



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**COMPARACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE BROMURO
DE METILO Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN LA
DESINFECCIÓN DEL SUELO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA:

DIANA GLORIA PADILLA ALVAREZ

ASESOR:

M. EN C. MARÍA DEL YAZMÍN CUERVO USÁN

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO MÉXICO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: **M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO**
**Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

Comparación de la efectividad de bromuro de metilo y peróxido de hidrógeno en la desinfección del suelo.

Que presenta la pasante: **DIANA GLORIA PADILLA ALVAREZ**
Con número de cuenta: **40901819-4** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de mayo de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.C. Maria del Yazmin Cuervo Usan	
VOCAL	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
SECRETARIO	Ing. Javier Carrillo Salazar	
1er SUPLENTE	Ing. Ángel Cipriano López Cortés	
2do SUPLENTE	M.C. Ana María Martínez García	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

HHA/Vc

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos y cada uno de los estudiantes que lucharon y dieron su vida para que muchas generaciones futuras pudieran estudiar en una institución pública, autónoma y laica, como lo es la Universidad Nacional Autónoma de México me siento orgullosa ser parte de ella.

Y en especial a la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán por acogerme y darme el privilegio de ser llamado Ingeniero.

De manera muy grata y sincera agradezco a mi asesora de tesis M. en C. María del Yazmín Cuervo Usán por todo el apoyo y orientación recibida, sin las cuales no hubiera sido posible la realización de esta tesis. “Gracias por sus consejos, guía, tiempo y paciencia que me infunden ánimo para seguir mejorando en la vida profesional que ahora disfruto.”

A mi jurado de tesis, Ing. Edgar Ornelas Díaz, Ing. Javier Carrillo Salazar, Ing. Ángel Cipriano López Cortés y M. C. Ana María Martínez García; gracias por el tiempo que me han dedicado para leer este trabajo, por sus observaciones, correcciones que han sido aportaciones siempre encaminadas a la mejora de este proyecto.

A todos mis profesores de la carrera de Ingeniería Agrícola que me enseñaron a amar esta profesión y por brindar su conocimiento sin condiciones, especialmente a quien marco mi formación académica y personal, me brindo su confianza y apoyo incondicional, me enorgullece haber sido su alumna, gracias por su dedicación, por hacerme sentir que mis metas las puedo llegar a cumplir recorriendo un camino que se puede disfrutar, gracias por todo, fue un honor tener un profesor como usted M. en C. Juan Roberto Guerrero Agama.

Así mismo, agradecer a las personas que trabajan en el Laboratorio 104 del Departamento de Ciencias Agrícolas, en especial a Verónica Monter Bolaños y a Josué D. Muñoz por ayudarme en la fase del experimento, a superar los momentos de dificultad y por todas esas sonrisas que hicieron días agradables.

GRACIAS A TODOS.

DEDICATORIAS

"Todos tenemos sueños, sin embargo, para convertirlos en realidad se necesita gran determinación, apoyo, dedicación, disciplina y esfuerzo."

A Gloria Alvarez, mi mamá, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su apoyo, consejos, comprensión, ayuda en los momentos difíciles, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, gracias por estar siempre conmigo en todo momento. Gracias, por todo lo que me has enseñado, por el amor que me das, por tus cuidados que me diste en el tiempo que hemos vivido juntas, por ayudarme a corregir mis faltas y celebrar mis triunfos que son tuyos también.

A mi mamá Carmen Maldonado (†) que con la sabiduría de Dios me enseñaste a ser quien soy, gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por todos tus consejos, por el amor que me diste, por haberme llevado en tus oraciones, porque estoy segura que aún lo haces. Te llevo en cada paso que doy.

A mi papá Regino Alegre (†) gracias por confiar en mí, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida. La persona que soy ahora, es el resultado de lo que me enseñaste en la vida, gracias por enseñarme el significado de una promesa. Esta tesis y mis próximos triunfos serán en TU MEMORIA.

A toda mi familia que siempre me apoyo en los años de carrera, son muchas las personas que influyeron en mi vida y de las cuales aprendí muchas cosas, la lista es muy larga quiero mencionar a algunos: Carmen Alegre gracias por esas palabras de aliento y por traer sonrisas a mi vida, infinitamente quiero agradecerle a Norma Angélica Alegre por sus consejos y por ayudarme a elegir la profesión correcta para mí, ¡Gracias tía!, Regino Alegre y su esposa Reyna Palma por toda la ayuda y amor que me brindaron, por hacerme sentir una hija más para ustedes, gracias; especial agradecimiento a Damián Velázquez, "enano" gracias por estar conmigo siempre y apoyarme en todo, a toda mi bella Familia Alegre los quiero mucho y los llevo siempre en mi corazón.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

Así mismo agradecer a mis amigos Luis Mario Cortes, Julio Cesar Valdez, Patricia Marín y Modesto Islas por haber compartido a mi lado momentos felices y tristes de mi vida universitaria, por sus consejos; Eder Esaú Mendoza no encuentro las

palabras para agradecer lo que en su momento hiciste por mí, por tus enseñanzas, tu paciencia y por alentarme en cada momento que me rendía.

A Fernando Ortiz gracias por apoyarme en todo, por los consejos, por todos los momentos inolvidables, por los recuerdos felices y hasta los que no lo son, por las confianzas, por las risas, por enseñarme a mostrar lo mejor de mí, pero sobre todo te doy las ¡Gracias!... por todas las cosas buenas que has traído a mi vida.

A mis demás entrañables amigos gracias a todos aquellos que han aparecido en mi vida para enseñarme a vivir, a ser feliz, por enseñarme que todos estamos en esta vida por algo y que aparecemos en la vida de los demás para cumplir alguna misión... gracias a todos por apoyarme en diversas formas, en distintas etapas y circunstancias de mi vida, siempre los llevaré en mi mente y corazón: Ana Nayeli Cedeño, Mario Navarro, Ricardo González, Ramona Avechuco, Juan Manuel Albarrán, Luis Alberto Benítez, Guadalupe Ramírez, Consuelo López, Connie Gil, Aidé Moreno, Johana Monserrat Ruiz, Mary Islas y Lucia Ortiz.

Finalmente gracias a mis amig@s de trabajo: a mis dos cómplices que quiero mucho “The PachÖnes”, conformada por Gabriela Patricia Aguilera gracias por escucharme, por cada uno de tus consejos que me han llevado por buen camino, por enseñarme nuevas cosas y secar cada lagrima, Mario Enrique Gutiérrez por ser una gran persona conmigo, por cada uno de esos momentos de risas y tristezas; a Roberto Barajas gracias por cocinar tan rico y enseñarme la gran pregunta de la vida “¿Y si me arriesgo y pierdo?, ¿Y si te arriesgas y ganas?” por ultimo a Fany Cano y Diana Jacqueline Romero por toda su ayuda y esos ratos de alegría.

