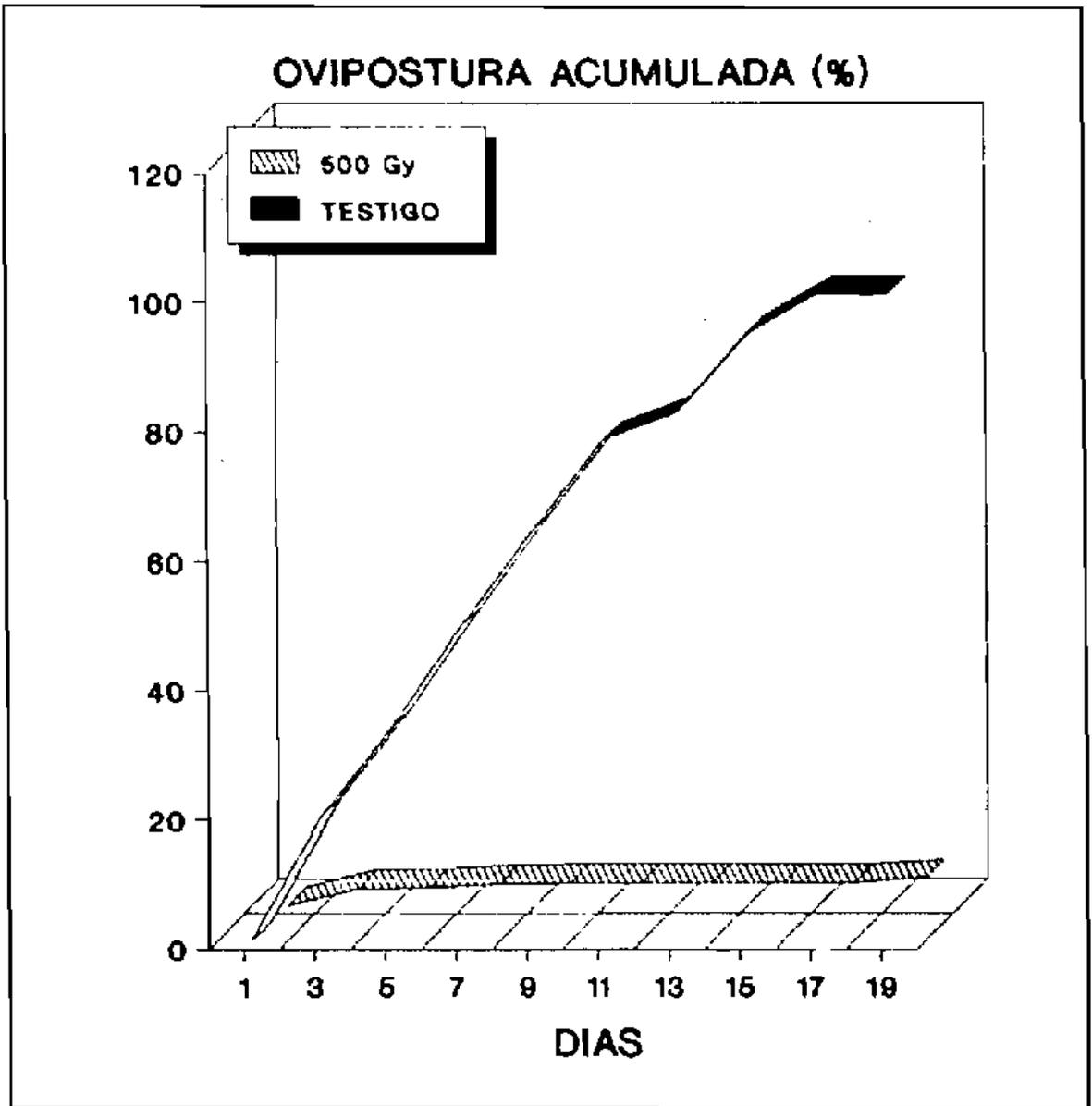


Figura 8.2. Mortalidad acumulada de cuatro estados de desarrollo de *Brevipalpus chilensis* tratados con dosis de 1000Gy de radiación ionizante después de prefrío de 24 h ( $0-2^{\circ}\text{C}$ ), un día después de 15 días de almacenamiento en frío ( $0-2^{\circ}\text{C}$ ).



**Figura 8.3.** Efecto de la radiación ionizante en la ovipostura acumulada de adultos de *Brevipalpus chilensis* después de 24 horas de prefrío ( $0-2^{\circ}\text{C}$ ), y 15 días de almacenamiento en frío ( $0-2^{\circ}\text{C}$ ) postirradiación.

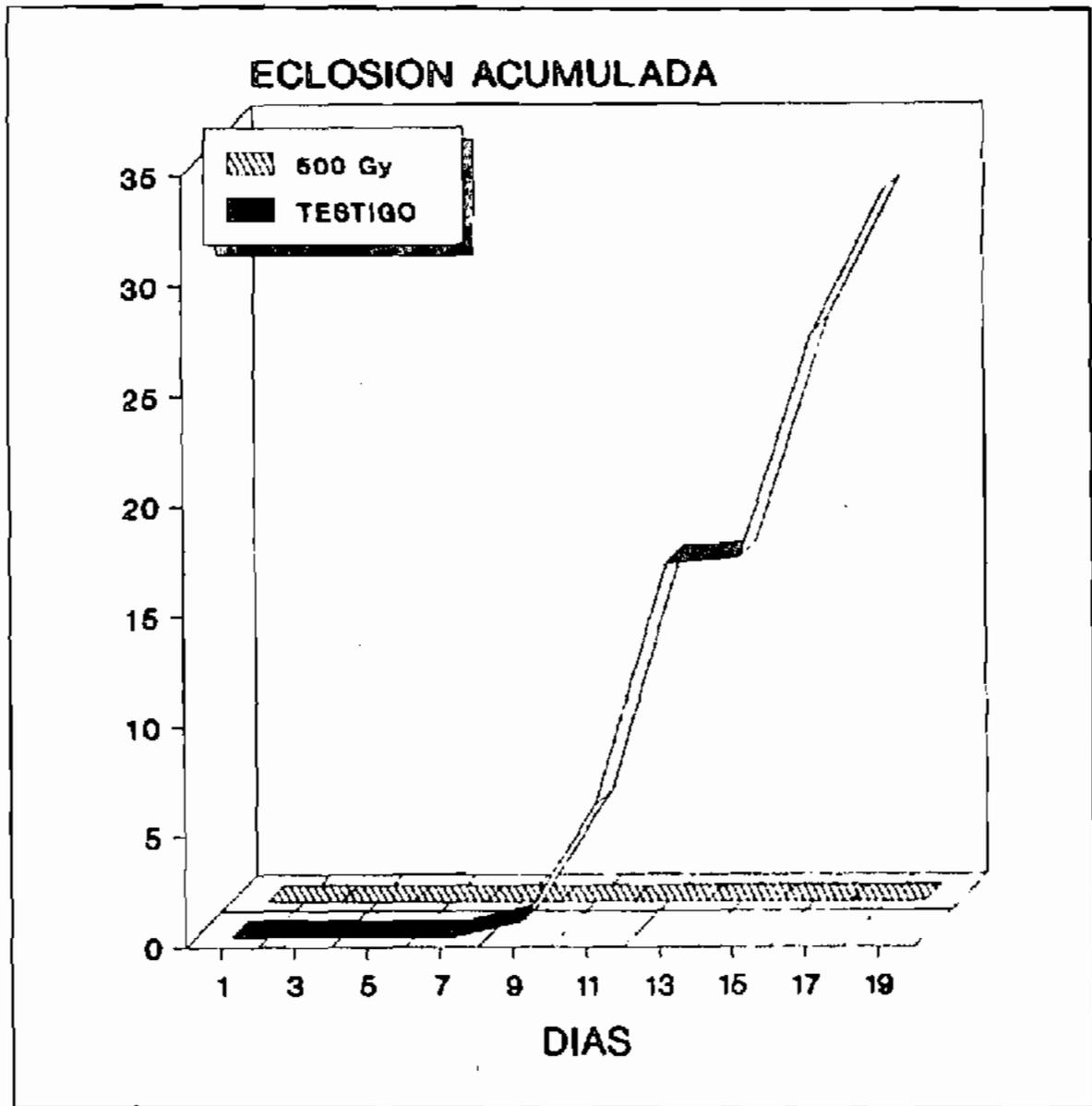


Figura 8.4. Efecto de la radiación ionizante en la eclosión acumulada de adultos de *Brevipalpus chilensis* después de 24 horas de prefrío ( $0-2^{\circ}\text{C}$ ), y 15 días de almacenamiento en frío ( $0-2^{\circ}\text{C}$ ) postirradiación.

Cuadro 8.2. Mortalidad acumulada (%) de adulto irradiado de Brevipalpus chilensis.

TRATAMIENTO (Gy)	15 DIAS*	20 DIAS*
Testigo	12	13,3
250	14,1	17,1
500	15,7	17,5
1000	18,6	23,2

\* Días (4°C) después de la aplicación.

Fuente : Sazo y Gerstle (1989).

### **8.9. Problemática actual y perspectivas del uso de esta técnica<sup>19</sup>**

Muchos de los problemas que debe encarar hoy la industria alimentaria es la contaminación microbiana, exceso de residuos químicos en algunos alimentos y la necesidad de encontrar procesos para el control cuarentenario en los mercados internacionales y regionales. La radiación es una alternativa conocida y técnicamente apta para solucionar estos problemas. Sin embargo, es un proceso que aún no se usa extensivamente. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, International Atomic Energy Agency) la irradiación de alimentos es un proceso aceptado en 40 países, se están operando 6-7 plantas y se está pensando implementar otras 40. Otro proceso idéntico es la esterilización por radiación que se usa comercialmente a través de todo el mundo. En Estados Unidos existen aproximadamente 40 lugares donde se tratan productos no alimenticios (por ejemplo elementos médicos y de cirugía, productos de higiene personal, materiales de envase, etc.) y algunos productos alimenticios (por ejemplo especias y hierbas) con motivos de esterilización microbiana.

Los intereses en la seguridad y salud pública se centran mayormente en los efectos causados por la absorción de la energía radiactiva y en particular en el potencial cambio de la composición química del alimento (por ejemplo mediante la formación de productos radiolíticos tóxicos), disminución del valor nutricional (por ejemplo la destrucción de nutrientes y vitaminas esenciales).

---

<sup>19</sup> Manuel C. Lagunas-Solar.  
Crocker Nuclear Laboratory (Chemistry and Agriculture Program)  
University of California, Davis, California.

Estos intereses están siendo explotados por grupos activistas en EE.UU. que plantean al proceso como causante de cáncer y muerte. Un pequeño sector de los consumidores ha amenazado a la industria alimentaria estadounidense con realizar demostraciones públicas y boicotear sus productos. Sin embargo, recientes estudios indican un creciente apoyo a los alimentos irradiados y una buena disposición a comprarlos siempre que estén debidamente etiquetados.

Las acciones de los activistas ayuda a que los consumidores no adquieran alimentos irradiados, sino que prefieran alimentos más seguros. Esta situación se ve favorecida con la actitud de los medios de comunicación que toman una postura más sensacionalista que periodística responsable y además, por una actitud pasiva de la industria. Bajo esta influencia es comprensible que un tema de interés científico, técnico y económico se haya transformado en declaraciones políticas, psicológicas y emocionales.

La industria alimentaria estadounidense teme al activismo y a la controversia pública lo que afecta su enfoque hacia mejorar la calidad y seguridad de ciertos alimentos. Sin embargo, si la oposición del público es el único factor en juego se espera que esta posición cambie en el futuro.

Lagunas-Solar (1995) opina que existen otros factores que han afectado la aplicación de esta técnica como ciertas actitudes relacionadas con la radiación, por ejemplo :

1. Existe desacuerdo entre los científicos en relación al impacto técnico y económico del proceso.
2. La tendencia de algunos científicos a exagerar sus beneficios.

3. Hay problemas asociados con lugares para la operación e instalación del proceso.
4. La actitud pasiva de las agencias gubernamentales.

Los beneficios de la radiación y sus efectos en los alimentos deben estar dirigidos al público de modo de controlar la situación y alcanzar los intereses del consumidor. Se debe educar enfatizando que la investigación en radiación de alimentos de los últimos 50 años ha probado lo siguiente (Lagunas-Solar, 1995):

- La radiación puede resolver problemas de salmonelosis y otras enfermedades que se desarrollan en los alimentos (un problema que se ha conocido por varias décadas).
- La investigación ha confirmado que los productos irradiados son sanos, seguros de consumir y de buena calidad nutricional.
- 37 países aprobaron el proceso para varios alimentos y 24 países están actualmente comprometidos a usar algún nivel de radiación a escala comercial en alimentos específicos.
- No se ha encontrado efectos adversos en humanos que han consumido alimentos irradiados.
- Además, el método ha sido garantizado por la comunidad científica y la mayoría de las organizaciones de salud norteamericanas.

Para resolver esta situación se requiere que la industria se centre en ciertas aplicaciones donde la radiación tiene claras ventajas técnicas y económicas, y donde no se compromete la salud y seguridad pública.

Encuestas de mercado ayudarían a la aceptabilidad del producto por parte del consumidor.

Se deben entender clara y completamente los aspectos económicos que involucran el proceso de radiación con fuentes radioactivas (Cobalto 60) o con electrones generados eléctricamente y/o radiación por rayos X a partir de aceleradores.

Finalmente, deben participar representantes del gobierno y de la industria, pero más importante es que estos sectores deben formar parte de un esfuerzo conjunto e integrado de representantes científicos, administrativos e industriales para comunicar los intereses del público, para explicar el proceso de la radiación y aclarar conceptos erróneos.

## **9. ELEMENTOS CLAVES PARA LA ELIMINACION DEL USO DE BROMURO DE METILO EN LATINOAMERICA <sup>1</sup>**

### **9.1. Introducción**

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) están desarrollando un proyecto conjunto orientado a entregar información, y evaluar la eventual eliminación del uso de Bromuro de Metilo en la Región. El proyecto contempla la preparación de informes nacionales y de un consolidado regional, además de un seminario de intercambio de antecedentes.

Los productos de este proyecto serán antecedentes de gran utilidad para la Séptima Conferencia de las Partes del Protocolo de Montreal, en diciembre de 1995. En la Conferencia los países miembros deberán fijar calendarios de reducción y para la eliminación en la utilización de BM.

El presente documento identifica, a partir de los informes nacionales preliminares, y otros antecedentes, algunos aspectos claves a considerar al pensar en la eliminación de este fumigante en la región.

---

<sup>1</sup> Juan Francisco Fernández  
ODEPA, Ministerio de Agricultura.  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and The Caribbean.  
COLOMBIA - 1995.

## 9.2. Premisa y objetivo

Con el objeto de focalizar el análisis, y considerando que el Panel Científico Técnico estima que el BM tiene un ODP de 0,6, en este documento se parte de la premisa que todos los países quieren eliminar el uso de BM, tan pronto como sea necesario, dado el daño que éste causa en la capa de ozono. Por lo tanto, el objetivo del documento es identificar elementos claves para que la eliminación se realice minimizando los impactos económicos negativos.

En este contexto, se estima que para eliminar la utilización de BM, minimizando los costos se requiere contar con los siguientes elementos:

- a) Existencia de alternativas técnica y económicamente eficientes, en el contexto productivo y de dotación de recursos locales.
- b) Que sea posible realizar un proceso de transferencia y adopción de las tecnologías alternativas en plazos y costos aceptables para cada país.
- c) Que tanto las alternativas, como los plazos necesarios para implementarlas sean aceptados por los mercados consumidores.

Con el fin de analizar estos elementos en el contexto latinoamericano, a continuación caracterizaremos el ámbito en que se usa este producto en la región.

### **9.3 Contexto agrícola latinoamericano**

Todas las economías en Latinoamérica se encuentran en estrategias de desarrollo basadas en apertura comercial, incremento de las exportaciones, diversificación de la producción agrícola y tecnificación de ésta.

Un número importante de los cultivos y productos en que se utiliza BM son parte implícita en estas estrategias, es por ello que al estimar el impacto de la eliminación se debe ser cuidadoso para incorporar el efecto sobre la actividad potencial.

Forma parte de este contexto, las políticas de reducción del gasto público y la fuerte competencia por recursos de los programas orientados a los problemas de pobreza, salud y educación.

#### **9.3.1 Utilización de BM en Latinoamérica**

No es objetivo de este documento presentar exhaustivamente los usos que se le da al BM en Latinoamérica, sin embargo se intentará una caracterización, a partir de los datos preliminares de la encuesta PNUD, pues es necesario para identificar elementos claves en la eliminación de este fumigante.

En términos de cantidad, el principal uso de BM en todos los países de la Región, a excepción de Perú, es para la fumigación de almácigos, viveros y cultivos cubiertos. Existe una gran diversidad de cultivos tratados, pero predomina el uso en tomate, pepino y tabaco.

Los productos son comercializados en mercados nacionales y exportados. En la actualidad no existen suficientes antecedentes para estimar la proporción de las exportaciones que dependen del uso de BM. Sin embargo, cabe mencionar que es de significancia el incremento del uso en cultivos cubiertos, con gran utilización intensiva del suelo. Estos son, por lo general, productos hortícolas de alto valor relativo y parte del proceso de desarrollo y tecnificación de las agriculturas de la Región.

Aún cuando en las encuestas nacionales se mencionan algunos trabajos con alternativas, estas no se encuentran suficientemente difundidas ni han sido adecuadamente probadas en condiciones locales. Entre las más mencionadas, para el manejo de suelos se encuentran: la utilización de Manejo Integrado de Plagas (MIP), solarización, vaporización y productos químicos como Metam Sodium y Dazomet.

Por otra parte, en la mayoría de los países de la Región no existe información agregada que permita cuantificar y caracterizar los productores que utilizan Bromuro de Metilo. Sin embargo, es posible inferir que son usuarios, desde campesinos con pequeños predios, hasta grandes empresas exportadoras.

De igual forma, utilizan el fumigante productores de escasa a profusa formación técnica. En relación a número de productores, también es posible suponer que es importante. A modo de ejemplo, estimaciones preliminares indican que en Brasil existirían aproximadamente 90.000 productores de tabaco utilizando Bromuro de Metilo.

Las aplicaciones de BM con fines cuarentenarios son, también en términos de cantidad, las de segunda importancia en la Región. Más de 62

productos tienen este tipo de restricciones cuarentenarias en que el uso de BM es un tratamiento aceptado. Estas aplicaciones se realizan tanto para cumplir exigencias de mercados externos, como por regulaciones fitosanitarias nacionales. La importancia de estas aplicaciones varía de país en país pero es significativa desde la perspectiva de diversificación y uso de nichos más rentables, ante la caída de precios internacionales de productos de exportación tradicionales. En algunos casos su importancia viene dada más por el valor de las exportaciones que por la cantidad utilizada. A modo de ejemplo, el valor de las exportaciones chilenas de uva tratada con BM es aproximadamente US\$ 300 millones anuales, aún cuando no se utilizan más de 45 toneladas, para estos fines en el país.

Los tratamientos de post-cosecha no cuarentenarios, o de estructuras, aún cuando se realizan no parecen ser significativos en la Región.

#### **9.4. Elementos para la eliminación**

A partir de los antecedentes presentados, se desprenden los siguientes elementos necesarios a considerar para lograr una eliminación del uso de BM de bajo impacto económico.

##### **9.4.1.- Existencia de Alternativas Adaptadas y Difundidas**

En primer lugar, es necesario que todos los países cuenten con alternativas tecnológicas probadas localmente. Para esto se requiere realizar programas de investigación, prueba y adaptación a nivel local de las alternativas conocidas, abarcando todo el espectro de cultivos que actualmente utiliza BM en Latinoamérica.

Conforme a las encuestas presentadas, en varios países existe estudios sobre alternativas o se utilizan algunas de ellas. Sin embargo, la información se encuentra dispersa y no es objeto de programas de difusión. Es por lo tanto conveniente desarrollar programas de sistematización de esta información y validación en diversas condiciones.

Como ha sido expresado en numerosos informes, no existe una alternativa que sustituya en todas sus características al BM, y todas las existentes son de espectros más restringidos. Es esta especificidad la que fundamenta la necesidad de investigación y adaptación a condiciones locales de las tecnologías alternativas.

Cabe mencionar, como elemento importante para fijar el calendario de eliminación del uso de BM, que este proceso es relativamente largo, y su duración varía en función de los resultados obtenidos en las primeras etapas.

Adicionalmente, para dar inicio al proceso son necesarios recursos financieros para el establecimiento de los correspondientes programas en los institutos de investigación, universidades, los cuales en la mayoría de los casos cuentan con recursos humanos calificados.

En los casos en que no existan alternativas de probada eficiencia se requiere identificarlas, actividad que demanda períodos de investigación significativamente más largos que los mencionados anteriormente, al igual que cantidades de recursos mayores.

A nivel regional, y específicamente en fumigación de suelos, es de mayor importancia trabajar en validación de alternativas para la fumigación de almácigos, viveros y áreas con cultivos cubiertos. Debiendo considerarse

especialmente los cultivos de tomate, pimiento y tabaco, por ser estos los predominantes.

