

35/92

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

MINISTERIO DE AGRICULTURA
FUNDACIÓN FONDO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

INFORME DE AVANCE

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

*Marco Schwartz M.
Universidad de Chile*

*Fernando Figuerola R.
INTEC-Chile*

SANTIAGO-CHILE

1995

PROYECTO

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

INFORME DE AVANCE

*Director del proyecto : Dr. Marco Schwartz
Profesor Titular*

*Coinvestigadores : Ing. Agr. M.S. Fernando Figuerola
INTEC-CHILE*

*Sr. Edmundo Araya
Director Ejecutivo, FDF*

Ing. Agr. Marcela Sepúlveda

Ing. Agr. Liliana Villanueva

*Unidad responsable : Facultad de Ciencias Agrarias y
Forestales. Departamento de
Agroindustria y Tecnología de los
Alimentos. Universidad de Chile.*

*Patrocinantes : Fundación Fondo de Investigación
Agropecuaria (FIA / Ministerio de
Agricultura).*

Asociación de Exportadores, A.G.

RESUMEN EJECUTIVO

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, está ratificado a la fecha por 73 países, entre los cuales se encuentra Chile, y 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%). 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.

Por otro lado, 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.

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. Como producto químico utilizado en alimentos, actualmente se encuentra en trámite de recertificación en la Enviromental

Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. Por otra parte y dada la intervención de grupos ecologistas, especialmente de la ciudad de Filadelfia, la misma EPA está analizando su clasificación como producto nocivo. Asimismo las Naciones Unidas analiza, junto a otros posibles contaminantes, la situación del Bromuro de Metilo mediante una Comisión especial que tomará importantes decisiones sobre este compuesto químico.

La fumigación, proporcionalmente menos relevante a nivel mundial, es extraordinariamente importante para Chile, que debió fumigar sobre 50 millones de cajas de frutas la temporada 1992/93.

Por otra parte, autoridades del U.S. Department of Agriculture (USDA) y del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), se han planteado metas tendientes a bajar la fumigación de fruta chilena en EE.UU., de 40% en las próximas temporadas hasta alcanzar un 100% en el futuro, en una reunión bilateral realizada en Chile.

El cuestionamiento del bromuro de metilo, principal fumigante de productos agrícolas a nivel mundial, ha obligado a la búsqueda de alternativas, que el USDA ha analizado 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 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 en el año 2001, 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 plantea la problemática referente al uso del BM y las posibles alternativas en vista para enfrentarla. Además, se describe lo que acontece en el estado de California de los Estados Unidos ya que 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.

Las alternativas que han sido planteadas incluyen la adsorción, recuperación y/o reciclaje del BM. En este sentido la tecnología recomendable que reúne las opciones señaladas, parece ser el uso de la unidad Bromosorb, 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. El criterio cuarentenario basado en probit 9 (99,9968%) que rige

actualmente a nivel mundial debe analizarse críticamente y ser adaptado a las condiciones particulares de cada plaga, la que siendo tratada con dosis subletales de radiación no es capaz de continuar su ciclo, reafirmando lo propuesto por el ICGFI (1991a) como criterio de tratamiento cuarentenario para frutas y hortalizas frescas tratadas con radiaciones ionizantes.

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. El congreso norteamericano aprobó una legislación que llama a su prohibición en un 100% para el mismo año, en tanto que Naciones Unidas ha recomendado una reducción voluntaria del 25% en el uso mundial.

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

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DIAGNOSTICO DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE CÁMARAS DE FUMIGACIÓN Y PREFRÍO EN CHILE.....	3
2.1.	<i>Evolución de los procesos de fumigación de uva en Chile.....</i>	<i>3</i>
2.2.	<i>Capacidad y número de cámaras de fumigación existentes en Chile.....</i>	<i>5</i>
2.3.	<i>Características de las cámaras de fumigación en Chile....</i>	<i>8</i>
2.4.	<i>Procedimiento de fumigación.....</i>	<i>9</i>
2.5.	<i>Instalaciones de prefrío existentes en Chile.....</i>	<i>9</i>
2.6.	<i>Observaciones sobre los procesos de fumigación en Chile.....</i>	<i>10</i>
3.	ANTECEDENTES DE LA SITUACIÓN DEL BROMURO DE METILO EN CALIFORNIA.....	14
3.1.	<i>Efectos del uso del bromuro de metilo.....</i>	<i>16</i>
3.1.1.	<i>Efectos del BM en el ser humano.....</i>	<i>16</i>
3.1.2.	<i>Efectos del BM sobre la capa de ozono.....</i>	<i>17</i>
3.2.	<i>Efectos de la eliminación del bromuro de metilo.....</i>	<i>19</i>
3.2.1.	<i>Recientes restricciones al bromuro de metilo en California.....</i>	<i>22</i>
3.2.2.	<i>Fumigación de suelos en California.....</i>	<i>23</i>
3.2.3.	<i>Fumigación de postcosecha.....</i>	<i>24</i>
3.2.4.	<i>Fumigación de construcciones.....</i>	<i>25</i>