No me gustaría dejar a nadie fuera de las dedicatorias, pero son tantas las personas que han dejado una huella imborrable en mi vida que no terminaría nunca de mencionarlas, a cada una de esas personas, **¡Gracias!**

Diana Gloria Padilla Alvarez

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Hipótesis.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Rizósfera	4
3.2. Importancia de la desinfección del suelo en sistemas agrícolas.....	5
3.3. Desinfección en sustratos.	5
3.4. Principales métodos de desinfección del suelo.	6
3.4.1. Desinfección por vapor	6
3.4.2. Desinfección por solarización.....	8
3.4.3. Desinfección por biofumigación.....	11
3.4.4. Desinfección química	12
3.5. Bromuro de metilo como desinfectante del suelo.	14
3.5.1 Propiedades físicas y químicas	17
3.5.2. Actuación del bromuro de metilo en la desinfección del suelo.....	18
3.5.3. Situación legal del uso de bromuro de metilo e la agricultura.	18
3.5.4. Uso de bromuro de metilo en México.	21
3.5.5. Eliminación del bromuro de metilo según el Protocolo de Montreal.....	24
3.6. Peróxido de hidrógeno como desinfectante del suelo.....	24
3.6.1. Propiedades físicas y químicas	25
3.6.2. Peróxido de hidrógeno en el ambiente.....	26
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.	27
4.1. Ubicación del experimento.	27
4.2. Fase de laboratorio	28

V.	RESULTADOS	33
	5.1. Conteo de las UFC (Unidades formadoras de colonias).....	33
	5.2. Análisis de varianza	34
VI.	DISCUSIÓN	36
VII.	CONCLUSIONES	38
VIII.	LITERATURA CITADA	39
IX.	ANEXOS	44

ÍNDICE DE FIGURAS

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
Figura 1.	El móvil vap de aplicación de vapor	8
Figura 2.	Solarización.....	9
Figura 3.	Cilindro de BM.....	15
Figura 4.	Peso del suelo.....	28
Figura 5.	Dosis del peróxido de hidrogeno.....	29
Figura 6.	Peso del suelo en los frascos	29
Figura 7.	Representación de las repeticiones de cada tratamiento.....	30
Figura 8.	Tubos de ensaye dilución en serie	31
Figura 9.	Esquema general de la dilución en serie	32
Figura 10.	Cultivos de las diferentes soluciones	33
Figura 11.	Tratamiento de la dilución 1:1000.	34
Figura 12.	Grafica de medidas de 1 BM, 2 OXI, 3 OXI y 4 OXI de la dilución 1:1000.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
Cuadro 1.	Métodos de desinfección del suelo y sustratos	6
Cuadro 2.	Ventajas y desventajas del método de desinfección por vapor	7
Cuadro 3.	Ventajas y desventajas del método de desinfección por solarización	10
Cuadro 4.	Ventajas y desventajas del método de desinfección química	13
Cuadro 5.	Desinfectantes químicos.....	14
Cuadro 6.	Propiedades físicas y químicas del BM.	17
Cuadro 7.	Requisitos fitosanitarios para la importancia de grano, estableciendo obligatorio el uso de bromuro de metilo como tratamiento cuarentenario.....	23
Cuadro 8.	Propiedades físicas y químicas del peróxido de hidrógeno.....	25
Cuadro 9.	Tratamientos experimentales.....	27
Cuadro 10.	Promedio de las UFC.....	33
Cuadro 11.	Análisis de varianza de la dilución 1:1000	34

ÍNDICE DE ANEXOS

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
	Anexo 1. Conteo de las UFC de los tratamientos en la dilución 1:1000.....	44

RESUMEN

La producción de muchos cultivos ha dependido del empleo del bromuro de metilo (BM) como fumigante para controlar un gran número de patógenos transmitidos por el suelo, pero este producto fue prohibido en el 2005. Esto ha elevado un interés por desarrollar alternativas para controlar dichos patógenos.

Entre las alternativas para reducir el consumo de BM, están los peróxidos, por lo que se llevó a cabo esta tesis, se evaluó la comparación de la efectividad del peróxido de hidrógeno (OXI) contra el BM.

Se realizaron 5 tratamientos 1 BM, 2 OXI (233.33 ml), 3 OXI (133.33 ml), 4 OXI (33.33 ml) y 5 OXI (concentración cero), en las cuales se contabilizaron las unidades formadoras de colonias (UFC).

En los resultados se encontró que 3 OXI, 4 OXI y 5 OXI tienen una diferencia significativa con el 1BM, por lo que estos 3 tratamientos de peróxido son estadísticamente iguales y no pueden ser una alternativa para la desinfección del suelo, mientras que en el 2 OXI no hay ninguna diferencia con el BM, este tratamiento elimina por completo los patógenos que ocasionan pérdidas potenciales en los cultivos, por lo tanto el peróxido de hidrogeno en esta dosis es una alternativa para sustituirlo.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de patógenos en el suelo es uno de los principales factores limitantes de la producción, que puede estar relacionada con las prácticas del monocultivo, o con cultivos anteriores en el sistema de rotación (Tello J.C, 1994).

Estos patógenos ocasionan serias pérdidas en el rendimiento. La forma habitual de superar esa limitación ha sido el empleo sistemático de distintos fumigantes, con mayor o menor eficacia en el control de estos organismos patógenos, destacando por su importancia, la cloropicrina (Pic), el 1,3-dicloropropeno (1.3-D), el metam sodio (metam-Na) y el bromuro de metilo (BM) (Barres M.T, 2006).

Cabe mencionar que en los países con mayor consumo de BM son Latinoamérica y el Caribe con 3.1 ton métricas en el 2008, mientras que en Asia, Oriente medio y África el consumo es de 1.1 ton métricas (Jácome, 2012).

Debido a que el consumo de BM es muy elevado se crea el Protocolo de Kyoto, firmado por la mayoría de los países desarrollados, obliga a detener la producción del BM y establece plazos para dejar de aplicarlo, en este año (2015), por ser un destructor de la capa de ozono estratosférico.

Un suelo contaminado tiene sustancias que al estar presentes en cantidades suficientes, causan daño directa o indirectamente al hombre, al ambiente y a la biota del suelo.

Por lo anterior es necesario encontrar alternativas sustentables que permitan disminuir la utilización de estos fumigantes químicos del suelo. Una de estas alternativas puede ser el peróxido de hidrógeno, ya que es activo frente a virus, bacterias y hongos según la concentración y condiciones de utilización.

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) se ha utilizado como antiséptico desde hace muchos años por su efecto antimicrobiano debido a su capacidad oxidante. Se utiliza en diversas industrias como la de restauración, sin embargo su aplicación en procesos agrícolas está muy limitada. Las investigaciones relativas datan de fines del siglo XX. Se han demostrado sus propiedades antimicrobiales (Baldry, 1982), siendo efectivas

para eliminar esporas de hongos, con un bajo impacto ecológico en sistemas hidropónicos (Vines, 2003) y que pueden sustituir al cloro como alternativa de desinfección, para mejorar la calidad microbiológica. Recientemente se utilizó como desinfectante de suelos de fresa del Mediterráneo eliminando casi por completo a *Phytophthora spp.* y a *Botrytis spp.* (Cuervo, *et al* 2014).