La información disponible al momento de la preparación de este documento no permite identificar todas aquellas aplicaciones sin alternativas viables en el corto plazo. Sin embargo, es lógico esperar que en usos con fines cuarentenarios surjan dificultades de sustitución por los altos niveles de efectividad exigidos por las regulaciones fitosanitarias.

#### **9.4.2.- Modificación de las Regulaciones Cuarentenarias.**

Las regulaciones cuarentenarias son piezas importantes de las políticas de desarrollo agropecuario en todos los países. En ocasiones porque regulan el ingreso a mercados externos, y en otras por su rol en la mantención de la sanidad ambiental, elemento importante para la productividad y mantención de costos de producción bajos. Es tal vez por esto que en la Región un total de más de 62 productos, 20 perecibles y más de 42 no perecibles, son fumigados por razones cuarentenarias.

Para la eliminación del uso del BM es necesario contar con alternativas eficientes para todas las aplicaciones cuarentenarias, como también con la aceptación de éstas por las autoridades fitosanitarias nacionales como extranjeras, y realizar las respectivas modificaciones en las normas.

Para cambiar las normas se requiere, primero, que existan alternativas que cumplan con altas exigencias de efectividad, esto es, que a nivel experimental hayan sido identificadas. Sólo con posterioridad es posible demostrar ante las autoridades la efectividad, siguiendo procedimientos en ocasiones establecidos legalmente, además de probar la factibilidad de

controlar y fiscalizar su utilización. Lo anterior puede llegar a ser un proceso de larga duración y con múltiples complicaciones.

Para modificar las regulaciones cuarentenarias exigidas para la exportación, es necesario establecer una negociación entre las autoridades fitosanitarias de ambos países, debiendo el país exportador probar la efectividad de la alternativa propuesta. En estas situaciones los tiempos requeridos para concretar las modificaciones legales pueden ser particularmente largos, por el carácter internacional, como también porque para el país importador existen pocos incentivos para realizar la modificación, y todo tipo de cambio importa riesgo. Cabe mencionar que este tipo de regulaciones son frecuentemente utilizadas como barreras extra arancelarias al comercio.

Por otra parte, de establecer el Protocolo de Montreal calendarios más cortos para la eliminación de uso de BM en los países desarrollados que en los en desarrollo, es obviamente indispensable asegurar mecanismos para autorizar la utilización del BM para la exportación hacia países desarrollados, de productos que tienen este tratamiento como obligatorio.

#### **9.4.3.- Difusión y Transferencia de Tecnologías Alternativas.**

La eliminación en el uso del BM, con bajos costos económicos, sólo será posible si se diseñan programas adecuados para difundir y transferir las tecnologías alternativas. En el caso de restringir la utilización sin entregar previamente alternativas, los costos que deberán asumir los agricultores ajustando sus producciones o identificando individualmente alternativas pueden ser muy significativos. Tanto en las producciones exportables, fácilmente cuantificables, pero también en las destinadas a consumo interno,

donde la carencia de estadísticas tiende a esconder la magnitud del efecto.

La difusión y transferencia, aún cuando no es un proceso complejo, puede diferir del proceso ocurrido en la transferencia tecnológica para la sustitución de CFC, y debe considerar las características propias de los agricultores. Es decir, debe alcanzar un gran número de productores, que además se encuentran geográficamente dispersos. Considerar la diversidad de información técnica, como también la característica resistencia al cambio de los agricultores.

Es fundamental considerar que estos procesos pueden ser lentos, tanto por los ciclos productivos como por velocidades de adopción de tecnologías.

#### **9.4.4.- Incentivos para la Sustitución.**

La existencia de alternativas y programas de difusión no son condiciones suficientes para el logro del objetivo planteado. Es además necesario que, en el contexto de una estrategia nacional, se establezcan instrumentos de fomento y regulación que incentiven o fuercen la adopción de tecnologías alternativas.

En la medida que el BM se siga percibiendo como la alternativa más conveniente, por su relación beneficio-costos, la adopción de tecnologías alternativas será lenta y reducirá la eficiencia de programas de difusión. Cabe mencionar que el productor evalúa la relación beneficio-costos incorporando el riesgo asociado a la sustitución.

La definición de instrumentos a utilizar depende de la organización legal de cada estado, como de las preferencias por los instrumentos de

carácter regulatorio o netamente económicos.

En el contexto latinoamericano es importante considerar, que conforme a la información disponible, las posibles regulaciones al BM no son todavía un tema significativo al interior de los gobiernos. Lo anterior se refleja en la carencia de estadísticas, información y evaluaciones. Esto puede deberse a la percepción de que aún es un problema de muy largo plazo, y también en algunos casos a la ausencia de organizaciones de productores activos en la temática. Es importante modificar este aspecto para lograr el pronto establecimiento de los programas necesarios y realizar la sustitución aprovechando al máximo el tiempo disponible.

#### **9.4.5.- Prioridades en la Asignación de Recursos.**

Al analizar la posibilidad de establecer programas de investigación y sustitución, en los diversos países de la Región, es importante recordar que este tema difícilmente llegará a ser prioritario para la asignación de recursos, considerando que debe competir por estos junto a programas para la pobreza, salud, etc. Todos problemas del presente en la Región.

#### **9.4.6.- Restricciones de Mercados.**

Es posible que los calendarios de reducción y eliminación del uso del BM que se establecerán en la Séptima Reunión de Partes del Protocolo de Montreal, sean diferentes para los países desarrollados y en desarrollo.

Ante una situación de esta naturaleza, es importante para los países en desarrollo cautelar que sus productos fumigados con BM, dentro de los plazos acordados, no sean marginados de los mercados desarrollados.

Al ser posible establecer restricciones unilaterales al ingreso de productos tratados con BM, podría hacerse inoperante cualquier calendario diferido que se establezca, dejándose de considerar las condiciones especiales de los países en desarrollo reconocidas por el Protocolo.

Cabe mencionar que este es un tema de gran complejidad puesto que podrían existir en los países desarrollados presiones de productores alegando "dumping" ambiental, o sencillamente una discriminación por parte de los consumidores.

#### **9.4.7.- Acceso a Suministros de BM.**

El Código de Conducta respecto de Pesticidas de FAO establece que no podrán ser exportados a países en desarrollo pesticidas que se encuentren prohibidos en el país de fabricación. Este es un elemento que debe ser analizado y flexibilizado en el evento que el calendario de eliminación del BM sea diferente para países desarrollados y en desarrollo. De lo contrario, considerando que la mayor parte de la producción proviene de países desarrollados, y no existe ningún productor en la Región, se podrían producir dificultades de acceso a BM, con la consiguiente pérdida económica.

Por otra parte, al decrecer el consumo mundial de BM por las regulaciones que establezca el Protocolo, es posible que se altere la estructura del mercado generándose monopolios, o situaciones de discriminación en precios que es importante evitar.

### 9.5. Conclusiones

Para la sustitución del uso de BM en la Región minimizando las pérdidas económicas de la agricultura, parece conveniente fijarse plazos tan largos como las condiciones de la capa de ozono lo permitan. Lo anterior considerando la necesidad de establecer programas de validación local de alternativas, identificación de algunas inexistentes y realización de programas de difusión. Adicionalmente es necesario que se asignen los recursos que estos programas requieren.

Por otra parte, en el Protocolo se debe incluir los acuerdos pertinentes para cautelar que las condiciones de acceso a los mercados no se vean deterioradas, por decisiones ajenas al espíritu del documento.

## 10. PLAN ESTRATÉGICO PROPUESTO PARA LA INDUSTRIA FRUTÍCOLA CHILENA

Considerando lo planteado en el presente informe, se propone un plan estratégico, basándose además en opiniones vertidas por el sector exportador, que engloba diferentes alternativas para continuar fumigando o en su defecto eliminar el BM como fumigante.

Previo a esto, a continuación se definen algunos conceptos básicos y posteriormente se señalan los tipos de protocolos de investigación, para tratamientos cuarentenarios y certificación de especies basados en tratamientos físicos, químicos o sin el uso de algún tipo de compuesto químico. También se hace un breve análisis y presentación de las alternativas para la fumigación con BM (propuestas anteriormente en el presente informe) para elaborar el planteamiento final.

### 10.1. Conceptos Básicos

Para el desarrollo de un tratamiento cuarentenario, es necesario tener presentes los siguientes conceptos:

#### 10.1.1. Hospedero Cuarentenario

Un hospedero cuarentenario es cualquier cultivo o producto que, en uno o más de sus estados de crecimiento, puede ser infestado en forma natural a nivel de campo por una plaga cuarentenaria, y en la cual ésta puede completar su ciclo, o utilizar el producto como medio de transporte, estableciéndose como una plaga de importancia económica en un lugar donde no existía.

### **10.1.2. Tratamiento Cuarentenario**

Un tratamiento cuarentenario es cualquier acción individual o combinada, la cual, por sí misma, puede ser utilizada para eliminar plagas de importancia cuarentenaria de productos hospederos y garantizar seguridad de tipo cuarentenario. Por ejemplo:

### **10.1.3. Sistema Cuarentenario**

Es un sistema de aproximación, en el cual se utilizan varias acciones individuales o tratamientos, de manera secuencial, de tal forma que los efectos combinados de todas las acciones o tratamientos, garantizarían la seguridad cuarentenaria. En otras palabras, consiste en la utilización en forma combinada de dos o más tratamientos cuarentenarios permitidos. Un ejemplo de ello es la fumigación con BM seguida de refrigeración.

### **10.1.4. Seguridad cuarentenaria**

La seguridad cuarentenaria es el grado de confianza con el cual se puede usar un tratamiento sistema cuarentenario, para eliminar las pestes de los productos hospederos, garantizando así que las plagas cuarentenarias no pueden llegar a establecerse donde estas no existen.

La seguridad cuarentenaria asume que los factores claves, necesarios para la reproducción, han sido considerados.

El concepto de seguridad cuarentenaria, debe considerarse en el planteamiento de todo protocolo general de investigación para tratamientos cuarentenarios y certificación de especies.

### **10.1.5. Método estadístico de seguridad cuarentenaria**

El criterio estadístico que se ha considerado apropiado para garantizar seguridad cuarentenaria es el "Probit 9", el que es un planteamiento estadístico que deduce que de una población de 100.000 individuos, no más de 3 podrían sobrevivir después del tratamiento cuarentenario, con un nivel de significación del 95%, el cual de una tasa de mortalidad de 99,99683%.

El uso del "Probit 9" determina que el total de las poblaciones tratadas debe ser igual a 100.000 o más, efectuándose 3 o más repeticiones, en las cuales no se deben detectar más de 3 sobrevivientes.

### **10.2. Tipos de protocolos de investigación para tratamientos cuarentenarios y certificación de especies.**

Cada trabajo o desarrollo científico que pretenda buscar alternativas de tratamientos cuarentenarios para Estados Unidos, debe ceñirse a las especificaciones que señala el USDA. Este organismo describe cinco tipos de modelos generales de protocolos de investigación para tratamientos cuarentenarios y certificación de especies, que se presentan a continuación.

Ellos representan sólo lineamientos generales y necesitan ser especificados para cada país, dependiendo de la especie cuarentenaria, variedad y tipo de tratamiento de que se trate.

#### **10.2.1. Tratamientos Cuarentenarios Simples**

Son tratamientos convencionales, individuales, tales como la fumigación, refrigeración, inmersión en agua caliente y otros, los que por sí mismos proporcionan seguridad de tipo cuarentenaria.

La investigación debe ser dividida en ensayos de laboratorio a escala o ensayos básicos y ensayos confirmatorios a gran escala.

Los ensayos básicos son aquellos que se realizan a pequeña escala, con un número determinado de todos los estados de desarrollo del insecto y cuyos resultados, analizados estadísticamente, permiten hipotetizar los parámetros necesarios para lograr seguridad cuarentenaria. Estos ensayos deben concluir con la detección del estado de vida del insecto más resistente al tratamiento y la dosis mínima letal que causa el 100% de mortalidad de dicho estado, bajo las condiciones probadas. Basándose en el análisis de los resultados, se debe proponer un tratamiento que proporcione seguridad cuarentenaria, el que debe corroborarse en el ensayo comercial.

El ensayo comercial o confirmatorio, se realiza con un gran número del estado de desarrollo más resistente del insecto (generalmente con un mínimo de 100.000 individuos), bajo condiciones actuales o simuladas de comercialización, que permitan corroborar la hipótesis de los ensayos básicos.

Además la investigación debe incluir los datos de la evaluación de la fitotoxicidad, el análisis de residuos (cuando el tratamiento es químico), los criterios para medir la efectividad del tratamiento (basada sobre la mortalidad) y el análisis estadístico de todos los datos.

### **10.2.2. Tratamientos de radiación**

Los protocolos de investigación para el uso de la radiación como método de tratamiento cuarentenario, es similar al protocolo para tratamientos cuarentenarios simples, excepto que los ensayos confirmatorios no necesitan ser conducidos bajo condiciones comerciales actuales o

simuladas y que los criterios para medir efectividad no son mortalidad, propiamente tal, sino que la prevención de la emergencia de moscas con capacidad de volar.

Los efectos de la radiación sobre la calidad y fitotoxicidad de las variedades huéspedes, debería ser evaluada sobre 2 a 2 1/2 veces la dosis mínima que provee seguridad cuarentenaria, para compensar el nivel de dosis mínima/máxima de radiación comercial.

Para aprobar la radiación sobre una plaga específica en una variedad vegetal se requieren los siguientes datos :

- a. Si se desconocen, determinar las especies de significación cuarentenaria encontradas naturalmente en las especies vegetales.
- b. Determinar el estado de vida mas tolerante que podría ser encontrado al en el momento del tratamiento.
- c. Determinar la dosis de radiación mínima absorbida requerida para mantener la seguridad cuarentenaria.
- d. Confirmar que la dosis de radiación propuestas, proveerán seguridad cuarentenaria al probar con un gran número de insectos (100.000 unidades del estadio más resistente).
- e. Todos los datos deben ser analizados estadísticamente.

### 10.2.3. Tratamientos cuarentenarios múltiples

Los tratamientos múltiples consisten en una serie de dos o más tratamientos simples, los cuales, por si solos, no logran seguridad cuarentenaria, sino cuando se aplican en combinación.

Estos tratamientos pueden ser químicos, físicos o una combinación de ambos. Por ejemplo el uso de la fumigación como método químico en combinación con bajas temperaturas.

Los residuos, así como la respuesta fitotóxica de las variedades debe ser determinada para todos los tratamientos usados para proveer seguridad cuarentenaria.

Los datos de la investigación que se requieren para aprobar los tratamientos múltiples son los siguientes:

- a. Si se desconocen, determinar las especies de significación cuarentenaria encontradas naturalmente en las especies vegetales.
- b. Determinar el estado de desarrollo más tolerante de la plaga, para cada tratamiento propuesto.
- c. Determinar la respuesta de la plaga a las variables del tratamiento, para predecir el número máximo de sobrevivientes (con límites de confianza del 95%). En base a estos resultados se propone la combinación que proveerá la seguridad cuarentenaria.
- d. Confirmar que el tratamiento propuesto, la combinación ideal, bajo condiciones comerciales simuladas o reales, proveerá seguridad

cuarentenaria. Este ensayo requerirá un gran número de insectos, por lo tanto, el USDA sugiere una prueba preliminar a pequeña escala.

- e. Todos los datos deben ser analizados estadísticamente.

#### **10.2.4. Sistemas de certificación cuarentenaria**

Los tratamientos simples, los cuales no proporcionan seguridad cuarentenaria, pueden frecuentemente ser combinados secuencialmente, dentro de sistemas, los cuales proporcionan dicha seguridad.

Un ejemplo de un sistema es la combinación secuencial de la eliminación de plagas en el campo, de modo de establecer un nivel máximo de infestación de una plaga específica en el fruto a la llegada al packing, un proceso de clasificación para eliminar la fruta infestada, y una inspección de las frutas embaladas, para proporcionar seguridad cuarentenaria.

Este método difiere de un tratamiento cuarentenario múltiple en que, el procedimiento puede o no incluir un tratamiento convencional como uno de los componentes del sistema. En el desarrollo de un sistema, deben obtenerse los datos relevantes de residuos y fitotoxicidad. Se requieren los límites de confianza, basados en la sobrevivencia para cada paso del sistema de manejo de post-cosecha.

En este caso, los datos que se deben considerar son los siguientes:

- a. Si se desconocen, determinar las especies de significación cuarentenaria.

- b. Determinar el nivel de infestación y el estado de vida de la especie cuarentenaria, presente en el vegetal.
- c. Si se incluye un tratamiento convencional como un componente del sistema, determinar el estado de vida más tolerante de la plaga al tratamiento, y determinar la respuesta de la plaga a las variables de éste, estableciendo los parámetros que proporcionen una máxima mortalidad.
- d. Conducir el ensayo confirmatorio del sistema, bajo condiciones comerciales actuales o simuladas, usando un número suficiente de insectos que proporcionen seguridad cuarentenaria.
- e. Todos los datos deben ser analizados estadísticamente.
- f. Deben sugerirse estándares para cada componente del sistema principal, para proporcionar seguridad cuarentenaria.

#### **10.2.5. Concepto de No-Hospedero o No-infestable**

Algunos cultivos frescos no son hospederos de plagas cuarentenarias bajo condiciones naturales de crecimiento en campo. Otros productos frescos, son resistentes al ataque de insectos durante algún estado de maduración. Durante este período de resistencia, el producto vegetal puede ser un no huésped o no infestable. Si este período pudiera ser claramente definido y monitoreado o regulado sobre bases prácticas, el fruto podría ser cosechado y embarcado sin un tratamiento cuarentenario.

Por ejemplo, algunos cultivares de plátanos y paltas, son no infestables por moscas de la fruta, en el estado maduro-verde, al cual ellos son cosechados.

Los datos de investigación requeridos para fundamentar la aceptación del concepto no hospedero o no infestable, son los siguientes:

- a. Determinar las especies de significación cuarentenaria, encontradas naturalmente en el producto vegetal.
- b. Determinar el o los estados de madurez en los cuales el producto puede o no puede ser infestado por la plaga, considerando la pre cosecha, cosecha, post cosecha, madurez y senescencia del producto.
- c. Investigar los datos de infestación por la población natural de campo y la infestación forzada (en laboratorio).
- d. Determinar si hay variabilidad estacional para la infestación y la no infestación.
- e. Especificar los parámetros identificados, describiendo el no hospedero o no infestable.
- f. Determinar los estándares de seguridad cuarentenaria y condiciones para prevenir infestación donde la madurez de post cosecha es un factor para la infestabilidad.
- g. Desarrollar estadísticamente los niveles de confianza para la no infestabilidad, basados sobre el número de insectos presentes, si corresponde.
- h. Confirmar la categoría de no huésped o no infestable, bajo condiciones comerciales para proporcionar seguridad cuarentenaria, basado sobre el número de insectos presentes, si corresponde. Un gran número de fruta fresca debe ser examinada durante la estación de cosecha.

### 10.3. Consideraciones sobre el uso de bromuro de metilo como fumigante

Existen algunos aspectos que deben ser considerados como antecedentes de referencia que conforman un marco bastante rígido en lo que se refiere al uso del BM. Estos aspectos son los siguientes :

- Estados Unidos debería exigir en los próximos años un aumento en el porcentaje de fumigación en Chile, si el Bromuro no es rebajado a compuesto químico clase II. Al respecto, antecedentes proporcionados por la EPA confirman en forma tajante que las condiciones que motivaron la declaración del bromuro como producto químico clase I, se mantienen plenamente vigentes y nada hace pensar en un cambio en el corto o mediano plazo. Las normas que obligan a la EPA a restringir la producción e importación del BM, no afectan su uso inmediato debido a las reservas existentes que están contenidas en regulaciones del Clean Air Act.

Esta restricción al uso de bromuro de metilo en Estados Unidos, no necesariamente significa que otros países del mundo estén en la misma posición. De hecho, los países signatarios del Protocolo de Montreal, aceptan que la eliminación del uso general del bromuro se posterge y que esto no afectaría los tratamientos cuarentenarios involucrados en el comercio internacional.

- Los tratamientos cuarentenarios que usan BM no son reemplazables en Chile, por lo que no es posible su eliminación en el corto plazo.
- Por problemas de costo, principalmente, la aplicación de un sistema de recuperación y reciclaje del BM es inaplicable en Chile en el corto plazo.

- El tratamiento con BM es sólo requerido para cubrir las exigencias de las exportaciones a EE.UU., para uva de mesa, limones, castañas y eventualmente, tomate.

De acuerdo a lo expuesto se puede concluir que :

- Actualmente es imposible pensar en eliminar la fumigación en Chile, ya que no existe ningún procedimiento cuarentenario alternativo, para cumplir con las restricciones fitosanitarias impuestas a la uva de mesa, por los Estados Unidos.
- Debido a presiones ambientalistas en EE.UU. es posible que se deba aumentar la necesidad de fumigar en Chile. En caso de requerirse un aumento en la fumigación en Chile, se deberá aumentar el uso de la capacidad actualmente instalada, en lugar de pensar en nuevas instalaciones.

### **10.3.1. Alternativas para el Control de Emisiones de Bromuro de Metilo**

Teniendo presente la actual situación de la problemática del BM y la evolución que ha tenido en los últimos 3 años desde que se evidenciara la aplicación del Protocolo de Montreal, resulta del todo conveniente insistir en el tema del control de emisiones que se ha venido tratando como una manera de mantener el uso del BM como fumigante para aquellos productos de exportación que los requieren como condición de entrada.