3.3. <i>Tratamientos alternativos en función del cultivo.....</i>	26
3.3.1. <i>Impacto de la cancelación del uso del BM en California.....</i>	28
3.3.2. <i>Análisis del impacto de la cancelación del uso del BM en California.....</i>	30
3.4. <i>Efectos económicos de la eliminación del BM en la postcosecha.....</i>	32
3.4.1. <i>Impacto de la eliminación del BM en nueces.....</i>	34
3.4.2. <i>Efecto cuarentenario.....</i>	36
3.4.3. <i>Impacto de la eliminación del BM a largo plazo.....</i>	39
4. ORGANISMOS VINCULADOS CON EL TEMA DE BROMURO DE METILO.....	40
5. PRODUCTOS ALTERNATIVOS PARA EL BROMURO DE METILO.....	42
5.1. <i>Alternativas en suelos.....</i>	43
5.1.1. <i>Alternativas no químicas para el BM.....</i>	44
5.1.2. <i>Alternativas químicas.....</i>	45
5.2. <i>Alternativas para productos no perecibles.....</i>	46
5.3. <i>Alternativas para productos perecibles.....</i>	47
5.4. <i>Alternativas para estructuras.....</i>	49
6. MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DEL BROMURO DE METILO.....	51
6.1. <i>Recuperación del bromuro de metilo.....</i>	52
6.1.1. <i>Adsorción en carbón activado.....</i>	52
6.1.2. <i>Reciclaje del BM adsorbido en carbón activado.....</i>	53
6.1.3. <i>Condensación carbón activado.....</i>	54

6.1.4. Reprocesamiento y reciclaje con el método de condensación y carbón activado.....	54
6.1.5. Adsorción en líquidos reactivos.....	55
6.1.6. Otras técnicas de recuperación.....	56
6.1.7. Terr-Aqua Enviro Systems Inc.....	58
6.2. Tecnologías en Desarrollo.....	61
6.2.1. Sistema Bromosorb de Halozone.....	61
6.2.2. Radiaciones Ionizantes.....	67
6.2.3. Investigaciones realizadas en Chile.....	70
7. CONCLUSIONES.....	72
8. REFERENCIAS CONSULTADAS.....	74
ANEXO I.....	79

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

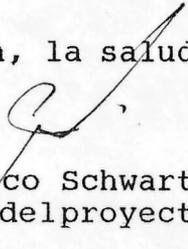
Santiago, septiembre 20 de 1995

Señora
Ana María Perez
Secretaria Ejecutiva Adjunta
FIA
Presente

De mi consideración:

Tengo el agrado de adjuntar cuatro ejemplares del informe de avance del proyecto Tratamiento de las emisiones de bromuro de metilo en cámaras de fumigación (80 págs), que esa Fundación está patrocinando.

atentamente, Agradeciendo su atención a ésta, la saluda


Dr Marco Schwartz
Director del proyecto

1. INTRODUCCIÓN

El bromuro de metilo, junto a los compuestos clorofluorocarbonados y halones - empleados en refrigeración por su condición de sustancia que descompone el ozono atmosférico - fue cuestionado en 1992 por el Protocolo de Montreal, el que acordó reducir su empleo en todos los usos agrícolas. El Protocolo de Montreal 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.

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. Los acuerdos generales fueron los siguientes :

- *Inclusión del BM en la lista de producto químico que colabora al deterioro de la capa de ozono, registrándose como sustancia controlada.*
- *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.*
- *Disminución de sus usos no cuarentenarios a partir del año 2000 (con alternativas que van desde 0% al 25%).*

- *En relación a los países en desarrollo, el 01 de enero de 1996 se definirá el año base, para determinar el calendario que regulará el consumo de este fumigante.*

Por otra parte, la Environmental Protection Agency (EPA) ha propuesto la prohibición del uso del BM a partir del año 2000, fecha que podría ser adelantada por la presión de los ecologistas estadounidenses.

No hay duda alguna que el uso de este producto será paulatinamente prohibido en los países desarrollados, generándose graves consecuencias comerciales para el sector exportador chileno, de no existir alternativas técnicas y económicamente viables, específicamente para la exportación de uva de mesa al mercado de EE.UU.

Teniendo presente esta situación, el presente trabajo plantea la problemática asociada al uso del BM y posibles alternativas a los tratamientos realizados con dicho fumigante. Además, realiza un análisis de lo que acontece en el estado de California de los Estados Unidos ya que la 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.

2. DIAGNOSTICO DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE CÁMARAS DE FUMIGACIÓN Y PREFRÍO EN CHILE

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 I.1).

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. 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 1), 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, equivalente al 62% del total exportado a los EE.UU. en ese período. En la temporada 1991/92, dichos procesos

se redujeron a 9,7 millones, equivalentes al 29,4% en relación al total embarcado a los EE.UU. Esta situación prácticamente se ha mantenido hasta la temporada pasada.