Es por ello que, en esta investigación se evalúa la acción del peróxido de hidrogeno para desinfectar el suelo como una alternativa sustentable que permita dejar de usar el BM, que es tan dañino al ser humano y al ambiente.

II. OBJETIVO E HIPOTESIS

2.1 Objetivo

Evaluar la efectividad desinfectante del peróxido de hidrógeno en comparación con el uso de bromuro de metilo para la desinfección de suelo.

2.2 Hipótesis

La concentración más alta de peróxido de hidrógeno tendrá efectos semejantes al bromuro de metilo en la desinfección del suelo.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Rizósfera

La rizósfera es un microambiente donde reside una gran diversidad microbiana (Ahmad *et al.*, 2008). Se define como la región del suelo que rodea y se ve influenciada por la raíz (Atlas y Bartha, 1998). Es en este nicho donde se llevan a cabo diversas interacciones abióticas y bióticas. Las interacciones abióticas, como la temperatura, tipo de suelo, el clima, entre otros factores, suelen participar en determinar la estructura poblacional de la comunidad microbiana (Fierer y Jackson, 2005).

Los organismos del suelo constituyen la biomasa microbiana, en la cual se incluyen:

- La microflora: bacterias y hongos.
- La fauna.

Según las condiciones climáticas, se desarrolla la vegetación que formará el ecosistema. Dicho subsistema cumple ciclos estacionales donde se van depositando residuos de hojas y ramas en la superficie, o raíces en el interior del suelo. De estos residuos se sirve la fauna y la microflora del suelo, de donde extraen la materia y energía para su ciclo vital a través de un conjunto de procesos donde intervienen organismos, transformadores, y descomponedores, siguiendo una cadena trófica.

La diversidad y el número de microorganismos dependen en gran medida de la composición y concentración de los nutrientes exudados por las raíces de las plantas (Wamberg *et al.*, 2003). La interacción entre los microorganismos y los cultivos puede ser beneficiosa, dañina o neutral, en ocasiones esto puede variar en función de las condiciones del suelo (Lynch, 1990).

3.2. Importancia de la desinfección del suelo en sistemas agrícolas.

La desinfección de suelos se ha convertido en una de las primeras acciones que tiene que llevar a cabo el agricultor antes de establecer un ciclo de cultivo.

La finalidad de la desinfección es combatir a los agentes patógenos existentes en el suelo (bacterias, hongos y nemátodos) para evitar efectos negativos en el rendimiento del cultivo. Es importante mencionar que una desinfección de suelo también permite controlar la presencia de malas hierbas que roban los nutrientes a los cultivos (Alvarez, 1998).

La desinfección de suelos y sustratos puede lograrse mediante la aplicación de diferentes técnicas, realizando previamente la elección de los métodos adecuados de acuerdo con las condiciones de cada sistema de cultivo. En función a su actividad, los diferentes tratamientos desinfectantes pueden tener una acción biocida total o resultar biostáticos y tener poca actividad biocida.

3.3. Desinfección en sustratos.

El sustrato es un factor clave para la producción de hortalizas, plántulas y flores en invernadero. En México hay una amplia variedad de materiales (polvo de coco, tezontle, perlita, compostas, turba, corteza de pino, cascarilla de arroz, entre otros) que se emplean como sustratos (Vargas *et al.*, 2008).

Los sustratos utilizados en hidroponía pueden ser colonizados por microfloras imprevistas e inestables, en el seno de las cuales pueden estar presentes microorganismos capaces de provocar daños aún más severos que aquellos que causan sobre un suelo natural, ya que al usar sustratos inertes, la presencia de cualquier patógeno producto de contaminación, puede tener un efecto drástico al no existir competidores o controladores naturales (Resh, 1992; Sandoval, 2004). Una forma de evitar enfermedades causadas por patógenos se podría lograr renovando el sustrato cada año; sin embargo, esta práctica trae como consecuencia un incremento en los costos de producción, ya que todos los sustratos hidropónicos son vulnerables a ser contaminados por patógenos del suelo, por lo que es necesario contar con métodos

efectivos de esterilización para tratar a estos materiales antes de ser utilizados (Resh, 1992; Slusarski, 2000, Sandoval, 2004; Gullino *et al.*, 2005).

Para la desinfección de sustratos se recomiendan métodos físicos, como el vapor de agua o métodos químicos como el BM, el cual está restringido por los daños que puede causar al ambiente; productos comúnmente usados, como el metam sodio, dazomet y diclombiarropropeno, aunque estos ya no se incluyen en la lista de los pesticidas autorizados por la Unión Europea (Yuce *et al.*, 2011), lo cual obliga a buscar nuevas alternativas de desinfección, ya que muchos productores que comercializan sus productos, tienen que regirse por la legislación del país importador. Asimismo, se recomienda dentro de un manejo integrado, el uso de agentes de biocontrol como *Trichoderma spp.* y *Bacillus spp.* (Fernández-Larrea, 2001; Gullino *et al.*, 2005).

3.4. Principales métodos de desinfección del suelo

La desinfección de los suelos y sustratos utilizados en la agricultura se lleva a cabo mediante diversos métodos que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos de desinfección del suelo y sustratos.

MÉTODOS FÍSICOS	METODO QUÍMICO
Vapor	Productos Químicos
Solarización	
Biofumigación	

Fuente: Yuce *et al.*, 2011

3.4.1. Desinfección por vapor

En este método se somete a los microorganismos a la acción del calor mediante la inyección de vapor saturado y seco a presión. Es decir, es la introducción de vapor de agua dentro del suelo, bajo cubiertas plásticas para aumentar la temperatura de éste a

niveles letales para algunos organismos de suelos como nemátodos, estados inmaduros de insectos, bacterias, hongos del suelo y semillas o propágulos de malezas (excepto aquellos que son termo-resistentes). La temperatura del suelo y la duración del tratamiento térmico determina si la eliminación de la flora del suelo es total (esterilización: pocos minutos a 90-100°C) o si ocurre sólo parcialmente (pasteurización: mezcla de vapor y aire a 70-80°C). En el cuadro 2 pueden apreciar las ventajas y desventajas de este método. (Braga, 2003)

Cuadro 2. Ventajas y desventajas del método de desinfección por vapor.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Es fácil de aplicar • No deja residuos • No presenta efectos secundarios • Mejora la estructura del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • La superficie a desinfectar no puede ser muy grande. • No es aconsejable en terrenos arcillosos. • El equipo necesario es caro y el consumo energético es elevado. • Tras la desinfección hay que esperar 15 días para poder plantar. • Puede ser necesario aplicar un riego de lavado para evitar la acumulación de sales. • La eficacia disminuye con la profundidad del suelo.