#### **10.3.1.1. Técnicas para el control de emisiones orgánicas**

Son varias las tecnologías que se pueden aplicar para el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). Las más comunes son la

incineración térmica y catalítica, la adsorción y los sistemas combinados de adsorción, condensación y absorción.

La elección de cual sistema usar estará determinada por la concentración de los COV en las corrientes que se desea purificar, debido a que la eficacia depende de la cantidad de COV existentes. En el Cuadro 10.1 se muestra la concentración máxima para diferentes COV con las cuales es posible obtener una purificación del 95%.

### **Condensación.**

Esta técnica consiste en llevar la corriente de gas al punto de saturación con los contaminantes los que posteriormente son condensados.

La conversión de vapor a fase líquida puede ser realizada aumentando la presión a temperatura constante o reduciendo la temperatura a presión constante, o bien, por la acción combinada de ambas variables. Por lo general, los sistemas de condensación son operados a presión constante. El diseño y operación de un sistema de condensación está significativamente afectado por la concentración y el tipo de sustancia orgánica en la corriente tratada.

En muchas aplicaciones, los productos condensados pueden ser reciclados y reutilizados en los procesos y al mismo tiempo es muy frecuente el uso de la condensación como un pretratamiento de corrientes gaseosas con COV que vayan a ser sometidas finalmente a un proceso de adsorción o a una incineración.

Cuadro 10.1. Eficiencia de Control de COV en sistema de purificación de gases (Eficiencia : 95%)

Sistema de Tratamiento	Concentración de COV en la entrada (ppm)
Condensación	5.000
Adsorción en carbón activado	1.000
Absorción	500
Incineración Catalítica	100
Incineración Térmica	20

Existen algunas limitaciones para el uso en la separación de bromuro de metilo desde una corriente de aire, como ser que en ciertas concentraciones el BM en presencia de aire húmedo puede ser muy explosivo y ello ocurre alrededor del 12-14%. Otras desventajas es que se requieren concentraciones relativamente altas de COV y una mezcla simple de condensables.

#### **Adsorción.**

Este es un proceso en el cual la sustancia orgánica contaminante es retenida en la superficie de sólidos granulares. Las partículas sólidas de los adsorbentes son altamente porosas y tienen valores muy altos para la razón superficie/volumen. Las moléculas de gas penetran en los poros del adsorbente y entran en contacto con la gran área superficial disponible para la adsorción. Materiales como carbón activado, sílica gel, alúmina o resinas sintéticas, pueden ser utilizados como adsorbentes.

La adsorción es rápida y remueve esencialmente todos los compuestos orgánicos de la corriente gaseosa. Eventualmente, el adsorbente llega a saturarse con los vapores y la eficiencia de recuperación del sistema cae. En este punto, la corriente es dirigida a otro lecho que contiene adsorbente regenerado y el lecho saturado es entonces recuperado. También es posible operar en muchas aplicaciones con una sola línea, en la cual el adsorbente saturado es retirado y reemplazado por uno fresco y regenerado.

El ciclo de adsorción puede demorar desde dos horas hasta varios días, dependiendo de la concentración deseada a la salida y los parámetros de diseño del lecho del adsorbente.

El proceso de regeneración demora normalmente una o dos horas, incluyendo el tiempo necesario para secar y enfriar el lecho. Los lechos de adsorbente saturado pueden ser regenerados por vapor de agua, aire caliente, o una combinación de vacío y gas caliente. Sin embargo, la regeneración de un lecho nunca es completa, quedando siempre un remanente de orgánico después de cada regeneración. Después de un tiempo, el lecho no puede ser utilizado y debe ser reemplazado. En el caso del carbón, una media típica de vida es de 5 años.

Las ventajas de la adsorción en materiales como carbón activado o resinas sintéticas, incluye la recuperación del compuesto contaminante en una forma relativamente pura, lo cual permite reciclarlo y reutilizarlo. Además presenta una alta eficiencia de remoción en concentraciones de alrededor de 1.000 ppm de COV.

Desarrollo más recientes integran sistemas de adsorción con incineración, especialmente para corrientes con bajas concentraciones de contaminante (menores de 100 ppm) y altas razones de flujo (mayores de

20.000 pie<sup>3</sup>/min). El sistema de adsorción permite concentrar la emisión orgánica contaminante, con lo que disminuye el tamaño y el costo de combustible en el sistema de incineración.

### **Incineración Térmica.**

Este es un procedimiento que consiste en el uso de incineradores térmicos, algunas veces llamados de llama directa, en los cuales la eficiencia depende del contacto que se produce entre el contaminante y la llama de combustión a alta temperatura, a fin de oxidar los vapores orgánicos a CO<sub>2</sub> y agua. En el caso del bromuro de metilo habría bromo involucrado.

Este sistema consiste, generalmente, en una cámara recubierta de refractarios, los quemadores, un sistema de control de temperatura y un equipo recuperador del calor.

La operación es simple, los gases son precalentados y mezclados completamente con la llama del quemador, entrando en la zona de combustión en donde se completa el proceso de oxidación. Normalmente, la concentración de contaminante es demasiado baja para constituir por sí mismo un combustible, por lo que se usa habitualmente gas natural.

El problema de la combustión de compuestos halogenados es que se producen compuestos ácidos halogenados los que requieren de construcción especial y un depurador para minimizar la salida de gases ácidos halogenados.

La principal desventaja de la incineración térmica es el alto costo de las instalaciones. Para unos 20.000 pie<sup>3</sup>/min de flujo se requiere instalaciones de un costo total cercano a los 500 mil dólares. Una vez más el diseño es altamente determinante de la eficiencia y del costo de operación de estos aparatos.

### **Incineración Catalítica.**

Este es una técnica similar a la anterior, en el sentido de que el calor es utilizado para convertir los contaminantes orgánicos en CO<sub>2</sub> y agua. Sin embargo, debido al uso de catalizadores las temperaturas de operación son menores.

En la incineración catalítica, la corriente de gas previamente calentada se hace pasar por un lecho con catalizador, donde éste inicia y promueve la oxidación de las sustancias orgánicas sin que se le produzca una alteración permanente. El catalizador es un agente activo (platino, cromo, manganeso, níquel, óxidos de cobre y otros) y un sustrato inerte.

Para que el catalizador sea efectivo, los sitios activos deben estar accesibles. La producción de material polimerizado o la reacción con ciertas partículas de metal van cubriendo, con el uso estos sitios activos, por cual cada cierto tiempo, el catalizador debe ser activado removiendo dichos recubrimientos.

Las ventajas de la incineración catalítica radican en la casi completa destrucción de los contaminantes orgánicos, la no generación de residuos tóxicos y los bajos costos de mantención.

Una importante desventaja es su costo de instalación que puede ser un 40% superior a la incineración térmica. La principal desventaja desde el punto de vista de este trabajo es que los incineradores catalíticos están limitados en su uso con sustancias halogenadas.

### **Separación de gases por membranas.**

La aplicación industrial de la separación de gases mediante el uso de membranas es relativamente nueva, con no más de 15 años de antigüedad, sin embargo, esta tecnología ha probado ser la operación unitaria más importante generada en las dos últimas décadas. La tecnología de membrana, para las separaciones de corrientes líquido-líquido y líquido-sólido ha sido incorporada a los procesos industriales hace varios años, en la osmosis inversa, la ultrafiltración, la microfiltración y otras. Las ventajas de la tecnología de membranas en éstas áreas ha permitido el desarrollo de membranas apropiadas para la separación de gases.

Estas membranas son finas barreras que permiten el paso preferencial de ciertas sustancias. Están fabricadas predominantemente de materiales poliméricos, aunque también existen algunas membranas fabricadas de materiales cerámicos, de fibra de vidrio y también metálicas. Están formadas de un conjunto de láminas delgadas o fibras huecas que se empaican, generalmente en forma cilíndrica.

La tecnología de las membranas utiliza flujos cruzados o tangenciales, los que permiten un proceso continuo. La solución atraviesa en forma paralela a la superficie de la membrana. El sistema de presión conduce parte de la solución a través de la membrana, y desaloja el resto de las partículas, evitando la acumulación de materiales sobre la superficie de filtración.

La eficiencia de este sistema de membranas está determinada por la composición química de la corriente de alimentación, el diseño de la membrana, el área de membrana, el polímero de que está confeccionada la membrana, la temperatura del proceso, la presión aplicada, el nivel de recuperación deseado, las condiciones de flujo y el diseño del sistema de membranas (varias membranas en serie o en paralelo, por ejemplo).

Las ventajas de esta tecnología radican en la continuidad de los procesos, el bajo uso de energía, no hay cambios de fase ni variación de temperatura en los flujos, es un diseño modular, bajos requerimientos de mantención, no existen reacciones químicas, por lo tanto no hay alteración de los contaminantes. Además, el nivel de inversión es relativamente bajo y se pueden usar pequeños tamaños, para volúmenes pequeños de gas.

Al tratar de implementar un sistema de descontaminación gaseosa con utilización de membranas, se debe contar con la certeza de que existe una alternativa aplicable al sistema a tratar y que entregue las concentraciones de contaminantes menores o iguales a los máximos permitidos en la corriente de salida del sistema.

### **Radiación Ultravioleta con ozono.**

El uso de radiación ultravioleta y ozono, constituye una alternativa válida para la descontaminación de los efluentes gaseosos. Este sistema acrecienta el poder de oxidación del ozono y por lo tanto incrementa la velocidad y la eficiencia de la reacción.

El proceso UV/ozono está generalmente restringido a corrientes de desecho con un 1% o menos de contaminación orgánica. Debido a que el ozono no es un oxidante selectivo, la corriente deberá contener en forma preponderante el compuesto que interesa eliminar.

Este proceso de descontaminación tiene costos de inversión relativamente más altos que los anteriormente detallados.

Hasta el momento el tratamiento UV/ozono, no se ha aplicado a corrientes gaseosas y su uso industrial se ha limitado a la descontaminación

de efluentes líquidos. Se ha empezado a investigar la posible formación de radicales libres, debido a las reacciones de oxidación, y que podrían afectar el medio ambiente.

#### **10.3.1.2. Control de emisiones de bromuro de metilo utilizado en procesos de fumigación de productos hortofrutícolas.**

Se están analizando las posibilidades de controlar las emisiones de BM, de las corrientes resultantes de las cámaras de fumigación (en Chile), pensando en la posibilidad de la eliminación del uso de este fumigante en Estados Unidos a partir del 1 de enero de 2001. Esto basado en la letra del Protocolo de Montreal, suscrito por Chile y los Estados Unidos, que permite el uso potencial de este compuesto hasta pasado el 2010, con fines cuarentenarios.

De este modo, se están considerando algunas acciones en las cuales Chile podría desarrollar un plan de futuro, como son:

- Evaluar técnica y económicamente los procesos que permitan controlar las emisiones de bromuro de metilo.
- Evaluar productos químicos comerciales que puedan, eventualmente, sustituir como fumigantes al bromuro de metilo; en especial interesa determinar una tecnología de aplicación, su efectividad y el efecto fisiológico en el producto tratado.
- Analizar las metodologías que reduzcan el nivel de infestación a nivel de huerto, transporte y manejo de packing.

Al respecto entonces se hace necesario desarrollar un plan estratégico

que será resumido más adelante. A continuación se muestran algunas de las posibilidades en materia de control de emisiones que presentan algún potencial de uso.

### **Evaluación preliminar de las emisiones de BM.**

Actualmente en Chile, una vez tratada la fruta con bromuro de metilo, éste es descargado directamente a la atmósfera previa una dilución en aire para llegar a los valores de emisión permitidos por la Norma Chilena, la cual acepta hasta 500 ppm en la descarga de gases a la atmósfera a una altura mínima de emisión de 18 m por sobre el nivel de trabajo. Como referencia se puede decir que el valor de umbral límite (TLV) para el bromuro de metilo presente en el aire en un ambiente de trabajo es de 15 ppm. Este valor fue adoptado por el ACGIH (American Council of Governmental Industrial Hygienists), en 1974, y se considera que es un valor que permite trabajar sin riesgo para la salud humana, con una exposición a dicha concentración por 40 horas semanales.

Vale la pena advertir que en los tratamientos cuarentenarios en Chile las cámaras se abren y se permite el ingreso de operarios cuando el nivel de bromuro en ellas no supera las 4 ppm.

Desde el punto de vista técnico, es factible obtener, con los métodos tradicionales utilizados para el control de emisiones de sustancias orgánicas volátiles, un valor máximo de 15 ppm para la concentración de bromuro de metilo en la descarga de gases a la atmósfera. Esto debe ser evaluado económicamente y confrontado con otras alternativas de solución del problema fitosanitario para los productos agrícolas de exportación. Si se demuestra la gravedad que tiene para la capa de ozono la emisión atmosférica de bromuro de metilo, los límites permitidos de emisión pueden ser tan bajos

como 8-20 ppt (partes por trillón, o por 10<sup>-12</sup>), valores que desde el punto de vista técnico y económico, se torna inmanejable.

Sin embargo, si ocurre este hecho, lo más probable es que el producto sea discontinuado en su producción y por tanto la solución debe orientarse a una sustancia sustituta, y/o a mejorar el control del problema fitosanitario en toda la cadena de producción y manejo de los productos hortofrutícolas.

Por lo tanto, desde un punto de vista técnico, se deben orientar los esfuerzos en el corto plazo a reducir en forma real las emisiones de bromuro de metilo a la atmósfera desde las 500 ppm actuales a valores del orden de 15 ppm, sin solución.

#### **Proceso de Condensación.**

De acuerdo a los antecedentes recopilados la eficiencia en el proceso de condensación se ve afectada por las concentraciones en que se encuentra la fracción COV condensable.

En las cámaras de fumigación la concentración de bromuro de metilo puede alcanzar concentraciones del orden de 18.000 ppm, pero desalojar el gas con una corriente fresca de aire, implica que a la entrada del sistema de descontaminación la concentración será menor. La implementación de un proceso de condensación es recomendable si la dilución del contaminante es tal que la concentración no baje de 5.000 ppm.

Se debe realizar un estudio teórico de la factibilidad real y las condiciones requeridas para lograr la separación del bromuro de metilo de la mezcla gaseosa aire-agua-bromuro de metilo.

Se debe considerar la separación del agua que acompañará al bromuro, cuando el agua sea licuada, así como su tratamiento posterior antes de ser desechada, debido a que el compuesto es parcialmente soluble en ella.

Como resultado del proceso de condensación las concentraciones de bromuro de metilo en la corriente gaseosa de salida, será del orden de las 250 ppm, por tanto, necesariamente esta etapa deberá ser seguida por un proceso que disminuya aún más la concentración del contaminante orgánico.

#### **Proceso integrado de Adsorción-Absorción.**

Existen referencias sobre patentes industriales de tratamientos de gases residuales de fumigación realizadas con bromuro de metilo.

El proceso consiste en hacer pasar la corriente gaseosa a través de un lecho de carbón activado. Luego el bromuro de metilo es desorbido desde el carbón activado por calentamiento, en presencia de nitrógeno o de algún inerte y disuelto en metanol.

A la solución resultante se le hace burbujear Bromo en presencia de Fósforo o Azufre para producir bromuro de metilo con un 99% de pureza, el cual puede ser reutilizado en el proceso de fumigación.

Se hace necesario adaptar este proceso a la realidad nacional, mediante la investigación de las siguientes variables:

- Concentración de bromuro de metilo en la corriente de entrada
- Temperatura de Adsorción -

- La razón masa de carbón activado/velocidad de flujo de la corriente gaseosa, para obtener valores de concentraciones de bromuro de metilo del orden de 15 ppm
- Tiempo de adsorción
- Temperatura de desorción
- Razón masa de metanol/masa de bromuro de metilo en la etapa de absorción
- Razón de fósforo o azufre y bromuro utilizado en la reacción química utilizada para la regeneración del bromuro de metilo
- Tiempo de la reacción química.

La etapa de reacción química puede estar a cargo de alguna empresa química, de manera tal que sea ella la que use las soluciones de bromuro de metilo en metanol para producir bromuro de metilo que pueda ser usado en fumigaciones ulteriores. Este es un problema importante ya que ello implica que las exportadoras, poseedoras de las cámaras de fumigación, se tendrían que convertir en empresas químicas o asociarse a alguna de ellas.

Existen algunas referencias en las cuales se menciona que el adsorbente es sílica gel, sin explicar la aplicación industrial del método.

El equipo denominado Bromosorb, descrito en el apartado 7.2.1., también se basa en el proceso de adsorción-absorción.

Uno de los problemas que se han visualizado en este tipo de sistema es que de acuerdo a las regulaciones del USDA para la fumigación de fruta con fines cuarentenarios se debe usar BM 100% puro o muy cercano a ello. Se ha planteado que el BM recuperado no está completamente puro y por lo tanto las impurezas influirán en la efectividad del tratamiento. Este es un planteamiento de los fabricantes de bromuro, como una forma de desestimar la utilidad del sistema en estudio.

Cabe destacar que en estos momentos se encuentra en Chile un prototipo de esta instalación en espera de financiamiento operativo para desarrollar algunas pruebas técnicas que permitan la evaluación económica y determinar la factibilidad de su aplicación en las condiciones nacionales. Un gran escollo a la factibilidad de esta idea para Chile es el costo de la inversión, imposible de considerar siquiera para su aplicación masiva en las más de 200 cámaras de fumigación existentes en el país.

#### **Proceso de absorción con reacción química.**

Al respecto cabe mencionar tres procesos alternativos para el tratamiento de gases residuales de fumigación con BM.

Gases residuales que contienen BM, se tratan con etanolamina en presencia de un hidróxido alcalino, y los productos obtenidos, bromuro alcalino y derivados de colina, son separados y recuperados por extracción con solvente y/o intercambio iónico.

Una variación al método anterior es usar un derivado de amina alifática como es la etilenamina para remover el bromuro de metilo gaseoso. Los productos obtenidos son combinados con sales del ácido carboxílico, recuperándose el bromo como bromuro de sodio.

La corriente gaseosa es tratada con dietanolamina en presencia de hidróxido de sodio, resultando bromuro de sodio y la sal cuaternaria de amonio de dimetildietanolamina, la cual puede ser extraída con un solvente. La sal cuaternaria es tratada con hidróxido de sodio para dar dimetiletanolamina.

Según el análisis preliminar realizado, los métodos basados en la absorción con reacción química, presentan mayores posibilidades de implementación y existen referencias de procesos industriales patentados.

#### **10.3.1.3. Otros tratamientos sin el uso del Bromuro de Metilo**

Existen una serie de tratamientos de tipo físico los cuales se utilizan actualmente como tratamientos cuarentenarios para el control de insectos en postcosecha y otros que presentan buenas posibilidades como tal, entre estos cabe mencionar los siguientes:

##### **Altas temperaturas.**

El vapor y el agua caliente han mostrado ser efectivos en el control de moscas de la fruta en mangos, papayas y plátanos. Son tratamientos adecuados para productos que en alguna etapa de maduración son tolerantes a algún rango de temperatura.

##### **Bajas temperaturas.**

Las bajas temperaturas también han resultado ser efectivas contra moscas de la fruta. En estos tratamientos se exige un estricto monitoreo de las temperaturas en las instalaciones de frío requeridas para certificar estos tratamientos. Por ejemplo Japón exige un tratamiento de frío para la uva

chilena de 12 días a 0°C y para el kiwi 14 días, porque supone la existencia de mosca de la fruta.

### **Encerado.**

El encerado como tratamiento cuarentenario fue recientemente aprobado por el USDA específicamente para ser aplicado en chirimoyas para ser exportadas a EE.UU., contra Brevipalpus chilensis. Este tratamiento consiste en el recubrimiento con cera del producto, bajo el cual el ácaro y sus diferentes estadios de desarrollo mueren por asfixia.

### **Radiación con rayos gama.**

Esta tecnología ha sido probada ampliamente como tratamiento cuarentenario, teniendo el inconveniente de su alto costo. Consiste en la exposición del producto a una fuente de radiación, hasta que este absorba el nivel requerido de rayos gama. El uso exitoso de esta tecnología esta basado en determinar el nivel de radiación que inactiva a los insectos pero que es tolerado por el producto. El interés por la radiación ha aumentado desde que la FDA aprobó (abril 18, 1986) su uso en alimentos con dosis mayores a 1KGy (100 krad). Sin embargo se debe considerar que algunos productos sufren efectos negativos con dosis menores de radiación.

### **Atmósferas controladas.**

Esta es una de las tecnologías que se vislumbra con potencialidades de ser utilizada en tratamientos cuarentenarios. Consiste en someter al producto a diferentes concentraciones atmosféricas que son distintas a las del aire. Por lo general se aumenta el nivel de CO<sub>2</sub> y disminuir la concentración de oxígeno.

### **Procedimientos aceptados por el USDA.**

Considerando las necesidades de dar cumplimiento a las normas de tratamientos fitosanitarios exigidos por los EE.UU. existe un programa fitosanitario cooperativo en el que participan organismos de ambos países. Las entidades participantes son el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) como representante del gobierno norteamericano y por Chile participa el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), además de la Asociación de Exportadores de Chile.