Cuadro 1. Volúmenes de uvas fumigadas en Chile con destino a los EE.UU., por región (cajas).

Región	1989/90		1990/91		1991/92	
	Cajas	% *	Cajas	% *	Cajas	% *
III	1.494.914	56,8	1.468.722	93,5	631.905	23,7
IV	5.326.752	59,8	2.118.969	32,0	2.060.037	26,5
V	10.108.204	92,7	3.470.969	43,3	3.799.017	39,6
R.M.	5.640.241	48,8	2.904.126	25,0	1.883.097	25,9
VI y VII	3.819.526	44,8	1.748.970	22,1	1.400.577	23,5
Total	26.389.637	62,0	11.711.755	32,8	9.774.633	29,4

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

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

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 prefrío-fumigación y el 19,4% a cámaras tradicionales o convencionales (Cuadro 2).

La capacidad total existente en Chile es de 777.000 cajas (cuadros 2 y 3). Se estima que la capacidad máxima de procesos de fumigación mensuales es de 31,3 millones de cajas de uva (Cuadro 4). 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. Capacidad y número de cámaras de fumigación existentes actualmente en Chile, por región.

Región	Tipo de cámara				Volumen total (m ³)	Capacidad total* (cajas de uva)
	Prefrío-Fumigación		Tradicional			
	Cantidad	Vol.(m ³)	Cantidad	Vol.(m ³)		
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
Total	171	51.187	41	10.080	61.275	776.977

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

Volumen útil *					
Región	PFF (m ³)	Tradicional (m ³)	Volumen útil total (m ³)	Capacidad total en cajas de uva	% respecto al total del país
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
Total	15.356	5.040	20.396	776.977	100

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

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

Cuadro 4. 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
Total	1.044.875	31.346.250	

* se considera un número de procesos de : prefrío-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 6.

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

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, 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.

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 I.2).

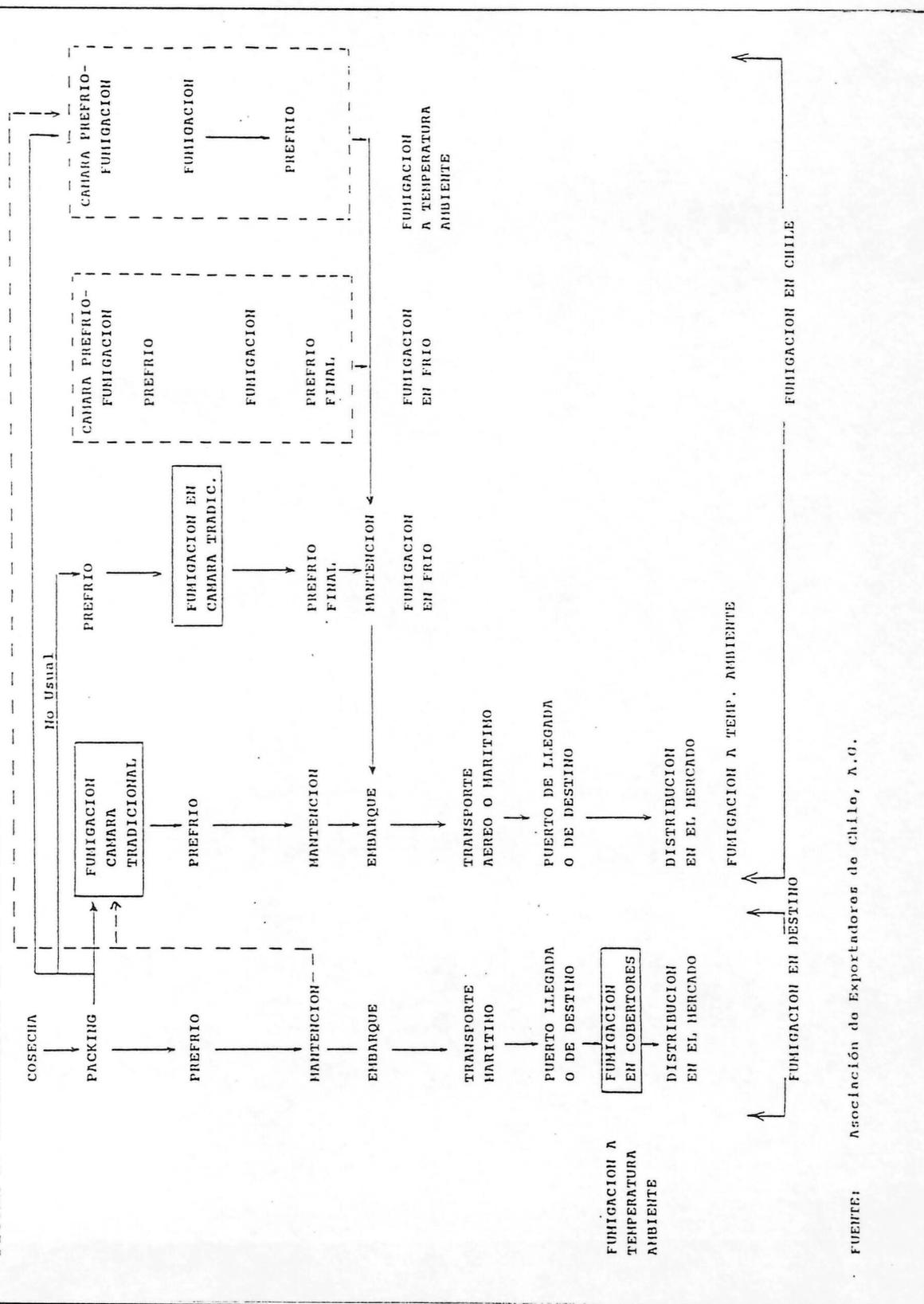
Para llevar a cabo dicho tratamiento, existen diferentes alternativas de fumigación y frío, que considera desde la cosecha hasta el mercado de destino, como se aprecia en el flujo indicado en la Figura 1.