Fuente: Braga, 2003.

El vapor al suelo puede ser aplicado de dos formas, con placas y con MóvilVap.

- Las placas consisten en cajones de aluminio colocados sobre el suelo con la boca hacia abajo y por la parte superior se inyecta el vapor, el cual penetra en el suelo a tratar, paulatinamente y la temperatura a lograr depende del tiempo de exposición.
- En el MóvilVap (Figura 1) inyecta vapor de agua en profundidad; para ello, utiliza un generador de vapor de agua a una temperatura entre 120-125 °C,

cuya aplicación al sustrato durante un tiempo suficiente (20-30 min), provoca la destrucción de la mayor parte de los microorganismos no deseables del suelo, sin afectar significativamente la microflora beneficiosa ni desencadenar la reducción de algunos nutrientes del suelo (Mn y Fe).



Figura 1. Equipo móvil de aplicación de vapor (Móvil Vap, 2004)

3.4.2. Desinfección por solarización

La solarización del suelo es un método que utiliza la energía solar para su desinfección, que resulta en el control de fitopatógenos, malezas y plagas del suelo, utilizado a partir de 1976.

En términos breves, el método consiste en la desinfección del suelo por medio de la radiación solar. Este efecto se logra cubriendo la tierra para uso agrícola por un espacio de 4 a 6 semanas con plástico negro o transparente, no muy grueso, en un sitio en el que reciba directamente los rayos del sol. (Diez, 2010).

El plástico transparente no almacena el calor como lo hace el plástico negro, sino que transmite el calor al suelo y lo eleva en unos cuantos grados de su temperatura habitual (Figura 2). Esta elevación de la temperatura provoca 3 efectos que han sido verificados por investigaciones, (Aguirre- Buenaño, 2013)

- 1) Una tensión (estrés) en los agentes patógenos por el diferencial de temperatura producido en el suelo. La viabilidad de cualquier microorganismo se reduce si

se aplica calor húmedo a temperaturas superiores a la óptima necesaria para su crecimiento.

- 2) Se acelera la multiplicación y metabolismo de microorganismos del suelo, ya que el incremento de temperatura producido favorece a la mayoría de ellos. Los patógenos son menos resistentes al calor que muchos saprófitos y agentes antagónicos como *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*.
- 3) Se generan concentraciones más altas de sustancias solubles en agua, tanto de la materia orgánica como de los minerales, por lo que los cultivos que se establecen en dicho suelo crecen con mayor rapidez y vigor.



Figura 2. Solarización (Romero y Hernández 2012).

Esta técnica se puede llevar a cabo tanto en regiones calurosas, de temperaturas moderadas, con clima subhúmedo caliente y aún con estaciones lluviosas, ampliando el período de exposición del suelo a la solarización o manteniendo el suministro de agua constante para aprovechar la capacidad conductora de calor de ésta y trasladar el efecto de la solarización a mayores profundidades (Pullman, 2000).

El efecto de la solarización se mantiene durante los primeros 2 o 3 años que siguen a la aplicación de la misma.

También puede destacarse que en los suelos solarizados aumenten las concentraciones de NO_3 y NH_4 , del mismo modo que las de Na, K, Ca, Mg y Cl. Este

incremento tiene el beneficio adicional de que los cationes bivalentes juegan un papel muy importante en la resistencia de las plantas a algunos patógenos del suelo.

Posiblemente esta práctica aumente la fertilidad actual del suelo al intensificar los procesos de mineralización de la materia orgánica incorporada, a consecuencia de lo cual disminuye el pH y se incrementa el Nitrógeno total y el P disponible.

En el cuadro 3 se presentan las ventajas y desventajas de la solarización.

Cuadro 3. Ventajas y desventajas del método de desinfección por solarización.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Control de importantes microorganismos patógenos como nemátodos, hongos y malezas. • No produce residuos tóxicos en el terreno y en las plantas. • Se provee condiciones óptimas para el incremento de los organismos benéficos del suelo • Mejora las condiciones físicas y de fertilidad así como el movimiento del aire y agua dentro del suelo, reduciendo de esta manera las necesidades de riego. • Reducción en la incidencia de enfermedades que puede durar varios ciclos del cultivo sin la necesidad de repetir el tratamiento de solarización. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es un método de desinfección total 100%. • Durante el tratamiento, el suelo debe estar libre de cultivo, como mínimo durante 1 mes en verano. • Aplicable a regiones que tengan una elevada irradiación solar y altas temperaturas. • Utilizar películas plásticas en lugar de biodegradables • Costos de compra, tensado, recuperación y eliminación de la película.

Fuente. Aguirre-Buenaño, 2013 y Jaramillo, 2006

La combinación de los agentes de control biológico con otras técnicas como las rotaciones de cultivos, la esterilización parcial del suelo mediante solarización, enmiendas orgánicas y uso de fungicidas, se realiza para lograr resultados equivalentes a los fungicidas de síntesis (Aguirre- Buenaño, 2013).

Los fungicidas de síntesis comenzaron a desarrollarse a partir de 1970. Actúan dentro y fuera del vegetal, gracias a su capacidad de moverse por la planta. Son preventivos y curativos, lo que les hace, entre otras cosas, tener precios más elevados. Suelen ser bastante específicos, por lo que provocan resistencias. (Cañizares, 2010)

3.4.3. Desinfección por biofumigación

La biofumigación es una técnica que permite utilizar la materia orgánica y los residuos agrícolas, así como los productos de su descomposición en el control de los patógenos vegetales de origen edáfico. La utilización de esta técnica contribuye a resolver los problemas ambientales creados por los residuos de la agroindustria. Esta técnica es de bajo costo y fácil aplicación que puede ser de gran interés en cultivos de bajo retorno económico en países en vías de desarrollo. En combinación con otras técnicas como la solarización, puede incrementar su eficiencia al permitir su empleo en épocas del año y áreas donde no se alcanzan las temperaturas óptimas. La eficiencia de la biofumigación se incrementa cuando se incorpora dentro de un sistema de manejo integrado de cultivos (Ibáñez , 2010).

La función de la materia orgánica en la regulación de los patógenos de los vegetales, es una alternativa basada en el mismo principio que los fumigantes convencionales, con la única diferencia de que los gases obtenidos resultan de la biodescomposición de la materia orgánica y no se conocen efectos negativos sobre el ambiente y la salud (Bello, 1998).

La biofumigación, además, estimula la actividad microbiana del suelo, por lo que tiene un efecto biomejorante. Cuando se añade la materia orgánica, se produce una secuencia de cambios microbiológicos, con una proliferación de microorganismos. No tiene efectos negativos en la salud de los consumidores ni en el ambiente y tampoco limitaciones de uso dentro de los reglamentos de producción integrada o de agricultura

ecológica. La producción agrícola obtenida con la aplicación de las técnicas de biofumigación puede tener precios altamente competitivos, debido al aprovechamiento de residuos agroindustriales de bajo costo. (Bello, López-Pérez y García-Álvarez, 2001).