Los procedimientos cuarentenarios establecidos para los productos hortofrutícolas chilenos que se exportan a los Estados Unidos son los siguientes:

**Inspección fitosanitaria.** Consiste en la inspección bajo lupa de una muestra determinada del producto. El sistema de muestreo para manzanas y peras, ya sean paletizadas o en bins, es en base a la tabla biométrica que estipula los niveles de inspección (Cuadro 10.2).

Para otras especies, el nivel de inspección es el 2% del total de la partida. En el caso de bins, sin embargo, un mínimo de 2 bins deben ser muestreados aunque se exceda el límite del 2%.

A este procedimiento son sometidas casi todas las especies hortofrutícolas con excepción de la chirimoya, uva, limones y castañas.

**Encerado.** El encerado es un tratamiento cuarentenario utilizado exclusivamente para el control de Brevipalpus chilensis en chirimoyas con destino a los EE.UU. Este procedimiento fue aprobado recientemente por el USDA.

Cuadro 10.2. Tabla biométrica.

Tamaño de la partida	Tamaño de la muestra
1 - 2000 cajas	30 cajas
2001 - 10000 cajas	50 cajas
Más de 10000 cajas	100 cajas

#### 10.4. Plan estratégico

Considerando la información anterior y el análisis realizado en este apartado, el plan estratégico propuesto considera lo siguiente:

- 1) Reestudiar el protocolo de fumigación de la norma T-101 actualmente en uso para uva de mesa, a fin de considerar lo siguiente:
  - a) Con relación a protocolos de investigación : Disminución de las dosis de bromuro de metilo utilizadas. Esto implica una serie de esfuerzos en investigar aspectos biológicos y de procedimiento para la elaboración de un protocolo aceptado por el USDA. Existen antecedentes derivados de investigaciones internas, desarrolladas por INTEC-CHILE en 1985, que muestran que dosis reducidas en un 15%, con respecto a la norma oficial, tienen un 100% de efecto de mortalidad sobre Brevipalpus chilensis.
  - b) Cooperar con la reducción de emisiones. Por ejemplo, una disminución de un 15% de las dosis de fumigación usadas actualmente, puede significar la disminución de un 19% de la emisiones a los niveles de fumigación de 1994-95.

- 2) Continuar con los programas para demostrar que la uva de mesa llega a los centros de embalaje con niveles mínimos de infestación. Esto requiere de análisis estadísticos, de los protocolos de sobrevivencia necesarios, de manera de cuantificar el riesgo cuarentenario de la plaga. Se debe además implementar sistemas de simulación al transporte y la comercialización en EE.UU. Esto será consecuencia de la aplicación de programas de control de campo de Brevipalpus chilensis eficientes, mediante el uso de acaricidas autorizados y registrados en el extranjero para su uso seguro.
- 3) Buscar, en forma efectiva y objetiva, nuevos sistemas para recuperar y eliminar el bromuro, sin tener que emitirlo a la atmósfera. Esto debe considerar nuevos sistemas de recuperación y tratamientos de menor costo que los propuestos hasta ahora.
- 4) Seguir con investigaciones tendientes a desarrollar nuevos métodos para el tratamiento cuarentenario sobre la base de: radiaciones, luz pulsada, tratamientos con bajas temperaturas, atmósferas controladas y modificadas, y de otros procedimientos no químicos tales como el desarrollo de los conceptos de no hospedero o no infestable cuando corresponda a la especie vegetal o la plaga en estudio.
- 5) Sentar las bases para el desarrollo de un proyecto de investigación que pueda ser financiado a través de mecanismos mixtos, de fondos concursables con participación importante del sector privado involucrado, para definir o adaptar las mejores alternativas al uso del bromuro de metilo que sean aplicables a nuestros productos.

## 11. CONCLUSIONES

Actualmente, no hay un tratamiento químico alternativo único o una combinación de ellos que puedan sustituir al bromuro de metilo en todas sus aplicaciones. Para los tratamientos de cuarentena no hay opciones técnicas factibles. Sin embargo, puede ser posible utilizar tratamientos alternativos y/o métodos de producción para sustituir la mayoría de las aplicaciones en control de plagas que tiene el bromuro de metilo. Alternativas potenciales incluyen prácticas culturales, Manejo Integrado de Plagas (MIP), otros pesticidas, tratamientos térmicos o con frío, atmósferas controladas y radiación. Las opciones deben ser adaptadas a las condiciones climáticas, técnicas particulares de cosecha, disponibilidad de recursos y plagas específicas. Diferentes alternativas tendrán que usarse para distintos cultivos, productos y situaciones.

Es importante recordar que el uso de las opciones al bromuro de metilo, en países del Artículo 5 no debe limitar la rentabilidad de la producción agrícola. Adicionalmente, es esencial que otras técnicas de control para plagas específicas, sean aceptadas por los países importadores como tratamientos admisibles.

Las exportaciones chilenas de uva de mesa, y otras especies que requieren tratamiento con BM como condición de entrada al mercado norteamericano, podrían verse seriamente afectadas en el caso de que EE.UU. - por disposición de la EPA - prohibiera la fumigación de productos hortofrutícolas en ese país, a partir del año 2001.

Ahora, en la eventualidad - poco probable - que permitieran sólo la fumigación de frutos norteamericanos, para trasladar de un estado a otro o a un tercer país, igualmente tendríamos serios problemas.

Sin embargo, se debe señalar que el uso de bromuro de metilo para tratamientos cuarentenarios y de pre-embarque se encuentra exceptuado de control, tanto para los países del Artículo 5 como los del Artículo 2, según los acuerdos adoptados en la última Reunión del Protocolo de Montreal (1995).

Es recomendable que en futuras negociaciones con EE.UU. se proponga realizar una revisión del programa de fumigación USDA/SAG, en orden a reducir las dosis de BM, que se emplea para la uva de mesa, bajo dos consideraciones:

- a) ratificar la dosis adecuada, para las dos horas de exposición al BM.
- b) para tratamientos a temperaturas más bajas, incrementar el tiempo de exposición, manteniendo la dosis, en lugar de aumentarlas.

En ambos casos se espera por esta vía, reducir la emisión de BM de las cámaras de fumigación.

Por otra parte, y considerando las alternativas planteadas en este informe, las tecnologías recomendables que podrían disminuir y/o sustituir el uso de BM serían la captura y reciclaje de éste y la radiación, sin descartar el control biológico de plagas (investigación en proceso por la Universidad de Chile con el patrocinio de FIA/Ministerio de Agricultura).

El sistema Bromosorb aparentemente podría ser adecuado para cumplir las especificaciones de fumigación prescritas en el protocolo del USDA. Se recomienda realizar ensayos para demostrar su aplicabilidad en Chile.

Además, la unidad Bromosorb se dice que es capaz de captar la mayor parte del BM disminuyendo su concentración, en la cámara, bajo los 750 ppm en menos de 30 minutos. La recuperación del fumigante alcanza un valor

promedio de 95,4% con un tiempo de desorción de 15 minutos. Este sistema elimina más rápido el BM de la cámara respecto del método tradicional de evacuación (uso de ventiladores). Esto hay que ratificarlo.

El costo del equipo es un tema que tendrá que estudiarse con detención. En cualquier caso, la empresa fabricante de Bromosorb está interesada en realizar ensayos en Chile y es por ello que han enviado un prototipo para probarlo en nuestras condiciones de operación y así dilucidar un número importante de interrogantes técnicas.

Por otro lado, la radiación se presenta como una opción técnica y económicamente viable en el tratamiento cuarentenario de fruta de exportación, no basada en el concepto de seguridad probit 9 (99,9968%) de los tratamientos cuarentenarios tradicionales, por lo cual se debe estudiar su factibilidad como tratamiento cuarentenario, evaluando sus efectos sobre la biología de cada plaga a analizar, por ejemplo, la falsa arañita de la vid, considerada cuarentenaria para los Estados Unidos.

Finalmente, cualquier restricción comercial potencial relacionada con el uso de BM es de gran importancia para los países del Artículo 5, que dependen de las exportaciones de productos que requieren este fumigante. Dichas restricciones, que pueden ser aplicadas por países desarrollados (Artículo 2) importadores y/o regiones como resultado de sus propias restricciones internacionales sobre BM, podrían anular el efecto de cualquier período de gracia.

**12. LITERATURA CONSULTADA**

**AGUILAR, C. 1995.** Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

**ANÓNIMO. 1976a.** Methyl bromide neutralization system by chemical method. Methyl bromide Research Society (Japan). Report N°3,8-16.

**ANÓNIMO. 1976b.** Methyl bromide neutralization system by combustion method and catalytic cracking method. Methyl bromide Research Society (Japan). Report N°3,24-30.

**ANÓNIMO. 1985** Summary report on the use of irradiation as a quarantine treatment of agricultural commodities, p. 5-15. **In:** Use of irradiation as a Quarantine Treatment of Agricultural Commodities, IAEA, Tech. Document 326. Honolulu, Hawaii, 21-23 November 1983. Vienna, Austria. 66 p.

**BANKS, H.J. 1984.** Assessment of sealant systems for treatment of concrete grain storage bins to permit their use with fumigants or controlled atmospheres : laboratory and full scale tests. CSIRO Division of Entomology: Canberra. 38p.

**BANKS, H.J. and ANNIS, P.C. 1984.** Importance of processes of natural ventilation to fumigation and controlled atmosphere storage. **In:** Controlled Atmosphere and Fumigation of Grain Storages (ed B.E. Ripp et al). Elsevier: Amsterdam. p299-323.

**BANKS, H.J. 1988.** Disinfestation of durable foodstuffs in ISO containers using carbon dioxide. ACIAR Proc. 23,45-54.

**BORRAYO, I. 1995.** Bromuro de metilo, usos y aplicaciones. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

**BORZA, J. 1995.** Irradiation of grain for quarantine purposes : Aspects of radiation-induced perturbation of mycotoxin production. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.

**BOZA, F. 1995.** Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

**BROWER, J. 1995.** Irradiation of Khapra Beetle as a quarantine alternative to methyl bromide fumigation. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.

**CARLES, J. 1995.** Situación del uso del bromuro de metilo y sus alternativas en Panamá. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

**CARTWRIGHT, P.S. 1990.** Pollution Control Membranes : Continuous Competitive, Clean. Chemical Processing, July, 23-30 pp.

**CASTRONOVO, F. 1995.** Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

**CHANTLER, D. 1984.** The adoption of silo sealing by Western Australian farmers. In: Controlled Atmosphere and Fumigation of Grain Storages (ed B.E. Ripp et al). Elsevier : Amsterdam. p 683-705.

CLARK, C., LYONS, G., PETERSEN, M., SAUNDERS, L. STERN, R., TAN E. y SCHONFIELD, A. 1994. Panorama Sureño, La eliminación del Bromuro de Metilo en Países del Sur. Pesticide Action Network North America Regional Center. Febrero, 1994. 37p.

CORFO (INTEC). 1987. Desarrollo de tecnologías de aplicación de nuevos Fumigantes o tratamientos fitosanitarios alternativos a frutas y hortalizas de exportación. Santiago, Chile.

COSTILLA, M. 1995. El bromuro de metilo en tratamientos de productos perecederos y problemas esperados con el uso de tratamientos alternativos para su reemplazo. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

DALE, W. 1995. La fosfina como alternativa del Bromuro de metilo en la fumigación de productos no perecederos. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

DALE, W. 1995. Uso y alternativas al bromuro de metilo en el Perú. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

DE BARROS, M. 1995. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean. Colombia-1995.

DE HEER, H.; HAMAKER, P. and TUINSTRA, L.G.M.T. 1991. Report on an optimization study after the use of the fumigant methyl bromide in horticulture. 10B report, Wageningen.

DEGESH DE CHILE LTDA. 1995. Hoja de seguridad : PHOSTOXIN (R), Fosforo de aluminio. 10p.

**DEGESH DE CHILE LTDA. 1995. PHOSTOXIN para la fumigación de cereales y otros productos almacenados. 56p.**

**DIEHL, J.F. 1990. Safety of Irradiated Foods. Marcel Dekker, N.Y. 345 p.**

**DRAKE, S.R. and NEVEN, G. 1995. Influence of electron beam irradiation on sweet cherry quality. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.**

**DREGVAL, G.F., BAKHISHEV, G.N., PETRUNKIN, V.E., MIZYUKOVA, I.G. y TITOVSKAYA, V.N. 1971. Removal of gaseous Methyl Bromide from containers. In Chemical Abstracts, vol 74, N° 67385a.**

**EPA. 1995. Alternatives to Methyl Bromide, Ten case studies : Soil, Commodity, and Structural Use. United States Enviromental Protection Agency, Office of Air Radiation, july 1995. 50p.**

**FERNÁNDEZ, J. 1995. Elementos claves para la eliminación del uso de bromuro de metilo en Latino América. Seminario de América Latina y el Caribe sobre Bromuro de Metilo. Bogotá, Colombia, 31 de octubre al 2 de noviembre, 1995. 7p.**

**FIGUEROA, H. 1995. Bromuro de metilo, usos y aplicaciones. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.**

**FILPO, J. 1995. Informe de la República Dominicana sobre consumo de bromuro de metilo. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.**

FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO FRUTÍCOLA. 1995. Evaluación técnica de una planta de recuperación y reciclaje de bromuro de metilo para cámara de fumigación. 8p.

HIDALGO, C. 1995. Repercusiones económicas del uso del bromuro de metilo en Costa Rica. Experiencias en el uso de alternativas. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

HUETTEL, R. 1995. Treatment of Russian Logs with Cobalt-60 Irradiation to Meet Phytosanitary Requirements for Export into the United States. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, San Diego, California.

ICGFI (International Consultative Group Food Irradiation). 1991a. Code of food irradiation practice for insects disinfestation of fresh fruits (as a quarantine treatment). Vienna, Austria, ICGFI. Doc. 7. 13 p.

ICGFI (International Consultative Group Food Irradiation). 1991b. Irradiation as a quarantine treatment of fresh fruits and vegetables. Maryland, USA, ICGFI. Doc. 13. 37 p.

ISHIBASHI, T, TAKAHASHI, J. y SUGAWARA, H. 1975. Treatment of waste gas from fumigation. In Chemical Abstract, vol 82, N°128875z.

JADUE, Y. y VARGAS, C. 1994. Evaluación de la radiación ionizante como tratamiento de control cuarentenario de la falsa araña de la vid (Brevipalpus chilensis Baker). Memoria de título Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 139p.

**JOHNSON, J. 1995.** Irradiation disinfestation of dried fruits and nuts. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.

**KOHE, A.L., y RIESENFELD, F.C. 1979.** Gas Purification. Third Edition. Gulf Publishing Co. Houston, Texas.

**LAGUNAS-SOLAR, M. 1995.** Radiation Processing of Foods : An Overview of Scientific Principles and Current Status. *Journal of Food Protection*. 58(2):186-192.

**LAMOTH, L. 1995.** Situación del uso del bromuro de metilo y sus alternativas en Panamá. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

**LOAHARANU, P. 1993.** Quarantine treatment of fresh fruits using irradiation. Recent development in market potential and future prospects for Asia and the Pacific, p. 115-121. In: Harmonization of regulations on food irradiation in Asia and the Pacific. IAEA, Tech. Document 696. IAEA, Vienna, Austria. 211 p.

**LUDWIG, E.E. 1967.** Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Vol.III. Gulf Publishing Co. Houston, Texas.

**Mc DONALD, R. and MILLER, W. 1995.** Effects of irradiation on quality of fresh fruits and vegetables. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.

MARCOTTE, M. 1993. United Nations Environment Program. Methyl Bromide Technical Options Committee. Food Irradiation Newsletter 17(2):27-31.

MATOIAN, R. 1992. Memorandum: Petition to eliminate the use of Methyl Bromide. January 15.

MORDKOVICH, Y.B.; MENSNIKOV, N.S. and LUZAN, N.K. 1985. Modern means and Methods of Plant Product Fumigation in the USSR. Bulletin OEPP/EPPO 15,5-7.

NAGI, M. and VELJOVIC, V.M. 1994. Molecular Sieve Adsorption Technology and Recycling for Capturing Methyl Bromide. Halozone Technologies Inc. Report. 16 February.

NATAREDJA, Y.C. and HODGES, R.J. 1990. Commercial experience of sealed storage of bag stacks in Indonesia. ACIAR Proc. 25,197-202.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME AND WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1994. Scientific Assessment of Ozone Depletion : 1994. World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report N° 37. 36p.

NEVEN, L. 1995. Biochemical determinants of irradiation in codling moth? Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, San Diego, California.

NEWMAN, C.J.E. 1990. Specification and design of enclosures for gas treatment. ACIAR Proc. 25, 108-130.

**NOLAND, C. 1995. Usos del bromuro de metilo en Cuba. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.**

**NOLL, K.E. and SARLIS J.N. 1988. Adsorption Characteristics of Activated Carbon and XAD4 Resin for the removal of Hazardous Organic Solvents. Journal of the Air Pollution Control Association. Vol. 38, Nº12.**

**OLAVARRIA, J., ORTIZ, R. y MORA, L. 1995. Usos y Alternativas al Bromuro de Metilo en Chile. Informe final para ser presentado al consultor regional para América Latina y el Caribe. 28p.**

**OLIVERA, O. 1995. Informe nacional del uso y manejo del bromuro de metilo. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.**

**PERRY, R.H. 1986. Manual del Ingeniero Químico. McGraw-hill, USA.**

**PESTICIDE ACTION NETWORK. 1995. Alternativas al Bromuro de Metilo : extractos de la evaluación de 1995 del Comité de Opciones Técnicas al Bromuro de Metilo de N.U. Pesticide Action Network North America. Agosto 1995. 12p.**

**PIZANO, M. 1995. Utilización del bromuro de metilo en Colombia. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.**

**PNUMA. 1995. El boletín dedicado a la protección de la capa de ozono y la implementación del Protocolo de Montreal. Acción Ozono Nº 15. 8p.**

**PRÉNDEZ, M.M.** 1992. Información actualizada sobre el Bromuro de Metilo y su relación con la capa de ozono estratosférica. Informe Técnico, Ministerio de Agricultura, Chile. 12p. (Mimeografiado).

**RAHMAN, R., RIGNEY, C and BUSCH-PETERSEN, E.** 1990. Irradiation as a quarantine treatment against Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae): anatomical and cytogenetic changes in mature larvae after gamma irradiation. *J. Econ. Entomol.* 83(4):1449-1454.

**REICHMUTH, C.** 1993. Crucktest zur Bestimmung der Begasungsfähigkeit von Gebäuden, Kammern oder abgeplanten Gütern bei der Schädlingbekämpfung. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Merkblatt N° 71. September.

**RIPP, B.E.** 1984. Modification of a very large grain store for controlled atmosphere use. In: *Controlled Atmosphere and Fumigation of Grain Storages* (ed B.E. Ripp et al). Elsevier : Amsterdam. p281-292.

**RIVERO, M.** 1995. Bromuro de metilo. Usos más importantes en Venezuela. *Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.*

**ROSS, R.D.** 1974. *La industria y la contaminación del Aire.* Primera Edición. Editorial Diana, Mexico.

**ROZVAGA, R.I. and BAKHISHEV, G.N.** 1982. Adsorbants of methyl bromide. In: *Disinfestation of Plant Products against Quarantine and other dangerous Pests* (ed. Ya.B. Mordkovich) All-Union Scientific Technical Institute for Quarantine and Plant Protection: Moscow. p58-60.

**SATO, K., TAKAHASHI, J., SUGAWARA, H. y OOTSU, J. 1975. Treatment of waste gas from fumigation. In Chemical Abstracts, Vol 82, N° 115625t.**

**SAZ, N.I. 1975. Dangerous Properties of Industrial Materials. Fourth Edition. Van Nostrand. Reinhold Co. USA.**

**SCHREINER, H. 1993. Recycling von Methylbromid nach Begasungen. Seminar AGGF Detmold Germany. September.**

**SEMPELS, R.E Y ROUXHET, P.G. 1975. Hydrogen bonding properties of hydroxyl held on the surface of silica. In Chemical Abstracts, Vol 83, N° 48723d.**

**SHARP, J. 1995. Mortality of blueberry maggot larvae exposed to gamma radiation. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.**

**SILVA, L. 1995. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.**

**SMITH, D.K.W. 1992. Presentation to Intenational Workshop on Alternatives and Substitutes to Methyl Bromide. Washington DC. 16-18 June 1992. Information based on Confidential DSIR Report IPD/TSC/6004, April 1982.**

**SMITTLE, B. and NATION, J. 1995. Techniques to identify irradiated fruit fly larvae. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.**

**SPILLMAN, R.W.** 1989. Economics of Gas Separation Membranes. Chemical Engineering Progress. January, pp 41-62.

**STEIN, M., STEIN R. and MARULLI, A.** 1995. The Gray Star Solution. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, Sn Diego, California.

**STENZEL, M.H. y GUPTA, U.S.** 1985. Treatment of Contaminated Groundwaters with Granular Activated Carbon and Air Stripping. Journal of the air Polution Control Association, Hazardous Waste Management. Vol. 35, N°12, 1304-1309.

**STRAUSS, W.** 1975. Industrial Gas Cleaning. Second Edition. Pergamon Press, USA.

**TAKEDA, H.; YOSHIDA, T. and NONAKA, M.** 1980. Seal-O-Silo System (method for restoring airtightness of reinforced concrete silos used for storage of cereals). In: Controlled Atmosphere Storage of Grains. (Ed J. Shejbal). Elsevier : Amsterdam. p517-528.