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 I.3).

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 5).

FIGURA 1. ALTERNATIVAS EN LOS PROCESOS DE FUMIGACION Y FRIJO



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

Cuadro 5. 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
Total	1.689.898	2.534.847	75.961.000

* 1,5 procesos / 24 horas.

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

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. 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.

3.1.Efectos del uso del bromuro de metilo

3.1.1.Efectos del BM en el ser humano.

En concentraciones no fatales, el BM ocasiona en el hombre síntomas neurológicos inmediatos. Concentraciones altas pueden producir trastornos circulatorios y muerte por lesión pulmonar. Alas concentraciones de fumigaciones normales, el BM es inodoro, de ahí que sea necesaria una adecuada ventilación una vez finalizado cualquier proceso de fumigación con BM de manera de no afectar la salud humana (FAO, 1970).

3.1.2. Efecto del BM sobre la capa de ozono.

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).

Se han diseñado modelos matemáticos de la evolución de la capa de ozono en el futuro, los cuales han contribuido de manera esencial al establecimiento del denominado Protocolo de Montreal, acuerdo internacional para la limitación en el uso, fabricación y venta de compuestos halogenados y bromados. El Protocolo de Montreal está ratificado a la fecha por 73 países, entre los cuales se encuentra Chile, aunque ha sido aceptado por un número mayor de países.

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 CLP y BLP, potenciales de emisión de cloro y bromo, respectivamente.

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.

De las aplicaciones totales de BM, el 80% es usado para fumigación de suelos (en campo e invernadero), 15% para fumigación de productos agrícolas y 5% para fumigación de estructuras. Se estima que el 50% del BM usado en fumigación de suelo escapa a la atmósfera.

En 1992, la delegación de los Estados Unidos para el Protocolo de Montreal propuso al BM como una sustancia que daña la capa de ozono. Esta posición fue basada en una investigación conducida por el Dr. Bob Watson, científico de la atmósfera de la NASA, quién es también el presidente del Comité Científico del Protocolo de Montreal.

El impacto del Comité de Opciones Técnicas del Bromuro de Metilo es muy importante para los principales interesados en la situación norteamericana y su uso en los EE.UU. se ha prohibido para el año 2000.

3.2.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 quemas 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.

3.2.1. 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.

3.2.2. Fumigación de suelos en California.

En la producción de frutillas en California, la inyección de una mezcla de BM y cloropicrina 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.

3.2.3. 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.

3.2.4. 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).

3.3. 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.

3.3.1. 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.

3.3.2. 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.

3.4. 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.

3.4.1. 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 mas 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.

3.4.2. 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 perescibles, 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 compite 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 mentas constantes.

3.4.3. 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.

4. ORGANISMOS VINCULADOS CON EL TEMA DE BROMURO DE METILO

Se establecieron contactos con fabricantes 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*
- Marco Schwartz
Universidad de Chile*

- *Pedro Cuadra*
Servicio Agrícola y Ganadero, SAG

- *Fernando Figuerola*
INTEC-CHILE

- *Rodrigo Olsen*
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*

5. 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.

5.1. Alternativas en suelos

El uso más amplio del BM es la fumigación de suelos. En particular en el de presiembra 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.

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.

5.1.1. 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.

5.1.2. 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).

5.2. Alternativas para productos no perecibles

Los productos no perecibles incluyen los deshidratados y productos forestales, tales como cereales, frutas secas, nueces y madera. Se estima que aproximadamente el 10% del uso de BM total anual es para desinfectar productos alimenticios no perecibles. En general, el BM no se ha usado ampliamente en este tipo de productos, pero algunas industrias económicamente importantes lo utilizan para fumigar, como principal medio de control de plagas. Es utilizado por la industria de la fruta deshidratada y de la nuez, por algunos grandes importadores y exportadores de granos, y en el comercio de exportación de madera sin nudos. El BM se usa, particularmente, cuando se requiere un tratamiento rápido, como en la importación o previo al embarque y también con propósitos cuarentenarios.