La biofumigación, como alternativa no química en el control de los organismos patógenos de los vegetales, ha sido aceptada sin dificultad por aquellos productores y técnicos que tienen una gran experiencia en la gestión de los sistemas agrarios y en el manejo de la materia orgánica. Para estos agricultores, el establecimiento de las bases teóricas de la biofumigación, vino a confirmar sus conocimientos empíricos sobre la implicación de la materia orgánica en el incremento de la rentabilidad de los cultivos y, sobre todo, descubrir su función en la regulación de las enfermedades de las plantas que tiene su origen en el suelo (Ibáñez , 2010).

La solarización es un método que, por sí solo, no es eficaz en el control de los patógenos de los vegetales, especialmente cuando se trata de controlar organismos móviles, como nemátodos que por acción del calor se desplazan a zonas más profundas. En los casos donde la solarización ha sido eficaz, se trata por lo general de suelos con alto contenido de materia orgánica (solarización más biofumigación), o de suelos poco profundos. La solarización es eficaz cuando se combina con biofumigación, durante dos meses, a una temperatura ambiental superior a 40 °C, aunque se recomienda de 30 a 45 días durante los meses de julio y agosto, que es cuando la temperatura del suelo alcanza temperaturas superiores a 50 °C. Se ha observado que se produce una pérdida en la biodiversidad del suelo (Bello, López-Pérez y García-Álvarez, 2001).

3.4.4. Desinfección química

La desinfección química se caracteriza por su elevada eficacia insecticida, nematicida, fungicida y herbicida. La toxicidad de los productos para tratamientos de suelos es un factor que aconseja limitar su utilización (Cenis, 1991).

Es conviene conocer el alcance ambiental de los efectos de la aplicación de los productos químicos, así como de su evaporación y degradación, de la formación de metabolitos, de su capacidad de percolación y de su posible translocación en las plantas (Cuadro 4).

El fundamento de la desinfección de suelos o sustratos empleando productos químicos, está basado en la capacidad que tienen dichos productos de pasar a estado gaseoso en el momento de ser liberados, haciéndose necesario el impedir el escape de dichos gases al ambiente, reteniéndolos durante el tiempo necesario para que su acción resulte efectiva.

Entre todos los métodos químicos de desinfección los más utilizados y cuyos efectos adquieren una mayor repercusión tanto en el ambiente como en los sistemas de cultivo han sido: BM, la cloropicrina (PIC), el 1-3 dicloropropeno y los productos generadores de isotiocianato de metilo entre los que se encuentran el metam-sodio y el dazomet (Cuadro 5) (Zanón, 2009).

Cuadro 4. Ventajas y desventajas del método de desinfección química

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Los productos son fáciles de adquirir por parte del agricultor. • Tiene una elevada eficacia, que además se observa muy rápidamente. • Son fáciles de aplicar gracias a los equipos existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Casi todos los plaguicidas presentan problemas de toxicidad para las personas. • A dosis incorrectas pueden producir daños sobre las plantas cultivadas. • El uso indiscriminado de un determinado plaguicida da lugar a la aparición de resistencias. • Producen contaminación del suelo, aire y agua. • Generan residuos, que suponen un riesgo para la salud de los consumidores.

Fuente. Zanón, 2009

Cuadro 5. Desinfectantes químicos

FUMIGANTES	NO FUMIGANTES	FUNGICIDAS
BM + Cloropicrina (70%+30%)	Etoprop (MOCAP)	Metalaxyl
Metan sodio (VAPAM), Metan amonio y potasio	Aldicarb (TEMIK)	Pentacloronitrobenceno (PCNB)
Dazomet (BASAMID)	Carbofuran (FURADAN)	
1,3 – Dicloropropeno + Cloropicrina (AGROCELHONE)	Fenamifós (NEMACUR)	
Bromuro de metilo		

Fuente. Zanón, 2009

3.5. Bromuro de metilo como desinfectante del suelo.

Es importante considerar que la esterilización del suelo con BM o por cualquier otro medio reduce notablemente la población de las bacterias que transforman el Nitrógeno, de formas amónicas a nitritos y nitratos, interrumpiendo este proceso. Razón por la cual, después de una fumigación debe evitarse el uso de fertilizantes amónicos, que pueden causar daños durante la primera fase de algunos cultivos susceptibles a este ión, como es el caso del tabaco (Feuehake, 2008).

Aún en plantas resistentes al amonio pueden producirse deficiencias de Nitrógeno, por no estar disponible el elemento en la forma nítrica, que es como lo absorben mayoritariamente las plantas y el tomate en particular, aun cuando esta especie también absorbe otras formas de nitrógeno, pero en menor grado (Faxsa, 1995).

La acción biocida del BM está en relación directa con la concentración del fumigante y el tiempo de exposición, humedad del suelo, temperatura del suelo y ambiente cercano a éste.

Si el tiempo no es limitante, se escoge una dosis o concentración tan baja como sea posible, en términos de la gama de organismos no deseados presentes y sus estadios, del grado de infestación y la relación costo /beneficio del tratamiento.

Los envases más comúnmente usados son las bombonas de 454 ó 680 g (1 ó 1.5 lb) y los cilindros de acero 13.6 a 90.72 kg (30 a 200 lb) Figura 3. Para tratamientos en pequeña escala, el uso de bombonas es más práctico.



Figura 3. Cilindros de BM (Huerto y Rufino, 2013)

Para fumigaciones esporádicas de espacios cerrados de hasta 300 m³ o fumigaciones de suelo de hasta 300 m², es preferible el uso de bombonas. Para los que aplican este producto con frecuencia, como es el caso de empresas dedicadas a la fumigación, resulta más sencillo y económico usar los cilindros. Igualmente se prefieren los cilindros para tratamientos de volúmenes o áreas grandes, aunque las fumigaciones sean poco frecuentes. Hay cilindros que contienen de 500 a 1000 kg de BM, pero sólo se usan para fines de transporte o para fumigaciones de suelo en áreas muy grandes (Monro, 1980)

El BM bloquea las deshidrogenasas que intervienen en del ATP y otras reservas energéticas de los seres vivos. Por otra parte, se inhibe la citocrom-oxidasa rompiéndose la secuencia respiratoria. A concentraciones bajas, no afecta seriamente los mecanismos de ventilación pulmonar pero sí, por el proceso indicado la respiración celular y por ello es muy peligroso (Feuehake, 2008).

Para mejorar su actividad contra hongos del suelo, en ciertas situaciones se agrega un mayor porcentaje de cloropicrina, entre el 20 y el 35%.