**TURNER, R.J.** 1986. A review of treatment alternatives for wastes containing nonsolvent halogenated organics. Journal of the Air Pollution Control Association. Vol 36, p 728-737.

**TOSHIO, M., TAKACHIKA, T., KATSUNORI, N. y TSUNOO, S.** 1977. Recovery of Methyl Bromide from gas or air. In Chemical Abstract, vol 87, N° 43518p.

UNEP. 1994. Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. Scientific Assessment of Ozone Depletion : 1994.

VELJOVIC, V. 1995. Methyl bromide recovery and reuse unit at San Diego Unified Port District. Bromosorb™ test report. 19p.

UNEP. 1995. A newsletter dedicated to the protection of the ozone layer and implementation of the Montreal Protocol. Ozon Action N° 16. 10p.

UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993a. Federal Register, Part III, EPA, 40 CFR Part 82, Protection of Stratospheric Ozone; Proposed Rule. March 18.

UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993a. EPA Announces Full Phaseout of CFCs and Other Ozone Depleters. EPA Enviromental News; United States Enviromental Protection Agency. Washington, DC. November 30.

USDA. 1995. From the Deputy Under Secretary for REE, New ARS Projects, Focus on Florida, Co-op Research, Upcoming Meetings. Methyl bromide alternatives 1(1):1-8.

VAN CAUWELAERT, F.H., VAN ASSCHE, J.B. y UYTTERHOEVEN, J. B. 1971. Adsorption of Methyl Bromide on the surface hydroxyls of silica gel. In Chemical Abstracts, Vol 74, N°25340b.

WARD, T. 1995. Irradiation as a substitute for methyl bromide treatment. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives

and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, San Diego, California.

WONG, L. 1995. Hawaii's perspective on food irradiation. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 6-8, Red Lion Inn, San Diego, California.

YOSHINOBU, K. 1974. Treatment of waste gas from fumigation. In Chemical Abstracts, vol 80, Nº 6585t.

ZARATE, A. 1995. Informe nacional del uso y manejo del bromuro de metilo. Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the Caribbean, Colombia-1995.

## ANEXO I

**EL BROMURO DE METILO COMO SUSTANCIA DEPRESORA  
DE LA CAPA DE OZONO****A) Efectos ambientales de la reducción del ozono atmosférico <sup>1</sup>**

La vida en la tierra es posible gracias a la composición de la atmósfera. El ozono en la atmósfera superior nos protege cubriendo la tierra de las nocivas radiaciones ultravioletas. Sin embargo, se ha producido una disminución paulatina de la capa de ozono cuyas causas se están investigando. Hoy día los científicos están de acuerdo en que la causa principal de esta reducción proviene de los compuestos de cloro y bromo hechos por el hombre, en particular los CFC y los halones.

**Sustancias depresoras del ozono**

Los CFC (clorofluorocarbonos) constituyen una familia de compuestos químicos inventados en la década de los 30; son extremadamente estables, y como tales, normalmente ignífugos, no tóxicos, fáciles de almacenar y de producción comercial. Estas propiedades hacen que estas sustancias sean ideales para muchas aplicaciones industriales. Por otra parte, su estabilidad les proporcionan una larga vida en la atmósfera que les permite transportarse hacia capas superiores : la estratósfera. Aquí las radiaciones uv (ultravioletas) rompen los CFC y las moléculas halones, liberando los átomos halógenos (cloro y bromo).

---

<sup>1</sup> Fuente : PNUMA, 1995.

Los átomos halógenos son altamente reactivos y se convierten rápidamente en "captadores de ozono". Puesto que no se desintegran durante la serie de reacciones químicas que destruyen las moléculas de ozono, pueden efectuar este efecto una y otra vez. Un simple átomo de cloro puede, de este modo, destruir miles de moléculas de ozono.

Casi el 30% de los CFC producidos en el mundo son utilizados en refrigeración, congelación y aire acondicionado; otro 25% en espumas para varios usos, desde la fabricación de automóviles hasta materiales para el envasado de comidas rápidas, y limpieza de los diferentes componentes de aparatos electrónicos. Los CFC son usados también en aerosoles; los halones, por ejemplo, son extinguidores efectivos de incendios.

### **Efectos de la reducción de la capa de ozono**

La pérdida de la capa de ozono produce un aumento de infiltraciones de las nocivas radiaciones ultravioletas  $UV-B$ , las cuales a su vez aumentan los efectos perjudiciales sobre el hombre y el medio ambiente.

**Salud humana.** El aumento de exposición a los  $UV-B$  causa la inmunosupresión afectando el ADN, produciendo a su vez un mayor número de ocurrencias y apariciones de enfermedades infecciosas, así como posibles efectos adversos en los programas de inoculación. Se conoce que la radiación  $UV-B$  es la causante de cánceres de la piel : el no-melanoma (el menos peligroso), y el maligno y virulento melanoma cutáneo. La exposición a una mayor radiación de  $UV-B$  causa también daños en los ojos como las cataratas, las cuales en muchos países son la principal causa de ceguera.

**Plantas y árboles.** El aumento de los  $UV-B$  podría causar serios efectos contrarios en la agricultura y perjuicios en los bosques; estas radiaciones de

los  $uv\text{-}\beta$  causan cambios en la composición química de varias especies vegetales. Experimentos en cultivos han demostrado que las más vulnerables a los  $uv\text{-}\beta$  son las legumbres, los melones, la mostaza y las coles, que reduce también la calidad de ciertos tipos de tomate, papa, remolacha azucarera y soya; muchas pruebas han demostrado también que las plantas jóvenes de coníferas se afectan desfavorablemente.

**Organismos acuáticos.** Las radiaciones ultravioleta causan igualmente daños a los organismos acuáticos, en particular a los más pequeños tales como el plancton, plantas acuáticas, las larvas de peces, camarones y cangrejos, los cuales forman la base esencial de la cadena alimenticia acuática y marina; por consiguiente, tales radiaciones podrían afectar la riqueza pesquera.

**Materiales.** Los materiales utilizados en la construcción, tales como pinturas, cauchos, madera y plásticos, son degradados por los  $uv\text{-}\beta$ , particularmente los plásticos y cauchos utilizados en exteriores. El daño puede ser grave en las regiones tropicales donde los efectos aumentan debido a las altas temperaturas y niveles de los rayos solares, tales daños podrían alcanzar una suma de miles de millones de dólares cada año.

**Polución fotoquímica.** El aumento de los  $uv\text{-}\beta$  en la superficie de la tierra exacerbará la polución fotoquímica. Esto ocurre en las ciudades donde los elementos de polución fotoquímica son producidos a través de las emisiones de automóviles y de la industria en general, estos podrían tener sus propios efectos contrarios en la salud humana y el medio ambiente.

Muchos de los efectos adversos podrían afectar gravemente a los países en desarrollo que están padeciendo ya inadecuadas condiciones médicas y escasez de alimentos y donde la pesquería es un medio importante de vida.

Las sustancias agotadoras del ozono son gases que producen el efecto invernadero causando cambios climáticos en el globo terrestre. Los gases de invernadero atrapan el calor que expelle la tierra provocando que ésta se vuelva más caliente. Las consecuencias de los cambios del clima del globo comprenden un aumento del nivel del mar, conllevando una pérdida de valiosas áreas costeras y la invasión de agua marina inundando tierra adentro.

Ya se observan en diferentes partes del mundo incidentes climáticos extremos, por ejemplo, extensos períodos de estaciones secas, mayores ocurrencias e intensidad de las tormentas y de insólitas lluvias fuertes. Los cambios en los patrones climáticos a corto plazo son otro impacto de los cambios de clima; otro factor posible que contribuye a los cambios de éstos es la modificación de la distribución del ozono en toda la atmósfera ha causado que disminuya la concentración de ozono en la estratósfera y que aumente en la superficie de la tierra donde el ozono es producido a través de la polución fotoquímica.

Los últimos resultados científicos han mostrado que los cambios en la distribución del ozono en toda la atmósfera ha afectado actualmente la distribución de la temperatura sobre ésta. El equilibrio de la temperatura atmosférica y su composición están amenazados : la temperatura de la estratosfera ha disminuido en los niveles donde hay mayor pérdida de ozono. No se conoce a ciencia cierta el alcance y la magnitud del efecto que esto causa en el estado del tiempo, al igual que el largo período de duración del clima.

## B) Importancia del bromuro de metilo en la destrucción del ozono atmosférico <sup>2</sup>

Como se mencionó anteriormente, los átomos de bromo son altamente efectivos en la eliminación del ozono en la estratósfera a través de ciclos catalíticos que involucran radicales libres tales como el BrO y el ClO. De hecho los átomos de bromo remueven el ozono más efectivamente que los átomos de cloro sobre la base de átomo por átomo, debido a que una gran parte del bromo inorgánico está en una forma más lábil que es capaz de tomar parte en los ciclos de extracción del ozono.

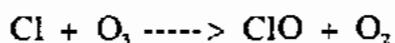
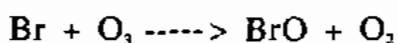
En los últimos años ha asumido gran importancia el rol del bromo en la distribución del ozono estratosférico debido a la re-evaluación de la eficiencia de la reacción  $\text{HO}_2 + \text{BrO}$  (Figura I.1), la cual cicla los radicales BrO hacia átomos de bromo, y debido a la probabilidad de que una fracción medible de la principal fuente de bromo que escapa hacia la atmósfera, bromuro de metilo ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ), sea de origen antropogénico. Además, el impacto sobre el ozono, de aproximadamente 20 pptv de bromo inorgánico en la estratósfera, podría ser equivalente a cerca de 1000 pptv de cloro inorgánico. El total de cloro inorgánico presente en la estratósfera es de 3500 pptv.

El bromo es transportado hacia la estratósfera en varias formas tales como halones e hidrocarburos sustituidos, de los cuales el BM es la forma predominante. Los halones son compuestos más bien estables en la troposfera. Por otro lado, el BM es mucho menos estable en la tropósfera y las limitaciones a su emisión podrían tener un gran impacto sobre la cantidad de bromo transportado en esta forma.

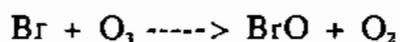
---

<sup>2</sup> UNEP, Scientific Assessment of Ozone Depletion, 1994.

## CICLO I



## CICLO II



## CICLO III

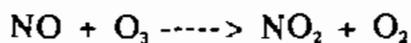
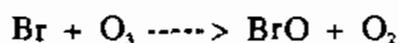
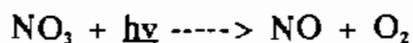
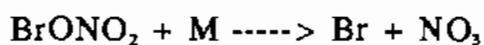
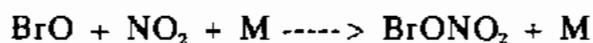


Figura I.1 Ciclos de reacciones que conducen a la destrucción del ozono atmosférico.

El caso del BM es mucho más complejo que los halones o cualquier otra sustancia depresora del ozono, difícil de considerarse en la regulación debido a que es producido por la biosfera y emitido hacia la atmósfera a partir de procesos naturales.

### Aspectos químicos

En la Figura I.2 se observa que la química del bromo en la estratosfera es análoga a la del cloro. Luego de alcanzar la estratósfera, los gases de fuentes orgánicas fotolizan o reaccionan con el OH y O liberando rápidamente los átomos de bromo. Luego se producen reacciones, predominantemente con el O<sub>3</sub>, OH, HO<sub>2</sub>, ClO, NO y NO<sub>2</sub>, y partición del bromo inorgánico en formas reactivas (Br y BrO) y formas de reserva (BrONO<sub>2</sub>, BrCl, HOBr y Hbr). Sin embargo, a diferencia de la química del cloro, donde las formas reactivas son una pequeña parte del total de cloro inorgánico (excepto en las regiones polares altamente perturbadas en la temporada invernal), el bromo reactivo es cerca de la mitad del bromo inorgánico en la estratósfera inferior. Además, el bromo es más eficiente en la destrucción catalítica del ozono que el cloro. A esto se suma que la partición fotoquímica de las formas del bromo (reactivas y de reserva) son bastante rápidas en presencia de la luz solar. Por otro lado, esto dirige la conversión del Hbr y BrONO<sub>2</sub> a BrO lo que parece tener un pequeño impacto en la partición del bromo.

La mezcla proporcional de NO<sub>x</sub>, HO<sub>x</sub> y ClO<sub>x</sub> aumenta fuertemente con la altitud (sobre los 20 Km) comparado con la cantidad de BrO. Por esto, la pérdida de ozono debido al bromo es mayor en la estratósfera inferior. Allí, donde hay concentraciones de átomos de oxígeno, la reacción O + BrO es relativamente importante, y los tres ciclos de la reacción (Figura I.1) son responsables de la pérdida de ozono catalizada por el bromo. El ciclo III es de menor importancia que el ciclo I y II.

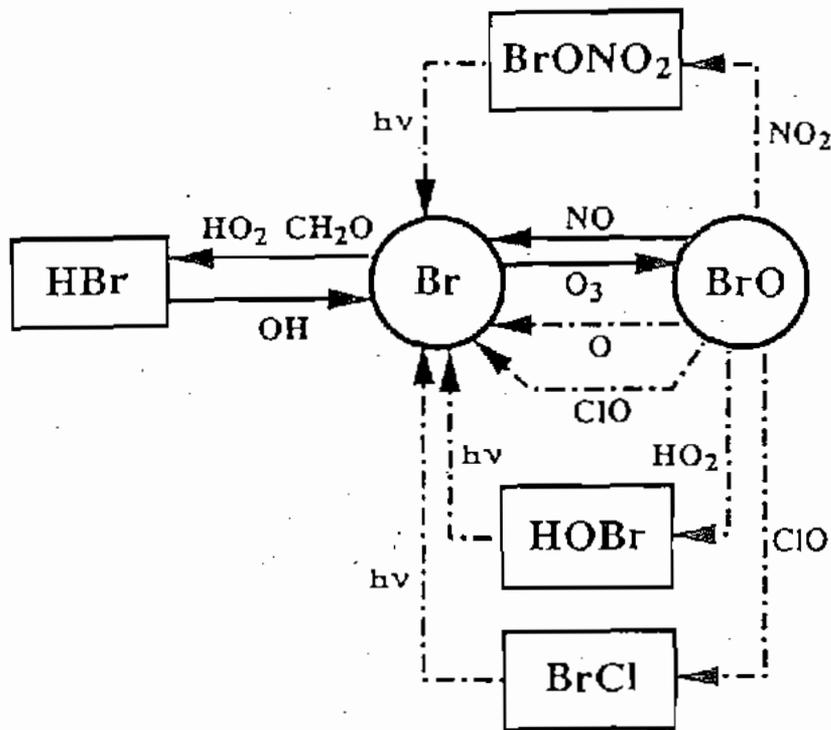


Figura I.2. Ciclo del bromo de fase gaseosa en la estratósfera.

En las regiones polares, donde se reduce el  $\text{NO}_x$  y aumenta el  $\text{ClO}$  por reacciones heterogéneas de aerosoles de azufre y por las nubes estratosféricas polares, el ciclo I domina la pérdida de ozono, causada por el bromo. A latitudes medias los primeros dos ciclos contribuyen similarmente a la pérdida de ozono (a los 20 Km), y el ciclo II es el más importante cerca de la troposfera, donde hay abundancia del  $\text{HO}_2$  pero no es claro que abunde el  $\text{ClO}$ .

### Estudios de laboratorio

Estudios de laboratorio indican que el ciclo I y el ciclo II producen la mayor parte de la pérdida del ozono catalizada por el bromo y contribuyen en forma similar. A latitudes más bajas, donde las reacciones del bromo producen más pérdida de ozono y donde el factor alfa es el mayor, las temperaturas son bajas (bajo 220 K) y hay algunas incertidumbres respecto de la cinética del  $\text{BrO}$ . La reacción entre el  $\text{BrO}$  y el  $\text{ClO}$  es compleja, sin embargo, se ha estudiado extensivamente bajo condiciones estratosféricas y parecen estar bien entendidas. Observaciones remotas del  $\text{BrO}$  y el  $\text{OClO}$ , producido posteriormente por la reacción  $\text{BrO} + \text{ClO} \rightarrow \text{Br} + \text{OClO}$  no afecta el ozono, y estudios diurnos del  $\text{BrO}$  *in situ* apoyan la premisa de que la fotoquímica duplicada entre el  $\text{BrO}$  y el  $\text{ClO}$  es básicamente sana a presiones y temperaturas atmosféricas.

Medidas realizadas recientemente sobre la constante de velocidad de la reacción del  $\text{BrO}$  y  $\text{HO}_2$  indican que es cerca de 6 veces mayor (a temperatura ambiente) que la informada en estudios anteriores, haciendo más eficiente el ciclo II, correspondiente. Últimamente, está claro que los principales productos de la reacción son el  $\text{HOBr}$  y el  $\text{O}_2$ . Informaciones recientes indican que la eficiencia de la vía que produce  $\text{HBr} + \text{O}_3$ , a temperatura ambiente, tienen un valor de  $< 0,01\%$ , el cual se estableció por

investigación de la velocidad de la reacción inversa,  $\text{Hbr} + \text{O}_3 \text{ ----> BrO} + \text{HO}_2$ .

### El ODP del bromuro de metilo

El concepto de ODP (Ozone Depletion Potential) o depresor potencial del ozono ha sido ampliamente discutido en la literatura. Se ha introducido un índice simple independiente del tiempo para cuantificar el agotamiento de la fase estable del ozono por unidad de masa de un compuesto dado, relacionado con la reducción de este mismo ozono por unidad de masa de CFC-11. Este índice está dado por :

$$\text{ODP}_{\text{BM}} \equiv [1/3((M_{\text{CFC-11}} * \alpha_{\text{BM}})/(M_{\text{BM}} * \alpha_{\text{CFC-11}})) * \beta] [ \langle (F_{\text{BM}}/F_{\text{CFC-11}}) * \rangle ]$$

$$\text{ODP}_{\text{BM}} \equiv [\text{BLP}][\text{BEF}]$$

donde  $M_{\text{BM}}$  y  $M_{\text{CFC-11}}$  representan los pesos moleculares del BM y del CFC-11, respectivamente,  $F_{\text{BM}}/F_{\text{CFC-11}}$  representa el bromo liberado del bromuro de metilo en relación al cloro liberado del CFC-11 en la estratósfera,  $\alpha$  es la eficiencia del bromo liberado en la extracción catalítica del ozono, en relación al cloro;  $\beta$  es la disminución de la mezcla sobre la superficie; y  $\langle \rangle$  significa el promedio estacional y espacial de la cantidad dado por la distribución del ozono.

El término del primer paréntesis representa la cantidad de bromo liberado a la estratosfera por el BM relacionado con el cloro del CFC-11, por unidad de masa. A esto se le denomina BLP (Bromine Loading Potential) o Cargador potencial de bromo. El segundo término, BEF (Bromine Efficiency Factor) o Factor de eficiencia del bromo, indica la cantidad de ozono estratosférico extraído por unidad de masa de BM liberado a la estratósfera,

relacionado con el CFC-11. Los valores de los parámetros de la ecuación se pueden obtener de modelos globales de la atmósfera (y el océano) y pueden estimarse a partir de observaciones.

Las constantes de tiempo (tiempo de vida)  $T_{\text{CFC-11}}$  y  $T_{\text{BM}}$  relacionan el cambio en la carga atmosférica o fase estable (B) con el cambio de las emisiones antropogénicas (S). Esto, además, coloca límites sobre el rango que puede ser escogido para el tiempo de vida atmosférico, y en el caso del BM :

$$\Delta B_{\text{BM}}(\text{KT}) = \Delta S_{\text{BM}}(\text{KT/año})$$

Esta constante de tiempo puede obtenerse considerando todos los procesos de extracción para el compuesto en cuestión, tanto atmosférico como de superficie :

$$1/T_{\text{BM}} = 1/T_{\text{OH}} + 1/T_{\text{extrat.}} + 1/T_{\text{octano}} + 1/T_{\text{otro}}$$

donde  $T_{\text{OH}}$  indica la constante de tiempo para la extracción mediante el OH troposférico (2 años) asumiendo ciertas constantes de velocidad (especificadas por autores) y llevándolo a la escala del tiempo de vida de 6,6 años para cloroformo de metilo por OH;  $T_{\text{extrat.}}$  es la constante de tiempo para la extracción atmosférica (35 años);  $T_{\text{octano}}$  indica la constante de tiempo para la extracción del océano (cerca de 3,7 años) y  $T_{\text{otro}}$  son las constantes de tiempo para la extracción mediante otros mecanismos, tales como la reacción con el Cl o la biodegradación, las cuales no han sido bien establecidas y se les asigna el valor cero. Haciendo uso de estos valores y de esta última ecuación se tiene que:

$$T_{\text{BM}} = 1,3 \text{ años, con un rango de inseguridad de } 0,8 \text{ a } 1,7 \text{ años.}$$

Con el valor señalado anteriormente y tomando el  $T_{\text{CFC-11}} = 50$  años (Kaye *et al*, 1994), se calcula un  $\text{BLP} = 0,013$  con la ecuación presentada anteriormente para dicho término. Además, estimando el  $\text{BEF} = 48$  (Atmospheric and Environmental Research, Inc.; De More *et al*, 1992) se puede estimar el valor del ODP para el bromuro de metilo en 0,6; tomando en cuenta las incertidumbres que existen en cuanto a la extracción causada por el océano.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, la problemática del BM respecto de la destrucción del ozono atmosférico se puede resumir en los siguientes puntos :

- Los principales compuestos considerados culpables del deterioro del ozono estratosférico son los hidrocarburos halogenados, compuestos orgánicos que contienen en su estructura átomos de cloro, flúor, o bromo. Los más estables de estos compuestos son totalmente halogenados y se denominan clorofluorocarbonos (CFC); en este grupo los que contienen bromo se denominan halones. Los CFC son exclusivamente producidos por el hombre y son estables en la troposfera, mientras dura su lento ascenso hacia la estratosfera, donde por efecto de la luz solar se descomponen, liberando átomos de cloro o bromo.
- La acción de los CFC interfiere directamente con el ciclo natural del ozono, catalizando su destrucción; una molécula de CFC es capaz de destruir decenas de miles de moléculas de ozono (Préndez, 1992).
- Para evaluar el poder de destrucción del ozono de diversos CFC se ha definido el ODP ("Ozone Depletion Potential"), o potencial de disminución del ozono, que da valor 1 al CFC-11 y evalúa los

restantes CFC con respecto a éste. Otros parámetros importantes para la evaluación del impacto de un compuesto sobre el ozono estratosférico son el BEF y BLP.