Hay reemplazantes para el BM no clasificados que no requieren cambios en la práctica. En muchas aplicaciones, el BM es capaz de producir un alto nivel de control de plagas, durante 24 horas de exposición y a la mínima temperatura (5 °C). No hay informes relacionados con el desarrollo de resistencia a plagas. Por estas razones, el BM es el fumigante elegido para tratamientos de cuarentena. Aunque hay algunas alternativas potenciales, solamente la fosfina se usa ampliamente, principalmente en cereales y

legumbres. La resistencia de los insectos a la fosfina es un problema que está emergiendo, particularmente en países en desarrollo.

Algunas alternativas potenciales son ampliamente usadas. Aquellas que se han identificado son : otros fumigantes, atmósfera controlada y modificada, insecticidas de contacto y métodos de control físico y métodos biológicos.

5.3. Alternativas para productos perecibles

Los productos alimenticios perecibles incluyen las frutas y hortalizas frescas, flores cortadas, plantas ornamentales, cultivos de raíces frescas y bulbos. La fumigación con BM es el tratamiento predominante para la desinfección de estos productos. Cerca del 5% del consumo total de BM se usa para la desinfección de los productos mencionados, siendo casi el 50% para propósitos cuarentenarios. Además se utiliza una pequeña cantidad de BM para prevenir la entrada de plagas en algunos países.

A pesar de existir nueve tipos diferentes de tratamientos alternativos aprobados para la desinfección de productos alimenticios específicos, muy pocos están en uso en relación al número de diferentes productos alimenticios tratados con este fumigante.

Hay muy pocos ejemplos de tratamientos alternativos desarrollados para productos alimenticios que rutinariamente son tratados con BM. Las alternativas están limitadas por la especificidad del alimento y la plaga. Las alternativas incluyen

zonas libres de plagas, inspección, desinfección basada en productos químicos, almacenamiento en frío, calor, atmósfera controlada y modificada, irradiación, y combinación de estos tratamientos.

Para cada alternativa, el MBTOC identificó un número de aprobaciones específicas en varios países. Por ejemplo, los tratamientos con calor están aprobados para 14 aplicaciones, los fumigantes químicos para 12, los tratamientos con frío para 9, zonas libres de plagas para 4, e irradiación para 2. Normalmente, no existen alternativas para exportaciones económicamente importantes tales como las de manzana, pera y frutales de carozo (huéspedes de la polilla de la manzana), berries, exportación de uva chilena a EE.UU. y de muchos cultivos de raíz.

El MBTOC ha identificado 12 tratamientos alternativos potenciales. Además, este comité encontró que los tratamientos químicos para la desinfección tienen una aplicación muy limitada. Hay dificultades para aplicarlos, tienen un restringido espectro de actividad sobre las plagas, pueden dañar muchos productos alimenticios y en algunos países no están aprobados para su uso. Además de la dificultad de sintetizarlos y de los altos costos para registrar un producto químico nuevo, no están siendo investigados debido a que los consumidores están aumentando su preferencia por alimentos sin residuos de pesticidas.

Los productos perecibles absorben relativamente poco BM, dejando un 80-95% disponible para ser recuperado. La mayoría de las fumigaciones de productos alimenticios perecibles se realizan usando paredes sólidas herméticamente selladas que restringen la

salida del BM. Además existe la posibilidad de recuperarlo y reciclarlo. Cuando los tratamientos alternativos no están disponibles para tratamientos cuarentenarios, la producción de BM se minimizaría usando tecnología de recaptura para mantener el comercio nacional e internacional de productos perecibles.

5.4. 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 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.

6. 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.

6.1. 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.

6.1.1. 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.

6.1.2. 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.

6.1.3. 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.

6.1.4. 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.

6.1.5. 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 m³.

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.

6.1.6. 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 Br₂).

6.1.7. 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 6).

Cuadro 6. 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 ± 15%
50.000 cfm	2 min	8 min	1.575.000 ± 15%

La variación de ± 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.

6.2. Tecnologías en desarrollo

6.2.1. Sistema Bromosorb de Halozone

Halozone Technologies Inc. es una firma 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.

Ensayos realizados.

Se realizaron pruebas 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 2).