El BM se evapora a 3.6 °C y es muy poco soluble en agua. Como gas, es tres veces más pesado que el aire. Como líquido, a 0 °C 1 litro de BM pesa 1.730 kg. Para facilitar el transporte y el manejo, se almacena en estado líquido a presión, en latas o en cilindros metálicos (Faxsa, 1995).

En general no reacciona con los metales, excepto con los ligeros: aluminio y magnesio, con los que forma compuestos como el trimetil-aluminio que es espontáneamente inflamable.

El BM líquido puede disolver muchos materiales plásticos. Tanto el hule natural como el PVC (policloruro de vinilo) son fuertemente atacados por el BM. El polietileno, el polipropileno y el politetrafluoroetileno (Teflón) son ligeramente atacados por el BM líquido. En forma gasificada y a las concentraciones que normalmente se utilizan, el BM tiene poco efecto sobre estos plásticos.

En presencia de agua se hidroliza lentamente, con desprendimiento de ácido bromhídrico, que es corrosivo a la mayoría de los metales y plásticos. Por lo anterior, cuando se usa el BM es muy recomendable utilizar mangueras, tubos y accesorios de acero inoxidable, de latón, de teflón y de polietileno.

El BM es efectivo en una amplia gama de temperaturas arriba de 5 °C, aunque es recomendable que las fumigaciones se hagan a temperaturas arriba de 15 °C. En general, el material vegetativo vivo tolera dosis, pero el grado de tolerancia varía con la especie, la variedad, el estado de crecimiento y las condiciones del material. El BM acelera la descomposición de las plantas que están en malas condiciones (Faxsa, 1995).

El BM se aplica inyectándolo al suelo o a los almácigos, cubriéndolos luego con plástico para que retengan el gas.

3.5.1. Propiedades físicas y químicas.

El BM (CH₃Br), también conocido como bromo metano, pertenece a la familia química de Alquil bromuro. Es un fumigante incoloro, sin olor e ininflamable, cada una de las propiedades físicas y químicas del BM se pueden apreciar en el cuadro 6.

Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del BM

Peso molecular	94.94
Apariencia y olor	760 mm Hg, 20 °C: gas incoloro e inodoro
Densidad, líquido, 0 °C/ 0 °C	1.732
Densidad, vapor 760 mm Hg 0 °C (aire = 1)	~ 3.27
Presión de vapor, 20 °C	1,400 mm Hg
40 °C	2,600 mm Hg
Viscosidad, 0 °C	0.397 cP
Punto de fusión	- 94.1°C
Punto de ebullición, 760 mm	3.56 °C
Solubilidad en agua, 20 °C	1.75 g/100 g
25 °C	1.34 g/100g
Índice de refracción, - 20 °C	1.4432 nD
Capacidad calórica:	
✓ Sólido, - 96.6 °C	0.165 cal/g/°C
✓ Líquido, - 13.0 °C	0.197 cal/g/°C
✓ Vapor, 25 °C	0.107 cal/g/°C
Calor latente de fusión, p.f	15.05 cal/g
Calor latente de evaporación, p.e	60.20 cal/g
Coefficiente de expansión, - 15 a 3 °C	0.00163 /°C
Constante dieléctrica, 0°C	9.77
(103 a 105) ciclos/seg	
Temperatura crítica	194 °C

Fuente. Faxsa, 1995

Límites de inflamabilidad; BM en aire

- Punto de inflamabilidad, TCC..... ninguno
- Temperatura de autoignición..... 537 °C
- Límite inferior de explosividad, vol. %..... ~ 10%
- Límite superior de explosividad, vol. %..... ~ 15%

La ignición del BM puede ser provocada por una chispa de alta energía en los límites de inflamabilidad indicados anteriormente.

Las especificaciones del bromuro de metilo (Faxsa, 1995):

Apariencia: líquido claro, libre de sólidos suspendidos

Agua, máximo..... 100 ppm

BM, por peso, mínimo..... 97.5%

Cloropicrina por peso, mínimo..... 2.0%

3.5.2. Actuación del bromuro de metilo en la desinfección del suelo

Actúa intoxicando a los microorganismos del suelo por la alquilación de macromoléculas biológicas incluyendo el ADN y las proteínas.

3.5.3. Situación legal del uso del bromuro de metilo en la agricultura

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Unidad de Protección a la Capa de Ozono (UPO), tiene a su cargo la implementación de proyectos que contribuyan a mantener la integridad de la capa de ozono, para cumplir con los compromisos adquiridos por México ante el Protocolo de Montreal, acuerdo internacional firmado por México en 1987 que regula el uso de las sustancias que agotan la Capa de Ozono, a través de la eliminación gradual y obligatoria de su producción y consumo (García, 2011).

El BM es una de las sustancias más dañinas para la capa de ozono, junto con otras como las utilizadas en refrigerantes, aerosoles y extintores de incendios.

La capa de ozono se encuentra entre 20 y 50 kilómetros sobre la superficie terrestre, protegiéndonos de letales radiaciones solares. Su paulatina destrucción, provocada por la actividad humana, ha constituido un grave problema durante los últimos 40 años, afectando las esferas del medio ambiente, el comercio y el desarrollo sostenible. Por lo anterior, en 1977 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente inició las acciones para proteger la capa de ozono. Estas acciones se concretaron en 1987, con el establecimiento de un acuerdo internacional denominado Protocolo de Montreal. De esta forma, desde 1987 el Protocolo de Montreal regula el consumo de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) (Estrada-Valenzuela y López-Aranda, 2010).

La disminución de la capa de ozono conlleva un aumento de las radiaciones ultravioleta de tipo B que llegan a la corteza terrestre. Este aumento de las radiaciones es perjudicial para el hombre ya que aumenta el riesgo de cáncer de piel y la aparición de enfermedades oculares (Estrada-Valenzuela y López-Aranda, 2010). Si aumentan estas radiaciones supondría el incremento de la temperatura media de la Tierra, por lo que la utilización del BM, también incide en el calentamiento global. Para la vegetación, el aumento de las radiaciones de tipo B supone una disminución de la fotosíntesis, ya que la radiación que utilizan las plantas es aquella cuya longitud de onda se encuentra sólo entre 380 y 730 nm (García, 2011).

En la 54ª reunión del Comité Ejecutivo del Protocolo de Montreal, celebrada en abril del 2008, fue aprobado el “Plan Nacional de Eliminación del Consumo de BM en la Fumigación de Suelos y Estructuras”. El proyecto es implementado por el Gobierno de México, a través de la Unidad de Protección a la Capa de Ozono (UPO) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) (García, 2011).

Este acuerdo y sus enmiendas periódicas, está dirigido a eliminar la producción y uso de sustancias que se considera pudieran afectar la capa de ozono en la estratósfera,

en particular los compuestos cloro-fluoro-carbonados usados como propelente en los aerosoles y en los compresores de los sistemas de refrigeración.