- El BM es un hidrocarburo, pero no estrictamente un CFC. La presencia del átomo de bromo lo hace potencialmente peligroso para la capa de ozono, siendo más destructivo que el átomo de cloro debido a que el 50% del bromo existente en la atmósfera está en las formas reactivas Br y BrO. Por ende, el ODP del BM debe ser evaluado.
- Para el cálculo de ODP y BLP se requiere conocer la velocidad de las reacciones químicas de los compuestos respectivos en la atmósfera, su concentración, vida media y fuentes de emisión. En este cálculo se presentan dificultades para el BM. La información de la mayoría de las variables que afectan al ODP es escasa y a veces controversial, con incertidumbres importantes en su estimación. Pese a lo anterior, los ODP calculados para el BM están dentro de límites razonables de confiabilidad, los que podrán ser notablemente mejorados con más investigación.
- En la tropósfera, el BM proviene de fuentes naturales y antropogénicas. La principal fuente natural son procesos biológicos que se desarrollan en el océano (principalmente por algas). De las fuentes antropogénicas, estimaciones hechas por la NASA determinaron que treinta mil toneladas de BM son liberadas hacia la atmósfera cada año luego de su uso agrícola.

**ANEXO II****EPA Y LA ELIMINACIÓN DEL BROMURO DE METILO**

Esta información está referida a los reglamentos que rigen la eliminación gradual del Bromuro de Metilo, un pesticida destructor de la capa de ozono. Dicha información fue divulgada por la Oficina de Aire, División de la Protección y Reducción de la Estratósfera perteneciente a la EPA (Organización de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente).

1.- Se determinó que el BM es una sustancia destructora del ozono (SDO), con una reciente evaluación científica que estima que el bromo de ese material es 50 veces más efectivo en destruir el ozono que el cloro de los CFC, por átomo. El potencial de destrucción de ozono (ODP) de este material ha sido estimado en 0,6 por la Evaluación Científica de la Destrucción del Ozono de 1994, un consenso de documentos elaborados por 293 líderes científicos de todo el mundo en estudios atmosféricos.

El "Clean Air Act" (Ley del Aire Puro) exige que todas las sustancias con un ODP de 0,2 o mayor sea clasificado como sustancia Clase I y que sea eliminado gradualmente en los EE.UU dentro de 7 años.

2.- Bajo el "Clean Air Act" se prohibió la producción e importación de BM después del 1 de Enero de 2001. Además la EPA congeló la producción estadounidense de 1994 a la de 1991 (diciembre 10, 1993 - 58 FR65018). La EPA otorgó el tiempo más largo posible antes de la fase de eliminación total, permitiendo una transición más suave hacia otras alternativas.

3.- El "Clean Air Act" no restringe la utilización del bromuro de metilo después del 2001. La eliminación gradual se aplica a la producción química y a las importaciones. El uso del pesticida es regido por la FIFRA (Ley Federal sobre Insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas).

4.- Las alternativas para reemplazar el bromuro de metilo dependen del producto y del insecto nocivo que se debe eliminar. No existe una única alternativa para las numerosas utilizations del BM, pero existen varios pesticidas que manejan plagas, actualmente tratadas con el BM. Los materiales alternativos viables no necesitan ser idénticos al BM, pero deben manejar efectiva y económicamente esas plagas. Hoy en día existen numerosos pesticidas químicos y no químicos que controlan efectivamente muchas plagas en las que se utiliza el BM. Por otra parte, están en proceso investigaciones sobre alternativas adicionales y posiblemente arrojen una amplia gama de opciones. Las alternativas no químicas comprenden rotación de cultivos, modificaciones orgánicas, calefacción solar o al vapor, agentes de control biológico, prácticas culturales, cultivo de plantas y métodos físicos cuando son utilizadas como parte de un programa general de sistema de control integrado de plagas.

La EPA reconoce la importancia del BM en la comunidad agrícola y luchará por minimizar el efecto de cualquier acción exigida bajo el clean air act. A este respecto, la EPA está trabajando estrechamente con la comunidad agrícola de los EE.UU. en la investigación de materiales que se ajusten a las necesidades de manejo de plagas que están siendo llevadas actualmente con el BM. Tanto la EPA como el USDA están trabajando con científicos y agricultores para garantizar que existan alternativas de control económicamente viables y buenas desde el punto de vista ambiental para la fecha de eliminación total.

5.- Si bien existen ciertas incertidumbres sobre la exacta magnitud del papel del BM en la destrucción del ozono, la evaluación científica del 1994 informó que "Ahora se conoce bien la química del bromo en la destrucción del ozono" El informa agrega que: " el BM sigue siendo considerado como un compuesto importante que agota el ozono" y "un análisis sugiere que es improbable que el ODP sea inferior a 0,3". Actualmente se están llevando a cabo otras investigaciones para precisar el ODP, el cual puede ser mayor o menor de 0,6.

La evaluación científica de 1994 informa que el BM es producido por:

- 1.- la agricultura antropogénica (20-60 kilotonnes/año)
- 2.- la quema de biomásas (0,5-22 kilotonnes/año)
- 3.- combustión de gasolina con plomo, y
- 4.- los océanos (60-160 kilotonnes/año).

La cantidad de BM producido por fuentes agrícolas antropogénicas es suficiente para romper el equilibrio natural y tiene un fuerte impacto en el ozono estratosférico.

6.- El BM también está reglamentado en otros países fuera de EE.UU.. Los países Bajos redujeron gradualmente la utilización de BM en la fumigación de suelos en 1992, debido al resumidero de las aguas subterráneas. Dinamarca prohibirá la utilización agrícola del BM en 1988 y se espera que Suecia siga un cronograma similar. La Unión Europea y Canadá reducirán su utilización agrícola un 28% en 1996 y 1998, respectivamente. Otros países contemplan actualmente una acción reglamentaria para la utilización y producción del BM.

7.- En 1992, las Partes del Protocolo de Montreal examinaron la ciencia atmosférica del BM y establecieron un ODP de 0.7 y congelaron el nivel de producción de 1995 al nivel de 1991.

Sobre las posibles disparidades comerciales, que podían suceder si el bromuro de metilo es eliminado en Estados Unidos y no en otras regiones del mundo, el Protocolo de Montreal ofrece un campo de equilibrio mediante la armonización de reglamentos sobre bases unilaterales.

## ANEXO III

INFORME DE LA VII REUNIÓN DE LAS PARTES DEL  
PROTOCOLO DE MONTREAL <sup>1</sup>**Desarrollo de la Reunión:**

1.- Durante la primera reunión del Grupo de los 77, ya se vislumbraron señales de cuales serían las posiciones de las distintas regiones.

Por una parte estaba el Grulac, que se mostraba muy unido en torno a la idea de asumir nuevos compromisos, sin olvidar el tema financiero y de costos económicos.

Por otro lado se encontraban los países asiáticos, menos comprometidos con los temas ambientales, pero dispuestos a llegar a algún acuerdo satisfactorio para ambas partes.

Por último estaban los países africanos, que no se mostraban muy dispuestos a asumir nuevos compromisos, debido al probable colapso que esto pudiera significar en sus deterioradas economías. Mención especial merece Kenya, que se opuso tenazmente a llegar a regular de cualquier manera una de las sustancias en cuestión, el Bromuro de metilo. Sus argumentos se basaban en el desastre económico y social que tendría sobre la población restringir el uso de este producto, indispensable en la agricultura. Sin embargo, a juicio de gran cantidad de delegados presentes, estas afirmaciones

---

<sup>1</sup> Fuente: Sergio Vives P.  
Depto. Medio Ambiente  
Ministerio de RR.EE., Dirección de Política Especial

encuentran su fundamento, sobre todo en el lobby realizado por los productores de bromuro de metilo, que tienen en ese país africano uno de sus principales consumidores a nivel de países en desarrollo.

2.- En definitiva el grupo de los 77 adoptó una posición moderada, gracias a los esfuerzos del Grulac, para comenzar a tratar los temas complicados.

3.- Finalmente, y después de que siguieran las negociaciones a nivel ministerial en un grupo llamado "amigos del presidente", se llegó a un acuerdo en los temas más importantes.

El arreglo final fue el siguiente:

**a) CFC:**

Para los países del Art. 5 se mantuvo la enmienda de Copenhague, es decir, la eliminación total al año 2010.

En cuanto a los países del Art. 2, se mantuvo el calendario actual de eliminación total de consumo y producción al 1 de enero de 1996, con la excepción del 15% necesario para abastecer a los países del Art. 5 en sus necesidades básicas internas.

**b) HCFC:**

Para los países del Art. 2 se dispuso la eliminación total para el año 2020, con 10 años de gracia para servicios y con un consumo máximo de 0,5%.

Se acordó, para los países del Art. 5, el congelamiento al año 2016 con base el año 2015 y la eliminación total el año 2040.

**c) Bromuro de Metilo:**

Países del Art. 2: eliminación del 25% al año 2001; 50% al año 2005 y la eliminación total al año 2010.

Durante 1997 se estudiará una exención para usos críticos, materia que aún no está totalmente definida. También se incluyó una prohibición de no exportar dicha sustancia a países no miembros.

Países Art. 5: congelamiento al año 2002 tomando en cuenta como base el promedio de los años 1995 a 1998. Durante 1997 se hará una revisión, a fin de fijar un calendario de eliminación gradual, de acuerdo a un informe que debe elaborar el Grupo de Evaluación Técnica y Económica del Protocolo (TEAP).

**Para ambos grupos de países se encuentran exceptuados de control los usos cuarentenarios y de pre-embarque.**

4.- El acuerdo final adoptó básicamente los criterios manifestados por el Grulac, quien se apoyó para esto en el informe elaborado por el Grupo de Evaluación Técnica y Económica del Protocolo de Montreal.

5.- Otro tema importante fueron las necesidades básicas internas y la posibilidad que productores de países del Art. 5 puedan exportar a otros países del mismo grupo para cubrir sus necesidades básicas internas.

Se resolvió aceptar este criterio, estableciendo ciertas restricciones en cuanto a la producción de los países del Art. 5 y en cuanto a su capacidad instalada. Los países productores deben constantemente informar de sus volúmenes de producción, los cuales serán revisados periódicamente.

**ANEXO IV**  
**CHILE. IMPORTACION, CONSUMO Y USOS DEL**  
**BROMURO DE METILO**

**Cuadro IV.1.- Estimaciones de importación y consumo de bromuro de metilo utilizado en el país.**

<b>AÑO</b>	<b>IMPORTACION DE BM (Kg)</b>	<b>CONSUMO ESTIMADO (Kg)</b>
1990	335.895	
1991	256.353	375.676
1992	319.487	128.705
1993	299.888	210.582
1994	198.971	230.716

**Cuadro IV.2 Fumigación de fruta según tratamiento T101(a)**

<b>Temperatura Fruta (°C)</b>	<b>Concentración de BM (g/m<sup>3</sup> cámara)</b>	<b>Tiempo exposición (horas) °</b>
4,5 - 9,9	64	2
10,0 - 15,4	48	2
15,5 - 20,9	40	2
21,0 - 26,4	32	2
26,5 - 31,5	24	2

\*: El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos no acepta reducir el tiempo de exposición de 2 horas, si estas mediciones están por sobre el rango superior.

Fuente: Manual del Exportador Hortofrutícola. Fundación Chile. Departamento Agroindustrial.

Cuadro IV.3. Producción de cultivos en suelos tratados con BM

CULTIVO	USO EN CAMPO	USO INVERNADERO CULTIVO CUBIERTO
<b>VEGETALES</b>		
Tomates Pimentones	Usado en almácigo Usado en almácigo	Suelo y almácigo Uso extensivo en producción de semilla
<b>FRUTALES Y NUECES</b>	Fumigación de suelos para vivero	
Otros	Fumigación de suelos para vivero	
<b>FLORES Y PLANTAS ORNAMENTALES</b>		
Rosas	Suelo en almácigo (eventualmente)	
<b>OTROS CULTIVOS</b>		
Tabaco Arboles forestales	Uso en almácigo Uso en almácigo y viveros	

Cuadro IV.4. Lista de productos tratados con bromuro de metilo en Chile.

PRODUCTO	TRATAMIENTO POSTCOSECHA (excluyendo cuarentena)	TRATAMIENTO DE CUARENTENA
Cajas de uva	SO <sub>2</sub> como gas	Tratamiento T101(a) con BM
Castañas		Tratamiento T101(q) con BM
Limonos	Encerado	Tratamiento T101(a) con BM
Nectarines		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Duraznos		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Ciruelas		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Damascos		Tratamiento T101(a) o inspección USDA-SAG
Tomates		Fumigación con BM
Espárragos	Fumigación con BM	
Frutillas	Fumigación con BM	

Cuadro IV.5 Métodos alternativos para el control de plagas en el suelo.

CULTIVOS	MÉTODOS ALTERNATIVOS
Tomate bajo plástico	Basamid, fumigante de suelo
Tabaco	Basamid, fumigante de suelo
Hortalizas bajo plástico	Metam sodio, metam potasio
Semillas pimentón bajo plástico	Basamid, fumigante de suelo

Cuadro IV.6. Evolución de las exportaciones de uva de mesa a los Estados Unidos (cajas).

AÑO	VOLUMEN EXPORTADO (cajas)
1990/91	35.722.934
1991/92	33.257.344
1992/93	34.753.808
1993/94	32.863.876
1994/95	34.070.383

Fuente : Asociación de Exportadores de Chile, A.G.

Cuadro IV.7. Nómina y volumen de especies que requieren de prefrío para su exportación, temporada 1991/92 (cajas).

ESPECIE	III	IV	V	RH	VI y VII
Uvas	4.069.868	12.251.895	17.486.912	14.495.906	11.580.346
Nectarines*	--	15.174	256.912	1.783.277	1.459.945
Duraznos	531	55.377	446.729	1.809.816	1.152.052
Kiwis	--	96	1.128.777	1.276.214	1.028.788
Ciruelas*	--	10.133	288.308	1.638.558	1.473.642
Peras europeas*	--	13.408	187.914	418.482	1.166.305
Manzanas verdes*	--	--	148.941	230.948	939.381
Peras asiáticas	--	576	171.965	405.356	358.284
Frambuesas	--	--	8.585	255.196	320.743
Espárragos*	--	--	26.245	249.643	56.724
Damascos	--	3	42.153	136.738	38.928
Manzanas rojas*	--	--	6.345	20.610	14.812
<b>TOTAL</b>	<b>4.070.399</b>	<b>12.346.662</b>	<b>20.199.786</b>	<b>22.720.744</b>	<b>19.589.950</b>

\* Proceso opcional

Fuente : Asociación de Exportadores de Chile

**ANEXO V****PARTICIPANTES DEL SEMINARIO REGIONAL PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE SOBRE BROMURO DE METILO (1995)****Argentina**

- Gabriel Amura.  
Dirección Agroquímicos y Registros; Instituto Argentino de Sanidad y Calidad Vegetal.
- Miguel Costilla.  
Estación Experimental Agroindustrial al Obispo Colombres.
- Ing. María Cristina Marzocca.  
Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

**Australia**

- Dr. Jonathan Banks.  
MBTOC

**Bahamas**

- Ruth Hammerton.  
Department of Agriculture.
- Dwayne Curtis.  
Ministry of Health and Environment.

**Bolivia**

- Ariel Zarate.  
Secretaria Nacional de Agricultura y Ganadería.
- Omar Olivera.  
Comisión Gubernamental del Ozono, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

**Brasil**

- Lianarcia Silva.  
Ministerio del Medio Ambiente Dos Recursos Hidricos e da Amazonia Legal.
- Marcos De Barros.  
Ministerio de Agricultura.
- José Juarez.  
EPAGRI.
- Sandra De Alvarenga  
IBAMA- Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renovaveis.

**Colombia**

- Lina Lozano.  
Agencia de Noticias Prensa Verde.
- Adielá Fernández.  
Ministerio del Medio Ambiente.
- Camilo Linares.  
Instituto de Mercadeo Agropecuario.
- Carlos Rios.  
Oficina de Cooperación Internacional, Ministerio del Medio Ambiente.

- Delio Alarcón.  
Federación de Cafeteros de Colombia.
- Dra. Marta Pizano.  
Ministerio del Medio Ambiente.
- Edgar Ardila.  
Instituto de Mercadeo Agropecuario.
- Elsa Nivia.  
Red de Acción en Plaguicidas Rapalmira.
- Fabio Briceño.  
Venta Agroquímicos, BASF Química Colombiana.
- Giampaolo De Matus.  
Oficina de Cooperación Internacional, Ministerio del Medio Ambiente.
- Ing. Guillermo Buitrago.  
Electrofumigación Toro Ltda.
- Hernán Mejía.  
Subdirección Ambiente y Salud, Ministerio de Salud.
- Hernando Eslava.  
Depto de Operaciones, ALMAGRARIO.
- Hernando Lemos.  
Tabacos Rubios de Colombia.
- Ing. Alejandro Ramírez.  
Unidad Técnica de Reversión Industrial para la Protección de la  
Capa de Ozono, Ministerio del Medio Ambiente.
- Ing. Antonio Dominguez.  
C.V.C. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Ing. Carlos Alvarez.  
Unidad Técnica de Reversión Industrial para la Protección de la  
Capa de Ozono, Ministerio del Medio Ambiente.
- Jorge Toro.  
Fumitoto Ltda.

- José Ruiz.  
Dirección Agrícola y Forestal, Ministerio de Agricultura.
- Juan Carlos Guzmán.  
Comité Técnico del Medio Ambiente, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC).
- Juan Carlos Isaza.  
Asociación Colombiana de Exportadores de Flores ASOCOLFLORES.
- Jaime Pinto.  
Corporación Autónoma Regional de la Guajira CORPOGUAJIRA.
- Gabriel Martínez.  
Sociedad de Agricultores de Colombia.
- Luis Castro.  
Corporación Autónoma Regional Rio Negro.
- Rodolfo Nuño.  
Almaviva.
- Ricardo Marín.  
C.D.A. Corporación para el Desarrollo Del Norte y Oriente Amazónico.  
C.D.A.
- Ing. Diego Velasco.  
Unidad Técnica de Reconversión Industrial para la Protección de la Capa de Ozono, Ministerio del Medio Ambiente.

### **Costa Rica**

- Carlos Hidalgo.  
Cámara Insumos Agropecuarios.
- Yesenic Matamoros.  
Comisión Gubernamental del Ozono.
- M. Sc. Alvaro Brenes.  
Comisión Gubernamental del Ozono.

**Cuba**

- Carlos Noland.  
Oficina técnica del Ozono, Ministerio de Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente.
- Luis Gómez.  
Centro Nacional de Sanidad Vegetal, Ministerio del Medio Ambiente.

**Chile**

- Dr. Marco Schwartz.  
Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Universidad de Chile.
- Ing. José Olavarría.  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA.
- Jorge Leiva.  
Comisión Nacional del Medio Ambiente - CONAMA.
- Juan Fco. Fernández.  
Depto. Desarrollo Sostenible, Ministerio de Agricultura.

**El Salvador**

- Carlos Aguilar.  
Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente.

**Estados Unidos**

- Dr. Rodrigo Rodríguez.  
Plant Pathology Department, Auburn University.
- Rene Weber.  
Methyl Bromide Global Coalition - MBGC.

- Tom Land.  
Stratospheric Protection Division, U.S. Environmental Protection Agency.
- Natalia Martínez.  
Plant Pathology Department, Auburn University.

#### **Francia**

- Gladys Hernández.  
UNEP - IE.

#### **Guatemala**

- Hugo Figueroa.  
Comisión Nacional Medio Ambiente.
- Irma Borrayo.  
Comisión Nacional Medio Ambiente SEGEPLAN-CONAMA.

#### **México**

- Francesco Castronovo.  
Secretaría de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Ecología/  
Unidad de protección al Ozono.
- Pedro Matas.  
Dirección General de Sanidad Vegetal, Secretaría de Agricultura,  
Ganadería y Desarrollo Rural.