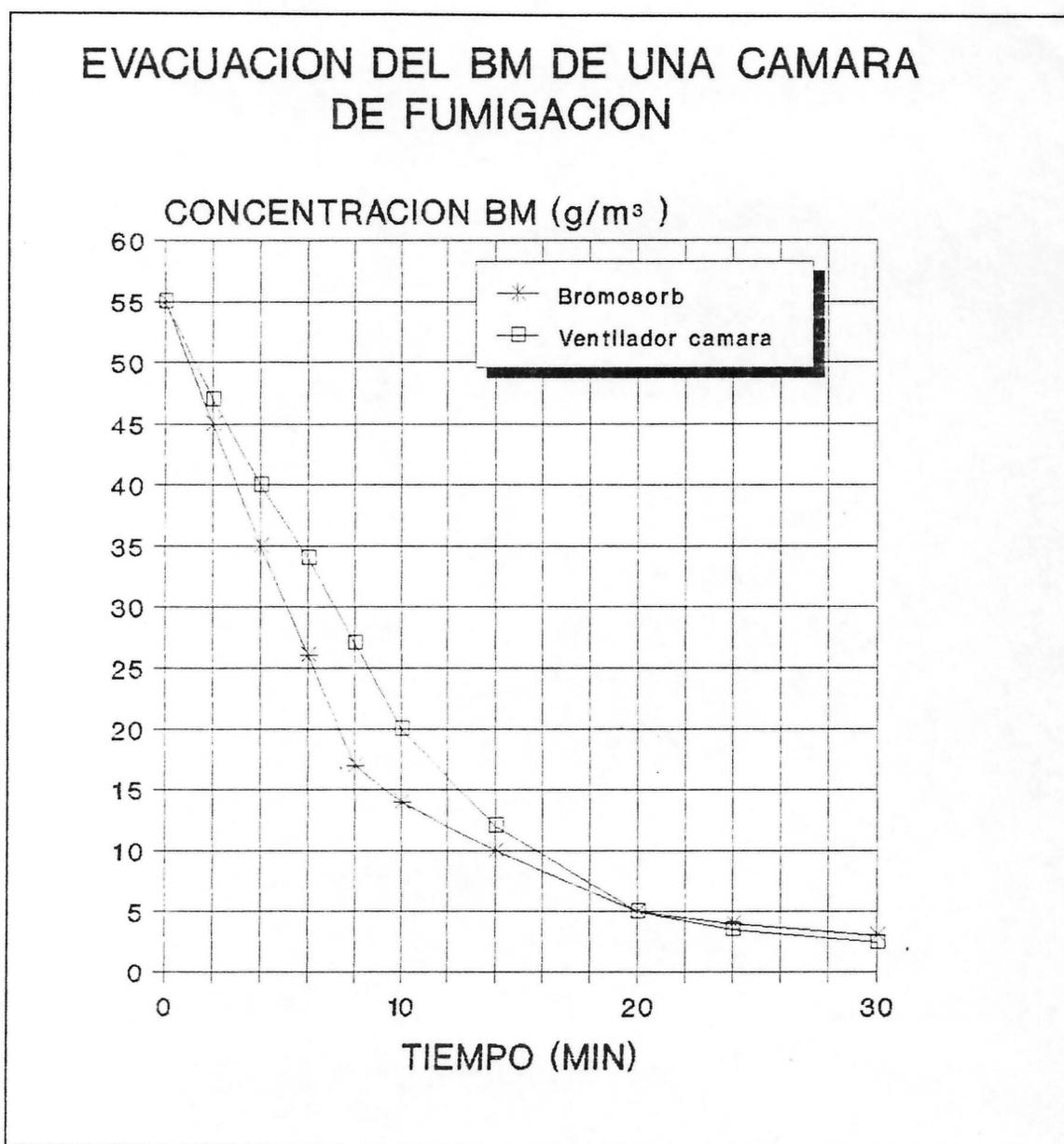


Figura 2. Variación de la concentración del BM al usar la unidad Bromosorb o los ventiladores de la cámara de fumigación, para su evacuación. Ensayo realizado en el Puerto de San Diego, EE.UU., (1994).

Los resultados de adsorción y desorción para estas pruebas se presentan en las figuras 3 y 4. 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.