En la reunión de Ginebra a fines de 1993, el Comité para la Protección al Ambiente de la Organización de las Naciones Unidas atendió una propuesta al efecto de que se redujera la producción de BM a partir de 1996 al nivel que tenía en 1991 y que, al igual que los CFC's fuera eventualmente substituido por otros materiales sin efecto en la capa de ozono.

Esta propuesta se hizo con base en la semejanza de la estructura química del BM con la de los CFC's, en modelos matemáticos que indicaron que el BM pudiera comportarse en forma análoga.

Muchas naciones miembros del Comité, particularmente entre los países no industrializados, consideraron que la suspensión del uso del BM tendría graves consecuencias en el abasto de alimentos para la población.

Otras expresaron que no había evidencia científica suficiente para respaldar la tesis de que el BM tuviera un efecto semejante en la capa de ozono al de los CFC's y que fuera realmente relevante la contribución a este efecto del BM usado para combate de plagas.

Estudios posteriores de la NASA (Administración Nacional Aeroespacial de los Estados Unidos) indican que la vida media del BM en la estratósfera es del orden de un año, contra 15 a 30 para los CFC's, lo que baja notablemente el índice de efecto nocivo en la capa de ozono. Igualmente, se estableció que la generación de BM en forma natural en los océanos es por mucho la principal fuente de bromuros orgánicos que se encuentran en la estratósfera.

En todo este periodo, se han buscado exhaustivamente materiales nuevos como el yoduro de metilo o ya conocidos, como el fluoruro de sulfurilo para substituir al BM. Hasta ahora no se ha encontrado uno que tenga efectividad y costo similares.

Así las cosas, en noviembre de 1993, la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), emitió un decreto ordenando la suspensión

total de la producción, importación y exportación de BM en, hacia y de los Estados Unidos, a partir del 1º de enero del año 2000. (Elola, 2007)

Sin embargo, posteriormente, por razones jurídicas y comerciales, la aplicación de este decreto ha sido pospuesta en varias ocasiones, pues consideran que la eliminación del bromuro coloca a sus productores de hortalizas en desventaja contra los que aún están autorizados para usarlo.

Como consecuencia los Estados Unidos y otros países industrializados, han estado posponiendo la aplicación de las restricciones convenidas, y solicitando vía excepciones por uso crítico, la autorización para el uso de mayor cantidad de BM que la convenida en los tratados. Contradictoriamente, la oficina de Naciones Unidas a cargo de la protección de la capa de ozono, ha estado promoviendo acciones de desfase acelerado del BM por parte de los países en vías de desarrollo.

Las alternativas están más dirigidas al uso de invernaderos o de técnicas para injerto de plántulas, que son de alto costo y difícil aplicación en estos países.

Respecto al futuro del BM, lo único que puede aseverarse en este momento es que existirán presiones mayores para acelerar su desfase en los países en desarrollo antes del presente año y, paralelamente, varios de los desarrollados presionarán por diversos mecanismos para seguir usándolo, en tanto no se encuentra una alternativa verdaderamente viable (Faxsa, 1995).

3.5.4. Uso del bromuro de metilo en México

En México, el organismo encargado de la regulación del uso de los plaguicidas es la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), la cual está conformada por las Secretarías de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA); del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP); de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y de Salud (SS). Cada una de las dependencias mencionadas participa desde el ámbito de su competencia legal en la regulación de los plaguicidas,

en el caso de la SAGARPA corresponde la aplicación de la Ley Federal de Sanidad Vegetal (Cotero-García, 1998).

La CICOPLAFEST publica anualmente el Catálogo Oficial de Plaguicidas, en este documento se establecen los plaguicidas autorizados, los cultivos y condiciones de uso. En este sentido, la CICOPLAFEST ha autorizado el uso de BM para el control de plagas en tratamiento de granos almacenados (almacenes, barcos y furgones), como fumigante de suelo en presiembra, fumigante en medios de transporte y espacios vacíos (bodegas y almacenes), para el control de roedores y en tratamientos cuarentenarios (Cotero-García, 1998).

De estos usos de BM, los más importantes son la aplicación como fumigante de suelo en presiembra y en tratamientos cuarentenarios.

En el primero se utiliza principalmente para la esterilización del suelo en sistemas de producción de cosechas de exportación de alto valor, entre ellas la fresa, tomate, melón, tabaco, brócoli y ornamentales en las principales regiones agrícolas del país, aplicándose aproximadamente un 60% del total de BM en este uso (SEMARNAT, 2004)

En lo que refiere a tratamientos cuarentenarios, se tienen dos usos principales: tratamientos para cuarentena exterior y tratamientos para cuarentena interior. Con relación a los tratamientos para cuarentena exterior, la aplicación de BM dado su alta efectividad y espectro de acción, se realiza en los puntos de entrada a México, en todos los embarques de frutas, granos y semillas, que por su origen pueden ser portadoras de plagas exóticas que pongan en riesgo la fitosanidad del país, principalmente de Gorgojo kapra , mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), mosca oriental de la fruta (*Dacus dorsalis*), palomilla oriental de la fruta (*Cydia molesta*), picudo de la ciruela (*Conotrachelus nenuphar*), malezas y hongos. Para lo cual, la SAGARPA ha publicado los requisitos fitosanitarios para la importación de frutas, granos y semillas, además de editar el Manual de Tratamientos Cuarentenarios (Cotero-García, 1998), mismo que contiene las especificaciones para realizar los tratamientos a base de BM tomando en cuenta el tipo de cultivo, país de origen del embarque para determinar el riesgo cuarentenario, presencia de plagas cuarentenas

en el país de origen, así como las cuestiones para realizar una óptima aplicación: temperatura, periodo de exposición, medición de la concentración, como se puede apreciar en el cuadro 7.

Cuadro 7. Requisitos fitosanitarios para la importación de granos, estableciendo obligatorio el uso de BM como tratamiento cuarentenario.

Productos	País	Dosis (g/m ³)	Tiempo de exposición (hrs.)
Maíz (grano)	EUA	40	24
Maíz (palomero)	Canadá	40	72
Maíz (palomero)	Sudáfrica	82	72
Maíz (palomero)	Italia	82	24
Trigo (grano)	Canadá	40	24
Trigo (grano)	EUA	40	24
Arroz (grano)	EUA	40	24
Arroz (grano)	Uruguay	40	24
Arroz (grano)	Canadá	40	24
Frijol (consumo)	Canadá	40	24
Frijol (consumo)	China	40	24
Frijol pinto	EUA	40	24
Garbanzo	EUA, Canadá	40	24
Garbanzo	Turquía	82	72
Lenteja	EUA, Canadá	40	24

Fuente: Cotero-García, 1998

Para el caso de tratamientos para cuarentena interior, la aplicación de BM se realiza principalmente en puntos de verificación interna para la movilización de vegetales, sus productos o subproductos que sean hospederos de plagas con cuarentena parcial o bajo manejo oficial, con la finalidad de evitar la introducción de estas en las zonas agrícolas libres de estas plagas y de su efecto devastador, un ejemplo de esta regulación es el tratamiento a base de BM a embarques de productos agrícolas hospederos de moscas de la fruta que sean movilizados de zonas de control fitosanitario o de baja prevalencia o zonas agrícolas libres de estas plagas.