**Nicaragua**

- Fernando Boza.  
Unidad Nacional de Cuarentena Agropecuaria (ACIROP), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- Hilda Espinoza.  
Dirección General del Ambiente, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).

**Panamá**

- Jorge Carles.  
Depto. de Control de Desechos Peligrosos, Ministerio de Salud.
- M.Sc. Leonardo Lamoth.  
Depto. de Control y Registro de Agroquímicos, Ministerio de Desarrollo Agropecuario.

**Paraguay**

- Victor Morel.  
Subsecretaría de Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura.
- Walter Nieto.  
Dirección Ordenamiento Ambiental, Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales y Medio Ambiente.

**Perú**

- Mayor Luis Sotomayor.  
Operaciones Técnicas y Miembro de Red ODS, SENAMHI.

- William Dale.  
Universidad Nacional Agraria La Molina.

### **República Dominicana**

- Dr. Julio Borbón.  
Junta Agroempresarial Dominicana.
- Juan Filpo.  
Comité Gubernamental de Ozono, Secretaria Estado Agricultura.

### **Trinidad y Tobago**

- Sherwin Lewis.  
Ministry of Agriculture.

### **Uruguay**

- Mirian Vega.  
Comisión Técnica Gubernamental de Ozono, Ministerio de Vivienda,  
Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

### **Venezuela**

- Luisa Hernández.  
Fondo Venezolano de Reversión Industrial Y Tecnología  
(FONDOIN).
- Magaly Rivero.  
División Insumos Agrícolas, Ministerio de Agricultura.

## ANEXO VI

## FUMIGANTES DISPONIBLES

Cuadro VI.1. Características del óxido de etileno y el fosforo de aluminio.

CARACTERÍSTICAS	OXIDO DE ETILENO	FOSFURO DE ALUMINIO
PRINCIPALES USOS	PRODUCTOS DE PRIMERA NECESIDAD, ESPECIAS, EQUIPO QUIRÚRGICO Y CIERTOS VEHÍCULOS	GRANDS, VEHÍCULOS O EDIFICIOS
ENVASES	CILINDROS DE GAS COMPRIMIDO	TABLETAS, PELLETS, SACHETS, PREPAC
VELOCIDAD PARA ELIMINAR LA PLAGA	RÁPIDO	LENTO, 2-3 DÍAS
PENETRACIÓN	NORMAL	EXCELENTE
FACILIDAD DE AIREACIÓN	BUENA	MUY BUENA
MEZCLA CON OTROS GASES	A MENUDO MEZCLADO CON DIOXIDO DE CARBONO	NO NORMALMENTE
SORCIÓN	ALTA EN PRESENCIA DE AGUA	LIGERA PERO NO SE PUEDEN VENDER PRODUCTOS DURANTE 48 HORAS
PESO MOLECULAR	44,05	34,04
GRAVEDAD ESPECIFICA AIRE = 1	1,521	1,214
SOLUBILIDAD EN AGUA	INFINITA A 0°C	MUY LIGERAMENTE SOLUBLE EN AGUA FRÍA
CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN	139	102,6 cal/G

## Continuación Cuadro VI.1.

CARACTERÍSTICAS	OXIDO DE ETILENO	FOSFURO DE ALUMINIO
OLOR	SIMILAR A LA MOSTAZA, IRRITANTE	AMONIACO
PUNTO DE EBULLICIÓN	10,7°C A 1 ATM	-87,4°C
ABSORCIÓN POR LA PIEL	SI	INSIGNIFICANTE
ENVENAMIENTO CRÓNICO (TODOS SE CONSIDERAN AGUDOS)	NO	NO
VALOR UMBRAL LÍMITE	1 ppm	0,3 ppm
LÍMITE DE EXPOSICIÓN POR PERIODO CORTO	0	1 ppm
ERUPCIONES DE LA PIEL	SI	NO
INFLAMABLE	SI 3-80% EN VOLUMEN	COMBUSTIBLE SOBRE 17.900 ppm (RARO) (1,79% EN EL AIRE)
EFFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN	AFECTA MUCHAS SEMILLAS	NINGUNO CONOCIDO
REACCIONA CON	CIERTAS VITAMINAS, SALES Y GOMAS	COBRE, ORO, PLATA, BRONCE, PAPEL DE COPIA 3H

## Continuación Cuadro VI.1.

CARACTERÍSTICAS	OXIDO DE ETILENO	FOSFURO DE ALUMINIO
DETECCIÓN	DETECTOR DE TUBOS	DETECTOR DE TUBOS
PROTECCIÓN RESPIRATORIA	MÁSCARA DE CARA COMPLETA CON CÁMISTER PARA VAPORES ORGÁNICOS	MÁSCARA DE GASES DE CARA COMPLETA PARA FOSFINA
ADVERTENCIAS	PUEDE SER CARCINOGENICO, EL NUEVO TLV HACE DIFÍCIL SU USO	FUMIGANTE MÁS PENETRANTE. ACCIÓN DEFICIENTE SOBRE ÁCAROS. EL MEJOR FUMIGANTE PARA GRANOS PARA CONTROLAR INSECTOS

Cuadro VI.2. Características del Fluoruro de sulfurilo y del ácido cianhídrico.

CARACTERÍSTICAS	FLUORURO DE SULFURILO (VIKANE)	ACIDO CIANHÍDRICO
PRINCIPALES USOS	HABITACIONES, EDIFICIOS, MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, VEHÍCULOS (NO AEROPLANOS)	ESPACIOS, GRANOS Y PRODUCTOS DE PRIMERA NECESIDAD
ENVASES	CILINDROS DE GAS COMPRIMIDO	CILINDROS DE GAS COMPRIMIDO
VELOCIDAD PARA ELIMINAR LA PLAGA	MUY RÁPIDO	EXTRAHADAMENTE RÁPIDO
PENETRACIÓN	EXCELENTE	NORMAL
FACILIDAD DE AIREACIÓN	AIREACIÓN MUY FÁCIL PERO REQUIERE MONITOREO	NORMAL
MEZCLA CON OTROS GASES	CLDROPICRINA USADA COMO AGENTE DE SEGURIDAD	NO
SORCIÓN	NO SE CONSIDERA COMO PROBLEMA	SI
PESO MOLECULAR	102,7	27,03
GRAVEDAD ESPECIFICA AIRE = 1	1,32 A 77°F (25°F)	0,9 EL HCN ES EL ÚNICO FUHIGANTE MAS LIVIANO QUE EL AIRE
SOLUBILIDAD EN AGUA	MUY BAJA 0,075%	INFINITA A TODAS LAS TEMPÉRATURAS
CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN	4.600 cal/mol A -55,2°C	210 cal/G

## Continuación Cuadro VI.2.

CARACTERÍSTICAS	FLUORURO DE SULFURILO (VIKANE)	ACIDO CIANHÍDRICO
OLOR	NINGUNO	SIMILAR A ALMENDRAS
PUNTO DE EBULLICIÓN	-55,2°C A 1 ATM	-26°C
ABSORCIÓN POR LA PIEL	LÍQUIDO PODRÍA CONGELAR, GAS NO CONSIDERADO PROBLEMÁTICO	SI, RÁPIDA
ENVENAMIENTO CRÓNICO (TODOS SE CONSIDERAN AGUDOS)	NO CONSIDERADO CRÓNICO	NO
VALOR UMBRAL LÍMITE	5 ppm	10 ppm
LÍMITE DE EXPOSICIÓN POR PERIODO CORTO	10 ppm	0
ERUPCIONES DE LA PIEL	NINGUNO A PARTIR DE GAS	NO
INFLAMABLE	NO INFLAMABLE EN CONDICIONES NORMALES PERO PUEDE FORMAR ÁCIDOS CORROSIVOS	SI, 6-41% BASE VOLUMEN
EFFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN	NO REGISTRADO EN TRATAMIENTOS DE SEMILLA	SEGURO PARA LA MAYORÍA DE LAS SEMILLAS - BAJA HUMEDAD
REACCIONA CON	NO REACTIVO CON LA MAYORÍA DE LOS MATERIALES QUE REACCIONAN CON BASES FUERTES	LEBULOSA EN FRUTAS SECAS BAJO CIERTAS CONDICIONES

## Continuación Cuadro VI.2.

CARACTERÍSTICAS	FLUORURO DE SULFURILO (VIKANE)	ACIDO CIANHÍDRICO
DETECCIÓN	MONITOR CON FUMISCOPIO. CON INTERSCAN VK50 HIRAN 101, DETECTOR VIKANE CON TUBOS KITAGAWA	DETECTOR DE TUBOS, PAPELES NARANJAS CON BENZIDINE CO. ACETATO O METILO
PROTECCIÓN RESPIRATORIA	SOLO APARATO DE RESPIRACIÓN AUTOCONTENIDA	MÁSCARA DE GASES DE CARA COMPLETA. SE SUGIERE SCBA.
ADVERTENCIAS	NO DEBE USARSE SOBRE ALIMENTOS O FÁRMACOS. DEBE EXTRAERSE ANTES DE LA FUMIGACIÓN. EXCELENTE CONTROL EN TERMITAS DE LA MADERA SECA.	RARA VEZ SE USA. MUY PELIGROSO PARA EL APLICADOR. HA CAUSADO EXPLOSIONES. SE REQUIERE PARA ALGUNOS TRABAJOS CUARENTENARIOS. CILINDRO VACIO EXPLOSIVO.

Cuadro VI.3. Características del fosforo de magnesio y del diclorvos (DDVP).

CARACTERÍSTICAS	FOSFURO DE MANGNESIO	DICLORVOS DDVP*
PRINCIPALES USOS	LUGARES, ESPACIOS EN VEHÍCULOS	ESPACIOS, CORTEZAS, SPRAY DE CONTACTO
ENVASES	TABLETAS	LÍQUIDO Y EN FAJAS. LIBERA VAPOR. TAMBIÉN SE USAN AEROSOL
VELOCIDAD PARA ELIMINAR LA PLAGA	LENTA	RÁPIDO
PENETRACIÓN	EXCELENTE	DEFICIENTE
FACILIDAD DE AIREACIÓN	MUY BUENA	MUY BUENA
MEZCLA CON OTROS GASES	NO NORMALMENTE	SE PUEDE USAR EN EXTERIORES DESPUÉS DE FUMIGAR UN LUGAR
SORCIÓN	NO CONSIDERADO UN PROBLEMA	BAJA
PESO MOLECULAR	34,04	222
GRAVEDAD ESPECIFICA AIRE = 1	1,214	7,6
SOLUBILIDAD EN AGUA	MUY LIGERAMENTE SOLUBLE EN AGUA FRÍA	LEVE HIDRÓLISIS RÁPIDAMENTE
CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN	102,6 cal/G	----

## Continuación Cuadro VI.3.

CARACTERÍSTICAS	FOSFURO DE MAGNESIO	DICLORVOS DDVP
OLOR	CARBURO, AJO	LIGERAMENTE ÁCIDO
PUNTO DE EBULLICIÓN	-87,4°C A 1 ATM	120°C 14 mm
ABSORCIÓN POR LA PIEL	INSIGNIFICANTE	SI
ENVENAMIENTO CRÓNICO (TODOS SE CONSIDERAN AGUDOS)	NO	POSIBLE
VALOR UMBRAL LÍMITE	3 ppm	350 80% TRICLOROETILENO, SOLVENTE
LÍMITE DE EXPOSICIÓN POR PERIODO CORTO	1 ppm	-----
ERUPCIONES DE LA PIEL	NO	NO
INFLAMABLE	COMBUSTIBLE SOBRE 17.900 ppm (RARO) (1,79% EN EL AIRE)	NO PERO SOLVENTE PUEDE SER INFLAMABLE
EFFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN	NINGUNO CONOCIDO	NINGUNO CONOCIDO, NORMALMENTE USADO EN SEMILLAS
REACCIONA CON	COBRE, ORO, PLATA, BRONCE, PAPEL DE COPIA DE 3M	PUEDE SER CORROSIVO SOBRE EL HIERRO Y ACERO DÚCTIL. POSIBLE SOBRE OTROS METALES.

## Continuación Cuadro VI.3.

CARACTERÍSTICAS	FOSFURO DE MAGNESIO	DICLORVOS DDVP
DETECCIÓN	DETECTOR DE TUBOS	DETECTOR DE TUBOS
PROTECCIÓN RESPIRATORIA	MÁSCARA DE CARA COMPLETA. VAPOR ORGÁNICO AMARILLO	MÁSCARA DE GASES DE CARA COMPLETA CON CANISTER GMP 448966
ADVERTENCIAS	FORMA FOSFURO DE HIDRÓGENO AL IGUAL QUE EL FOSFURO DE ALUMINIO. EL FOSFURO DE MAGNESIO SALE RÁPIDAMENTE.	USO REGULAR EN EL TRATAMIENTO DE ESPACIOS, EFECTIVO SOBRE INSECTOS EXPUESTOS, ACCIÓN DEFICIENTE SOBRE ARAÑAS

### Propiedades Físicas del Bromuro de Metilo

- Fórmula :  $\text{CH}_3\text{Br}$
- Peso Molecular : 94,95
- Punto de Fusión :  $-93,66^\circ\text{C}$
- Punto de Ebullición :  $3,56^\circ\text{C}$
- Presión de Vapor<sub>(20°C)</sub> : 1420 mm. Hg
- $d_{40}^{\text{C}}_{\text{liq}}$  : 1,73 g/l
- $d_{40}^{\text{C}}_{\text{gas}}$  : 3,974 g/l
- $\mu_{\text{D}}^{20}$  : 1,4432
- $\mu_{\text{rC}}$  : 0,397 cp
- $\text{Cp}_{(-93,6^\circ\text{C})}$  : 0,165 cal/g $^\circ\text{C}$
- $\text{Cp}_{(-10^\circ\text{C})}$  : 1,97 cal/g $^\circ\text{C}$
- $\text{Cp}_{(20^\circ\text{C})}$  : 0,107 cal/g $^\circ\text{C}$
- Calor latente de vaporización : 61,52 Cal/G
- Solubilidad (20 $^\circ\text{C}$ , 748 mm Hg)
  - Agua : 1,75%
  - EtoH : soluble
  - $\text{CHCl}_3$  : soluble
  - éter : soluble
  - $\text{CS}_2$  : soluble
  - $\text{CCl}_4$  : soluble
- Forma cristales (< 4 $^\circ\text{C}$ ) :  $\text{CH}_3\text{Br}\cdot 20\text{H}_2\text{O}$
- Letalidad (ratas, 6 hr.) : 514 ppm
- Incoloro, inodoro, no flamable en aire, se quema con  $\text{O}_2$ .

**Otras características del BM**

- Principales usos : Espacios, granos, vehículos estáticos y alimentos.
- Envase : Cilindros de gas comprimido
- Velocidad de eliminación de la plaga : Muy rápido
- Penetración : Muy buena
- Facilidad de aireación : Buena
- Mezcla con otros gases : Se puede usar con cloropicrina por seguridad
- Sorción : Puede ser un problema con algunos materiales
- Olor : Ninguno a concentración normal
- Absorción por la piel : Si, ligera
- Envenenamiento crónico : Si
- Valor umbral límite : Actualmente se sugiere 5 ppm
- Límite de exposición a un período corto : 0
- Erupciones de la piel : Si
- Inflamable : No inflamable bajo condiciones normales, puede formar ácidos corrosivos
- Efecto sobre la germinación : Variable con la semilla y el contenido de humedad
- Reacciona con : Como gas con compuestos del azúfre. Líquido reacciona con el aluminio y el magnesio
- Detección : Monitor con fumiscopio. Detector de tubos.
- Protección respiratoria : Ahora se utiliza un aparato de respiración autocontenida
- Consideraciones : Buen fumigante para espacios para vegetales alimenticios. Buena acción en granos cuando hay recirculación. Elimina huevos de ciertas plagas.

## ANEXO VII

**LA FOSFINA COMO ALTERNATIVA DEL BROMURO DE  
METILO EN LA FUMIGACION DE PRODUCTOS  
NO PERECEDEROS.<sup>1</sup>**

Los productos no perecederos son aquellos que pueden ser conservados por un período mas o menos largo, de semanas o meses, sin requerir condiciones ambientales especiales. Entre ellos están los granos de cereales (arroz, avena, cebada, trigo), café y menestras, harinas (de pescado, trigo) y las fibras (algodón, sisal, yute).

Los productos no perecederos tienen gran importancia en la economía mundial y en el comercio. Una reciente compilación estadística muestra que en promedio, los países del Sub-grupo Andino importan algo más de 50 millones de toneladas de cereales al año. Ello representa el 57% del peso total de los productos alimenticios que entraron a los cinco países de la sub-región.

Es de notar que la conservación de los productos no perecederos durante su almacenamiento y transporte, así como su paso a través de los sistemas cuarentenarios nacionales, revisten supremo interés.

Dependiendo de las condiciones de almacenamiento y de transporte, estos productos pueden ser afectados por el ataque de insectos, ácaros, hongos, bacterias, roedores y aves. Se calcula una merma en el peso de los cereales

---

<sup>1</sup> William E. Dale, Ph.D.  
Universidad Nacional Agraria La Molina  
Regional Workshop on Methyl Bromide for Latin America and the  
Caribbean. Colombia-1995.

fluctuante entre el 5 y 10%, por sólo la actividad de insectos. Ello significa que, cada año, los países de la subregión Andina pierden entre 250.000 a 500.000 toneladas de cereales, además de la disminución de la calidad física y nutritiva de los productos.

## **SOLUCION DE LOS PROBLEMAS SANITARIOS EN LOS NO PERECEDEROS**

Si se decide actuar contra las plagas, dicha acción podrá caer en una de las siguientes tres alternativas, cada una con su propio valor específico y diferente requerimiento técnico.

- La cuarentena comprende las medidas, amparadas en normas legales de cumplimiento obligado, destinadas a impedir el ingreso, a un país o región, de productos con organismos dañinos extraños; las técnicas de control deben ser muy eficientes y rápidas.

- La erradicación es la acción de destruir todos los individuos de una especie, establecidos en un lugar; las técnicas deben ser eficientes, poco costosas y moderadamente rápidas.

- El manejo de poblaciones plaga, consiste en la disminución del número de organismos plaga, sólo hasta un nivel que no cause daño económico. El límite de la reducción es el equilibrio de costos entre el gasto que representa la aplicación de técnicas de manejo, con el precio de reemplazo y la incertidumbre del perder un volumen mayor del producto; las técnicas pueden ser moderadamente eficientes, no muy costosas o exigentes en velocidad de acción.

Las técnicas de control son las herramientas disponibles en la acción de prevenir o destruir la incidencia de una plaga. Una técnica cualquiera, para ser aplicable o técnicamente viable, deberá ser eficaz, esto es reunir las condiciones de eficiencia (garantía), economía (accesibilidad), disponibilidad (oportunidad) y seguridad (riesgo).

Las técnicas de control son variadas. Las principales se agrupan en técnicas de control físico o manipulación ambiental, de control biológico y de control químico. Pueden ser usadas solas o en combinación, buscando siempre que sean afines y además sinérgicas.

Hasta el momento, el control químico juicioso representa la medida de control más eficaz contra las plagas de productos no perecederos y consiste en la aplicación de plaguicidas como insecticidas, acaricidas, fungicidas, bactericidas, rodenticidas u ornitocidas. Muy a menudo, se combina con la técnica de control físico, para asegurar prolongada protección de los productos. Dependiendo de las circunstancias, también podrán combinarse, ambas, con el control biológico, en lo que se conoce como técnica de control multilateral.

Los plaguicidas, de acuerdo a su formulación, pueden ser espolvoreados, atomizados, nebulizados, asperjados o gasificados. Los plaguicidas que se aplican como gas son los fumigantes tales como ácido cianhídrico, fluoruro de sulfurilo (Vikane), óxido de etileno, fosfuro de magnesio y diclorvos entre otros.

#### La fosfina

La fosfina es una gas, cuyos primeros informes como insecticida datan de 1935; los del bromuro de metilo, fueron en 1932. Es un producto producido

en muchos lugares del mundo: Alemania, Estados Unidos, Chile e India, entre otros. El gas insecticida se produce por la descomposición del fosforo de aluminio o del fosforo de magnesio (sólidos) en un ambiente húmedo. Cuanto más humedad exista, tanto más rápida será la emisión y acumulación del gas en la vecindad del lugar donde se colocaron los fosforos. Se considera que la liberación de fosfina es más rápida a partir del fosforo de magnesio.

Los fosforos de aluminio y de magnesio, pueden conseguirse en pastillas de unos 9 mm de diámetro, 7 mm de espesor y cuyo peso es de 0,6 gramos; o en tabletas de 19 mm de diámetro, igual espesor y de 3 gramos. También vienen en bolsas de 34 Kg y rollos plásticos de 20 cm por 4,5 m y 3,4 kilos de peso. Cada 3 gramos de fosforo se libera 1 gramo de fosfina, dejando un residuo blanquecino de hidróxido de aluminio o de magnesio, mezclado con trazas de fosforos. En el caso del fosforo de aluminio el residuo que queda es de aproximadamente 2%, mientras que en el caso del fosforo de magnesio, sólo de 0,2%.