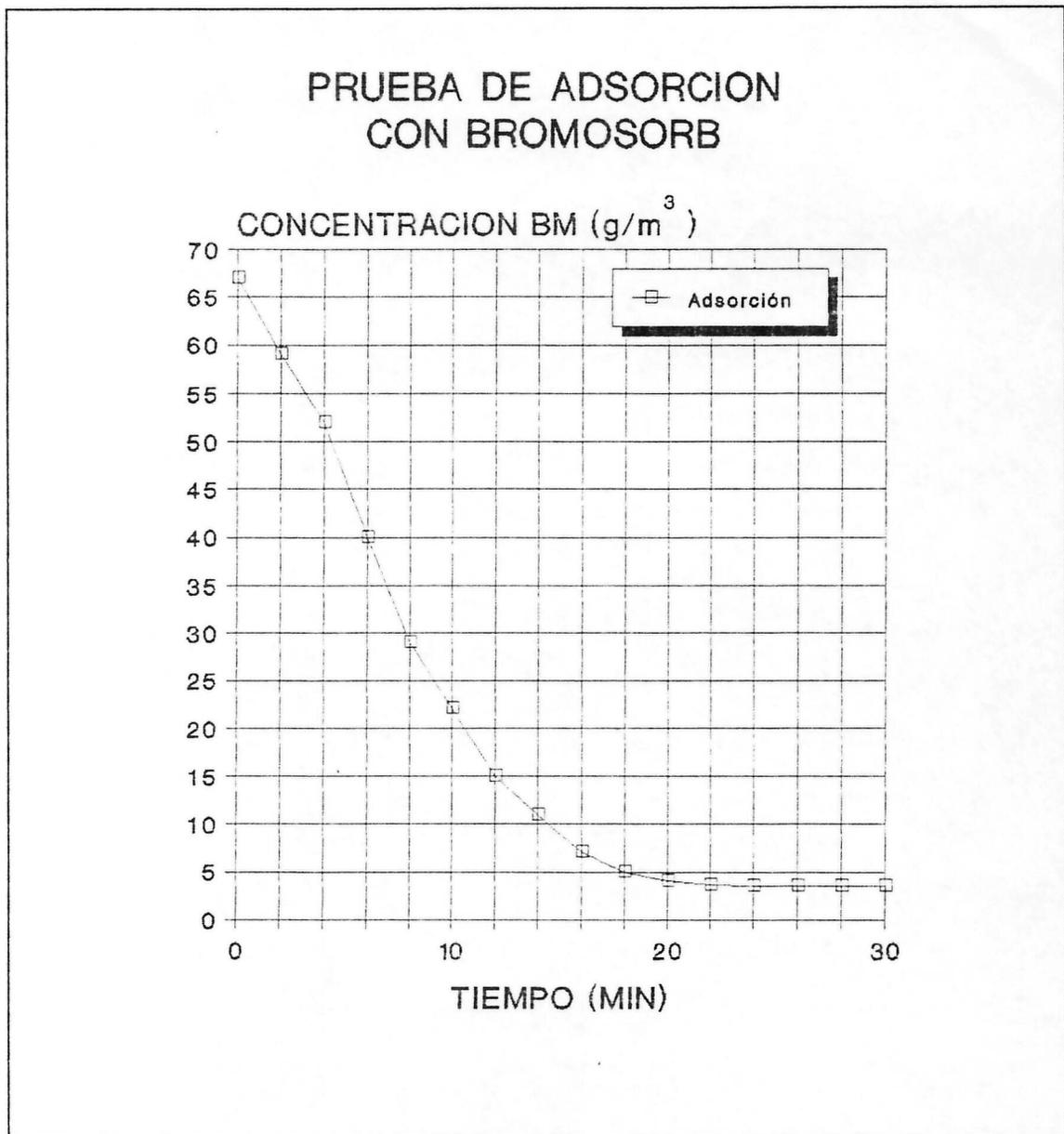


Figura 3. Variación de la concentración del BM durante la adsorción con Bromosorb. Ensayo realizado en el Puerto de San Diego, EE.UU., (1994).