Las condiciones para la eficiente aplicación de un fumigante cualquiera y esto incluye a la fosfina, es la hermeticidad del ambiente. Los productos no perecederos pueden ser transportados en bodegas, contenedores o en barcos, aviones o trenes, almacenados en silos, ensacados, en fardos, etc.. Cualquier ambiente puede ser hermetizado convenientemente y, desde luego, fumigado con fosfina, siempre que no se exponga con cobre, bronce, oro o plata, metales o aleaciones que reaccionan con la fosfina y que se cumplan los requisitos de tolerancia de residuos.

Las operaciones de aplicación se cumplen en tres fases:

- Pre-intervención: en esta fase se determina la especie y estado de desarrollo de la plaga que se va a controlar, la dosis del producto a aplicar (90 tabletas

por 1000 toneladas de grano o 4 tabletas por tonelada métrica de trigo) y la temperatura y humedad del producto. Además se debe disponer del producto a aplicar, los materiales para hermetizar el ambiente y el equipo de protección personal y de primeros auxilios.

- Intervención: en esta fase se aplica el producto. Si la temperatura está entre 16 y 25 °C toma cuatro días; entre 5 y 10 °C toma 14 días y a menos de 5 °C no se recomienda emplear fosfina.

-Post-intervención: en esta fase se ventila el lugar por varias horas, hasta que se compruebe con un detector que no existan niveles peligrosos (0,3 ppm del gas).

## **DESVENTAJAS COMO GAS ALTERNATIVO AL BM**

Se consideran como graves desventajas que elimine lentamente las plagas, su capacidad de inflamarse espontáneamente, tener costo relativamente alto y presentar actividad limitada a ciertas plagas.

La fosfina es considerada como uno de los gases más tóxicos para los insectos en productos no perecederos. En los insectos, actúa mejor en los adultos que en los estados inmaduros, es por ello que las fumigaciones con fosfina son prolongadas (más de cuatro días) permitiendo que los estados menos susceptibles cambien. Este factor crea inconvenientes técnicos, principalmente, los derivados de la disminución de la concentración del gas en ambientes no tan herméticos. Igualmente, crea una tremenda dificultad en los embarques de productos que demandan la detención del estibaje y un mayor costo por el alquiler de la nave y uso del puerto.

Además, es conocido que las concentraciones superiores a 17.500 ppm producen inflamación espontánea, si bien estas concentraciones rara vez ocurren, cuando se dosifica y distribuye convenientemente los fosfuros. La

dosificación de acuerdo a las especies varía en términos de susceptibilidad, igual que la determinación exacta del tiempo real de exposición y de ventilación.

Estimaciones realizadas indican que el tratamiento con fosfina es aproximadamente 2 veces más costoso que el de bromuro de metilo, situación que podría reducirse con el ajuste de las dosis y un trabajo más eficiente por parte de los obreros encargados de las tareas de fumigación. Esto último se relaciona con la preparación y práctica técnica del personal de las empresas fumigadoras.

Por último, la acción de la fosfina es excelente contra los insectos, que son la principal plaga de productos no perecederos, sin embargo en ciertas circunstancias, se hace necesario la aplicación de acaricidas por la capacidad de ciertas especies de ácaros saprófagos cuyos estados inmaduros pueden hacerse resistentes a la fumigación con fosfina.

LIMITACION	BM	FOSFINA
Costo US\$/tm grano	0,24	0,45
Duración del tratamiento	1 día	3 días
Autocombustión	no	sí (> 17.500 ppm)
Eficiencia	control polivalente	mejor uso como insecticida

**ANEXO VIII****FOSFINA PARA FUMIGACIÓN DE CEREALES Y OTROS  
PRODUCTOS ALMACENADOS <sup>1</sup>**

El fosfuro de hidrógeno gaseoso se genera a partir de tabletas o píldoras, fuertemente comprimidas, bajo la influencia de la humedad.

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL FOSFURO DE  
HIDRÓGENO**

El fosfuro de hidrógeno (también llamado fosfamina) es un compuesto formado por un átomo de fósforo y tres de hidrógeno, respondiendo a la fórmula  $\text{PH}_3$ . Es un gas ideal que permanece en su estado gaseoso a cualquier temperatura normal, licuándose a  $-87^\circ\text{C}$ . La densidad es de 1,2, es decir que pesa solamente un 20% más que el aire. Esta diferencia de peso no presenta ninguna desventaja en la fumigación, ya que gracias a su gran poder de difusión se mezcla rápidamente con el aire. En un espacio cerrado, el fosfuro de hidrógeno se difunde uniformemente en todas las direcciones.

Es incoloro y tiene un olor típico que recuerda al de los ajos y similar al del carburo, cuyo olor precisamente proviene de vestigios de fosfamina. Cuanto más puro sea el fosfuro de hidrógeno menos olor se apreciará, por lo que se hace necesario añadirle una sustancia que desprenda cierto olor que sirva de aviso.

La fosfamina pura es prácticamente insoluble en agua y casi insoluble en grasas, así como inerte a temperaturas normales. No produce reacciones

químicas con los productos fumigados. Puede, no obstante, reaccionar con algunos metales, particularmente con el cobre y sus compuestos, así como con el oro y la plata, sobre todo a temperaturas y humedades elevadas. El fosfuro de hidrógeno concentrado es inflamable a la relativamente baja temperatura de ignición de unos  $100^{\circ}\text{C}$ . Puede formar una mezcla explosiva con el aire, lo cual también sucede con muchos otros fumigantes. Sin embargo durante una fumigación nunca puede ser alcanzado el límite más bajo de explosión, incluso bajo las condiciones más desfavorables.

El fosfuro de hidrógeno es venenoso, ya que de otro modo no podría utilizarse para el control de plagas. Su aguda toxicidad puede ser comparada en ciertos aspectos con la del ácido cianhídrico, si bien es más reducida. Por otra parte, las intoxicaciones debidas al fosfuro de hidrógeno nunca son crónicas.

Incluso a concentraciones muy bajas, el fosfuro de hidrógeno es efectivo contra todos los estados de desarrollo de los insectos. Su acción, sin embargo es lenta, requiriéndose un tiempo de exposición de varios días. Dentro de ciertos límites, la prolongación del tiempo de exposición permitirá una reducción de las dosis recomendadas.

Por razones técnicas es difícil, si no imposible, almacenar y aplicar el fosfuro de hidrógeno en estado gaseoso, es decir, extraído de cilindros, bajo presión como se hace con otros productos o el bromuro de metilo. Es más conveniente, seguro y sencillo el producirlo directamente en el lugar de aplicación partiendo de fosfuro hidrolizable. Para este fin, el fosfuro de aluminio con un alto grado de pureza ha demostrado ser especialmente adecuado. La idea de generar un fumigante directamente en el lugar de aplicación no es nueva, ya que el ácido cianhídrico se viene obteniendo gracias a la hidrólisis de un cianuro sólido, sometido a la influencia de la humedad ambiente.

El uso de un producto en estado sólido, seco, presenta numerosas ventajas. Puede ser envasado y transportado más fácilmente, ocupa poco espacio y se puede almacenar, prácticamente, por tiempo indefinido.

La hidrólisis del fosforo de aluminio es un proceso exotérmico, es decir, en el cual se desprende calor. Cuanto más rápida sea la reacción, tanto mayor será la concentración del mismo. Al controlar la hidrólisis del fosforo de aluminio, y por lo tanto la generación del gas, se evita la ignición espontánea del gas.

El control de la hidrólisis se logra impregnando el fosforo de aluminio puro, obtenido a su vez de materias primas con un elevado grado de pureza, con parafina farmacéuticamente pura y mezclándolo con una determinada cantidad de carbamato amónico (29%) para luego formar tabletas y/o píldoras fuertemente comprimidas.

El desprendimiento del gas está controlado por la dureza y el recubrimiento de parafina de los comprimidos. El carbamato amónico es muy inestable y precisa un pequeño aumento de temperatura para descomponerse en anhídrido carbónico y amoníaco, que actúan como gases protectores. Además tienen como función diluir el fosforo de hidrógeno formado de la hidrólisis del fosforo de aluminio, evitando su inflamación.

El reducido tamaño y la gran superficie de las tabletas y píldoras permiten una rápida difusión del fosforo de hidrógeno desprendido en cada momento, evitándose de esta manera que en algún punto pueda formarse una concentración de gas peligrosa. Además, utilizando fosforo de aluminio de alta pureza, no cabe la posibilidad de que se forme difosforo de hidrógeno, altamente autoinflamable.

El desprendimiento del gas presenta una reacción diferida, ya que a una temperatura de 25°C y con una humedad relativa de 50-70%, éste no comienza a desprenderse hasta que hayan pasado unas 4 horas después de haber expuesto los comprimidos al ambiente. Con temperaturas y humedades superiores, el tiempo de iniciación de la descomposición es inferior, unas 2-3 horas después de su exposición.

Otra forma de percibir el desprendimiento del gas es por el cambio de color que experimentan las tabletas o píldoras. Su superficie, inicialmente gris-verdosa, brillante, pasa a ser mate, más tarde rugosa y blanquecina; posteriormente de su superficie sale un polvo blanco, su contextura se vuelve quebradiza, su volumen aumenta hasta que al final de la descomposición únicamente queda un residuo de polvo blanco-grisáceo que representa aproximadamente 5 veces el volumen inicial de los comprimidos.

Las tabletas, una vez expuestas al ambiente, tardan, en promedio y de acuerdo con la temperatura y la humedad, 48 a 72 horas en descomponerse totalmente; las píldoras lo hacen en 12 a 48 horas (Figura VIII.1).

El desprendimiento de gas más intenso se produce entre la 4ª y la 12ª hora. Inclusive durante el período de mayor intensidad de gasificación los comprimidos permanecen fríos. El calor producido durante la hidrólisis del fosforo de aluminio (reacción exotérmica) es absorbido en la descomposición del carbamato amónico (reacción endotérmica).

Finalmente sólo queda un residuo de polvo finísimo compuesto por oxihidrato de aluminio (componente de la arcilla), el cual, según la humedad y el tiempo de exposición puede contener todavía un ligero vestigio de fosforo de aluminio inferior al 1% del peso inicial del comprimido calculado como  $\text{PH}_3$ .

DESCOMPOSICION DE LAS TABLETAS O  
PILDORAS DE FOSFINA EXPUESTAS AL  
AIRE (TEMPERATURA DE 20° C)

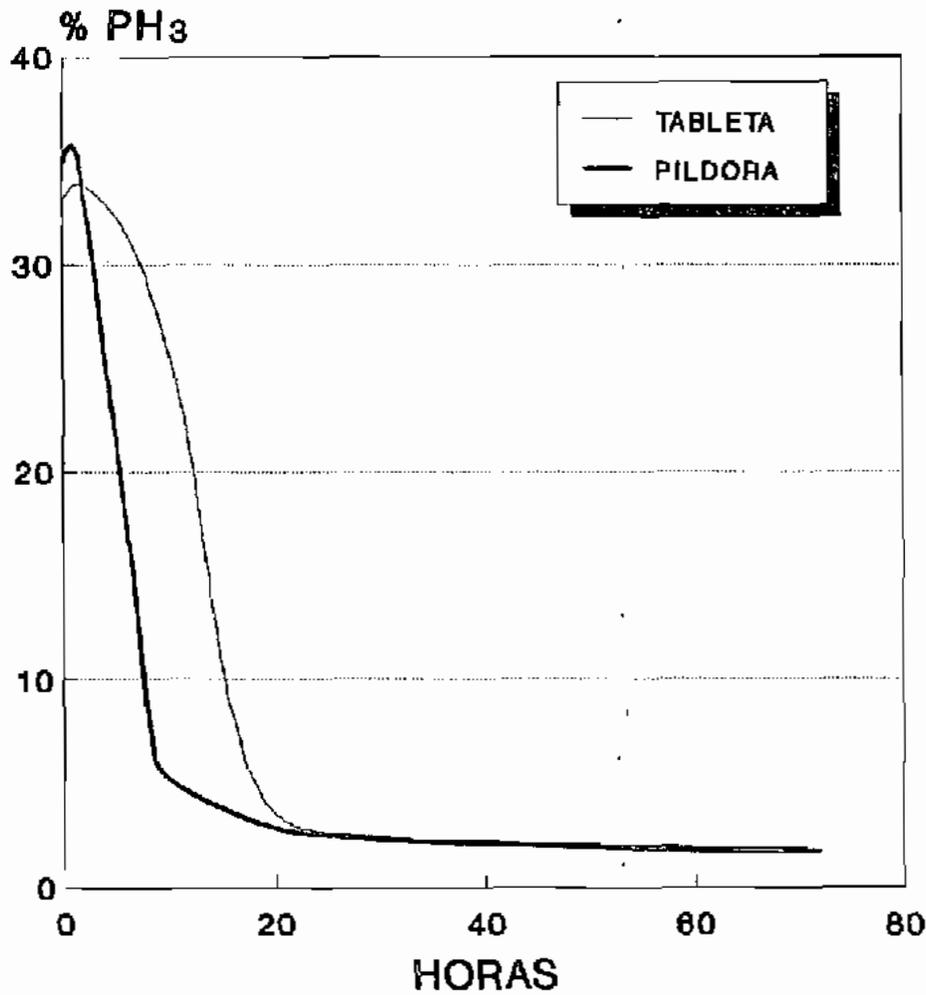


Figura VIII.1 Descomposición de tabletas y píldoras de fosfina a 20° C.

El oxihidrato de aluminio así producido se comporta como un insecticida eficaz debido a su actividad superficial, por lo que mientras permanezca con el producto tratado aportará cierto grado de protección contra una posible reinfestación.

## **DOSIS RECOMENDADAS Y TIEMPO DE EXPOSICION**

Los resultados de una fumigación dependen de la dosis y del tiempo de exposición del gas.

Hasta cierto punto existe una relación entre la dosis y el tiempo de exposición. No obstante, estos dos factores no pueden ser intercambiados entre sí, debiéndose dar más importancia al último que al primero.

### **Dosis recomendadas**

Las dosis dependen sobre todo de los siguientes factores:

- Tipo de bodegas.
- Plaga a controlar.
- Temperatura.

#### **1.- Forma de almacenaje**

La hermeticidad del edificio o local en que se ha de practicar la fumigación, así como el tipo de lona con que debe cubrirse el producto, representan un factor decisivo para determinar la dosis.

El éxito y la seguridad de las fumigaciones de espacios con fosfuro de hidrógeno, al igual que con otros gases, dependen mucho de una buena hermeticidad. Al difundirse los gases buscan siempre el camino más fácil,

sobre todo aquellos que presentan un gran poder de penetrabilidad como sucede con el fosfuro de hidrógeno. Por este motivo cuando la hermeticidad es deficiente, el gas se escapa y la concentración restante no es suficiente para lograr una mortalidad completa dentro del producto.

Cuando los productos deben ser tratados a granel, en bodegas o silos, la dosis se calcula por tonelada; cuando se trate de mercancías envasadas, bajo lonas o en locales cerrados, la dosis se calcula por volumen ocupado.

Las dosis recomendadas se basan en la distribución manual. Cuando la distribución se lleve a cabo mediante un distribuidor de píldoras, la dosis puede ser reducida considerablemente.

a) En silos.

En silos verticales de gran capacidad y con buena hermeticidad, la dosis recomendada es de 2 a 4 tabletas por tonelada de grano almacenado. Cuando se utiliza un distribuidor automático bastará una dosis de 6 a 10 píldoras por tonelada.

Tratándose de silos metálicos tipo Butler, la dosis puede oscilar entre 4 y 6 tabletas por tonelada o 12 a 18 píldoras utilizando un distribuidor automático.

b) Granos o productos similares, a granel, en bodegas.

-Cubiertos con lona de plástico: de 3 a 5 tabletas por tonelada.

- Sin cubrir: de 3 a 5 tabletas por tonelada. Esta dosis se aumentará en  $\frac{1}{2}$ -1 tableta por  $m^3$  de espacio libre (únicamente cuando el producto

almacenado ocupe por lo menos 2/3 partes del espacio total del recinto y éste pueda ser debidamente hermetizado).

c) Mercancías envasadas apiladas bajo lonas de plástico o en bodegas.

De 1 a 2 tabletas por m<sup>3</sup> de espacio total o de 5 a 10 píldoras por m<sup>3</sup>.  
Nota importante: la dosis máxima para el tratamiento del tabaco no deberá exceder de 1 tableta por m<sup>3</sup>.

d) Fumigación de bodegas.

De ½ a 1 tableta por m<sup>3</sup>.

## 2.- Plagas a combatir

a) Insectos: en el caso de los insectos muy resistentes como **Trogoderma spp.** o **Sitophilus spp.**, se recomiendan las dosis máximas indicadas según los diferentes tipos de almacenamiento. Para combatir insectos menos resistentes, tales como **Tribolium spp.** o cualquier tipo de polilla, las dosis más reducidas de las indicadas suelen ser suficientes.

b) Acaros: los ácaros son extremadamente resistentes. Para controlarlos se recomienda aumentar la dosis máxima indicada, para cada modalidad de almacenamiento, en un 20%.

## 3.- Temperatura

Todos los gases son tanto más eficaces cuanto mayor sea la temperatura y esto es igualmente válido para el fosfuro de hidrógeno.

Para temperaturas superiores a 25° C; en los productos, la dosis puede reducirse hasta la mínima indicada para cada caso. Experiencias prácticas han demostrado que no deben realizarse fumigaciones cuando la temperatura sea inferior a 5° C.

### Tiempo de exposición

El tiempo de exposición depende sobre todo de los siguientes factores:

- Temperatura interna del producto.
- Humedad.
- Tipo de producto.
- Plaga a controlar.

Siempre deberá ser mantenido el tiempo mínimo de acción del gas, ya que de otro modo, cualquier reducción del mismo pone en peligro, no solamente el éxito del tratamiento, sino también al personal y a terceros, debido a que los comprimidos continuarán desprendiendo fosforo de hidrógeno hasta su total descomposición.

Temperaturas aproximadas	Días (tabletas)	Días (píldoras)
de 10 a 15° C	5 días	4 días
de 16 a 20° C	4 días	3 días
superior a 20° C	3 días (mínimo)	2 días (mínimo)

El factor más importante en todos los casos es la temperatura mínima del producto. Como ya se indicó anteriormente jamás se deberá reducir el

tiempo mínimo de exposición indicado para cada caso. Un tiempo de exposición superior al recomendada nunca podrá ser desfavorable, más bien ventajoso, para el tratamiento.

En ningún caso el tiempo de exposición será inferior a 72 horas cuando se empleen tabletas y a 48 horas tratándose de píldoras.

**Aireación:** Una vez finalizado el tiempo de exposición se deberá airear durante unas 6 horas aproximadamente el recinto tratado, para lo cual se abrirán todas las puertas y/o ventanas con el fin de establecer corrientes de aire. Si el producto se cubrió con lonas, se procederá a retirarlas después de 2 a 3 horas de preaireación. Para ello, con máscaras antigas<sup>2</sup> puestas, se quitarán los pesos destinados a ajustarlas al suelo para que haya hermeticidad. Posteriormente se enrollará rápidamente una quinta parte de la longitud de las lonas, empezando por la parte más alejada de la salida. Efectuando esto, los operarios abandonarán el recinto. Finalizando el tiempo de preaireación, se retirarán completamente las lonas y se continuará con la aireación durante otras 3 a 6 horas. Cumplido el tiempo de aireación prescrito los recintos y los productos se podrán declarar exentos de peligro.

En caso de suponerse la existencia de gas en algún recinto tratado, se deberá proceder a determinar la concentración de gas antes de que puedan ser utilizados de nuevo después de la aireación. Para este fin existen en el mercado aparatos detectores de diferentes fabricantes; con los tubos de ensayo se puede determinar de una manera sencilla la concentración de gas

---

<sup>2</sup> Las máscaras deberán ser de tipo universal provistas de válvula de escape y equipadas con filtro especial contra fosfuro de hidrógeno. Filtros para HCN, bromuro de metilo u otro fumigante no son aptos para este fin.

existente y el valor MAC (máxima concentración autorizada), que varía para cada país. Así, por ejemplo, en Alemania éste es de 0,1 ppm. y en Australia y Estados Unidos, de 0,3 ppm.

No obstante, si se detecta todavía algo de gas se continuará con la aireación hasta que el detector no acuse la presencia de éste.

Observación: los papeles detectores a base de nitrato de plata no deberán emplearse para una detección garantizada de fosfuro de hidrógeno.

## ANEXO IX

Lista de países encuestados por el MBTOC  
(Subcomité "Productos Perecibles") para  
determinar el uso de BM en postcosecha en  
productos perecibles.

Argentina	Italia	India
Australia	Costa de Marfil	Indonesia
Bélgica	Japón	Israel
Bolivia	República de Corea	Uruguay
Brasil	Malasia	Venezuela
Canadá	México	
Chile	Marruecos	
China	Nueva Zelandia	
Colombia	Panamá	
Costa Rica	Filipinas	
Cuba	Polonia	
Dinamarca	Arabia Saudita	
Estados Unidos	Singapur	
Ecuador	Sud Africa	
Egipto	España	
Fiji	Suecia	
Francia	Suiza	
Alemania	Tailandia	
Grecia	Holanda	
Guatemala	Turquía	
Honduras	Reino Unido	
Hungría	República Dominicana	