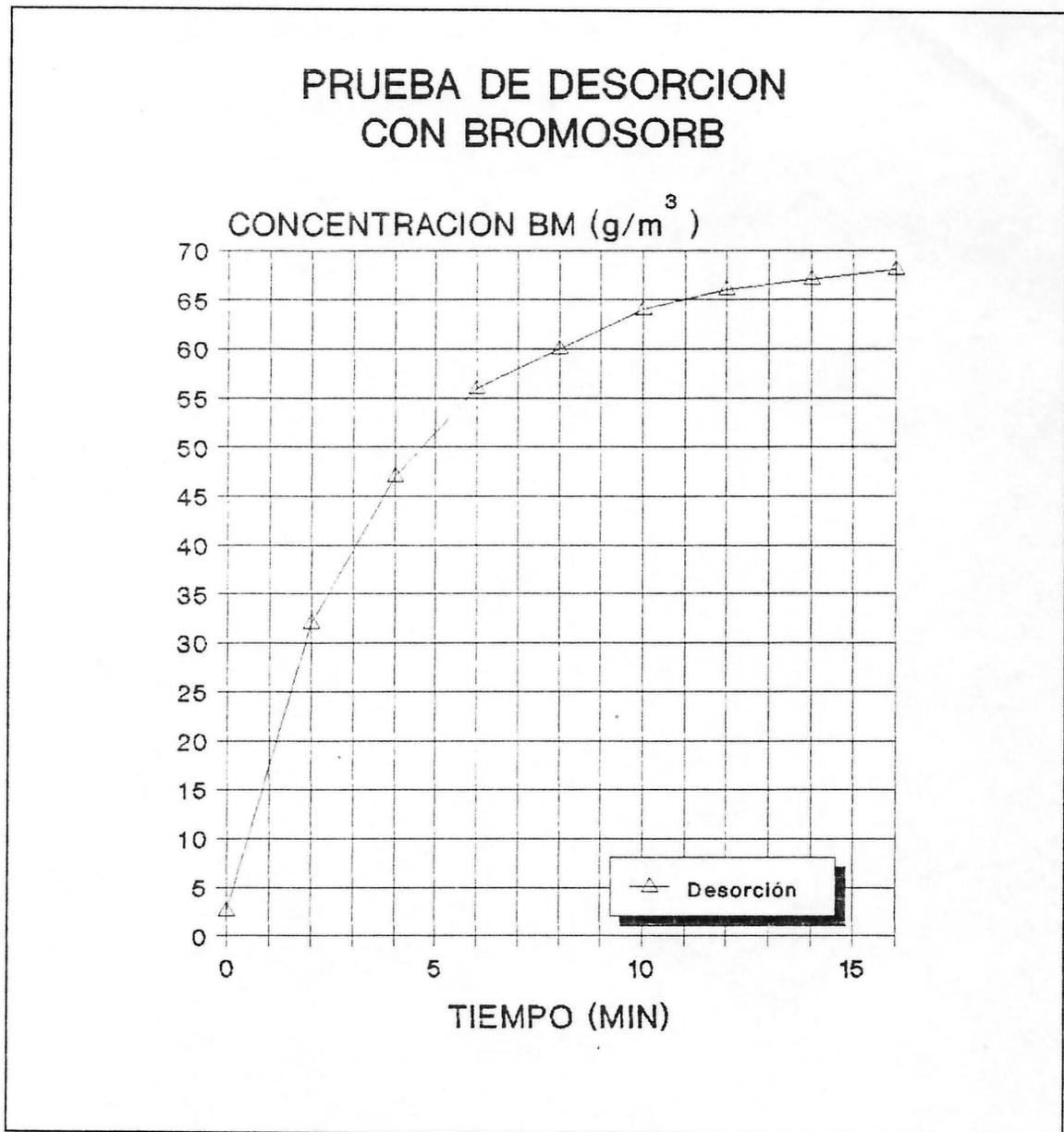


Figura 4. Variación de la concentración del BM durante la desorción desde la unidad de Bromosorb. Ensayo realizado en el Puerto de San Diego, EE.UU., (1994).

6.2.2. Radiaciones ionizantes

Efecto sobre insectos y ácaros

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 ionizante como alternativa de tratamiento cuarentenario

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 irradiación 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 (*Ceratitis 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 irradiación 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 irradiación es aplicable contra muchos insectos plaga asociados a productos agrícolas. Los tratamientos de irradiación 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 irradiación 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).

6.2.3. Investigaciones realizadas en Chile

El cuestionamiento del BM en la fumigación condujo a investigar en la Universidad de Chile en colaboración con la Comisión Chilena de Energías 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).

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.

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.

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.

7. CONCLUSIONES

No hay duda alguna, que el uso del BM será paulatinamente prohibido en los países desarrollados, generándose graves consecuencias comerciales en el sector exportador, de no existir alternativas técnicas y económicamente viables. Por ello se ha centrado la búsqueda de mecanismos que sustituyan y/o eviten las emisiones de BM en la fumigación, pues si Chile no es capaz de buscar una solución a esta situación, puede verse enfrentado a serias dificultades para las exportaciones de uva de mesa y otras especies que requieren de dicho tratamiento.

De las alternativas planteadas, las tecnologías recomendables serían el uso de la unidad Bromosorb y radiaciones ionizantes, 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).

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 enviarán un prototipo para probarlo en nuestras condiciones de operación y para 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.

8.REFERENCIAS CONSULTADAS

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.*

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. p683-705.*

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.*

DIEHL, J.F. 1990. *Safety of Irradiated Foods. Marcel Dekker, N.Y. 345 p.*

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.*

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.*

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.

MARCOTTE, M. 1993. *United Nations Environment Program. Methyl Bromide Technical Options Committee. Food Irradiation Newsletter* 17(2):27-31.

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.

NEWMAN, C.J.E. 1990. *Specification and design of enclosures for gas treatment*. *ACIAR Proc.* 25, 108-130.

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).

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.

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.

SCHREINER, H. 1993. Recycling von Methylbromid nach Begasungen. Seminar AGGF Detmold Germany. September.

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.

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.

VELJOVIC, V. 1995. Methyl bromide recovery and reuse unit at San Diego Unified Port District. Bromosorb™ test report. 19p.

ANEXO I.

Cuadro I.1. 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 II.2. Nómina y volumen de especies que requieren de prefrío para su exportación, temporada 1991/92 (cajas).

ESPECIE	III	IV	V	RM	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
TOTAL	4.070.399	12.346.662	20.199.786	22.720.744	19.589.950

* Proceso opcional

Fuente : Asociación de exportadores de Chile

Cuadro III.3. Norma T101 (a)

TEMPERATURA DE PULPA O AMBIENTE	DOSIS DE BROMURO DE METILO
4,5 - 9,9	64
10,0 - 15,4	48
15,5 - 20,9	40
21,0 - 26,4	32
26,5 - 31,5	24

Fuente : USDA; Plant Protection and Quarantine (PPQ).