Por otra parte, resulta importante mencionar que el control de plagas de granos producidos en el país, el uso de BM ha sido sustituido en su gran mayoría con la aplicación de fosforo de aluminio y fosforo de magnesio.

3.5.5. Eliminación del bromuro de metilo según el Protocolo de Montreal

El BM está siendo eliminado a nivel internacional de acuerdo con el protocolo de Montreal.

De acuerdo con las disposiciones del protocolo de Montreal, los países deberán reducir el consumo de BM (Producción más Importación menos Exportaciones) a partir de una línea de base así: 25 % en 1999, 50 % en 2000, 70 % en 2002 y 100 % en este año 2015 (PNUMA, 2014).

3.6. Peróxido de hidrogeno como desinfectante del suelo

En años recientes se ha venido probando distintos compuestos para la protección de cultivos agrícolas desinfectantes, de uso médico, veterinario y en procesos industriales de higiene, los cuales son interesantes para la horticultura porque son de baja toxicidad y tienen un efecto contra varios hongos, bacterias y virus (Slusarski, 2000). Entre los diferentes compuestos que se vienen utilizando como agentes desinfectantes destacan los compuestos clorados (cloro, sales de hipoclorito y dióxido de cloro), 14 cuaternarios de amonio, peróxidos (Peróxido de Hidrogeno) y ácidos peracéticos, para la desinfección de sustratos y soluciones nutritivas (Urrestarazu *et al.*, 2006 y 2007).

El peróxido de hidrógeno se ha utilizado como antiséptico desde hace muchos años por su efecto antimicrobiano debido a su capacidad oxidante. Se utiliza en la medicina, diversas industrias y en la restauración, etc., sin embargo su aplicación en procesos agrícolas está muy limitada. Las investigaciones relativas datan de fines del siglo XX (Baldry, 1982). Se han demostrado sus propiedades antimicrobiales, siendo efectivas para eliminar esporas de hongos, con un bajo impacto ecológico. También se ha comprobado su poder viricida y sus propiedades nematocidas (Martínez, 2012). Como

desinfectante del suelo, demostró su poder fungicida contra algunos géneros de hongos como *Phytophthora* y *Botrytis* en suelos freseros del Mediterráneo (Cuervo *et al*, 2014).

3.6.1. Propiedades Físicas y Químicas

Las propiedades físicas y químicas se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Propiedades físicas y químicas del peróxido de hidrogeno

Formula química	H2O2
Estado físico:	Líquido
Color:	Incoloro / Transparente.
Pto. De ebullición:	106°C (30%), 114°C (50%)
Pto. De fusión:	-26°C (30%), -51°C (50%)
PH.	2-4
Densidad relativa:	1,1g/cm3 (30%), 1,2g/cm3 (50%)
Pto. De descomposición:	120°C
Solubilidad:	Total en agua

Fuente. ATSDR, 2002

El peróxido de hidrógeno (conocido también como agua oxigenada) no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica. Se encuentra en bajas concentraciones (3-9%) en muchos productos domésticos para usos medicinales y como blanqueador de vestimentas y el cabello. En la industria, el peróxido de hidrógeno se usa en concentraciones más altas para blanquear telas y papel, como componente de combustibles para cohetes y para fabricar espuma de caucho y sustancias químicas orgánicas (ATSDR, 2002).

El peróxido de hidrogeno es un compuesto muy inestable que, en contacto con otros catalizadores orgánicos e inorgánicos, como por ejemplo la enzima catalasa (enzima presente en todos los tejidos de los organismos vivos que cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua), se descompone liberando moléculas de oxígeno, conocido como “oxígeno naciente”, provocando efervescencia.

De esta manera, se produce la oxidación de los grupos sulfhidrilos de las enzimas bacterianas, de forma que por acción del oxígeno, los grupos sulfhidrilos libres dan lugar a puentes disulfuro, con lo que cambia la conformación de las proteínas que forman dichas enzimas, con pérdida de su función y como consecuencia la muerte celular. Bactericida, aunque amplio, actúa de forma desigual en la desnutrición de los diferentes microorganismos, destacando la dificultad que ofrece al crecimiento y proliferación de los gérmenes anaerobios. Bacteriostático de baja potencia, en solución tópica al 3% peso/volumen, equivalente a diez veces su volumen en oxígeno, que bien tapada es de buena conservación; aunque puede diluirse a la mitad con agua apirógena para irrigaciones. El tiempo mínimo necesario de actuación es prolongado, debido a que su acción, sólo se ejerce mientras libera oxígeno, al que se conoce como “naciente” (Torno-Maicas y Rochina, 2015).

Su acción fungicida es mediante la oxidación de la membrana celular externa de bacterias, endosporas, levaduras y esporas; alteran su metabolismo; destruyen la membrana citoplasmica; desnaturalizan proteínas estructurales o enzimáticas y desnaturalizan los ácidos nucleicos. El mecanismo de oxidación es mediante transferencia de electrones, por lo tanto será mayor el poder oxidante y, en consecuencia, el microorganismo será inactivado antes (Martínez, 2012).

3.6.2. Peróxido de Hidrógeno en el ambiente

El peróxido de hidrógeno liberado a la atmósfera reacciona rápidamente con otros compuestos que se encuentran en el aire, se degrada rápidamente en el agua, si es liberado al suelo se degrada al reaccionar con otros compuestos y no se acumula en la cadena alimentaria (ATSDR, 2002).

El uso de productos orgánicos como los peróxidos se vislumbra también como una posibilidad para minimizar el impacto ambiental. El peróxido de hidrogeno es un agente oxidante con alta reactividad que se utiliza ampliamente como un desinfectante (Chapman, 1998), se ha comprobado que tienen bajo impacto ecológico en sistemas hidropónicos (Vines *et al.*, 2003), y que puede sustituir el cloro como alternativa de desinfección (Crowe *et al.*, 2007).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación del experimento

El trabajo se realizó en el laboratorio 104 del Departamento de Ciencias Agrícolas de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán FESC UNAM, que se encuentra ubicada en Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, localizada en las coordenadas 19° 42' de latitud norte y a los 99° 11' de longitud oeste, a una altura de 2,254 msnm.

Las muestras de suelo se obtuvieron del vivero de fresa de la FESC.

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar, con un análisis estadístico de comparación de medias ANOVA y Prueba de Tukey, realizados en Minitab.

El parámetro de evaluación fue las Unidades Formadoras de Colonias (UFC). Se llevaron a cabo 5 tratamientos (cuadro 9), las concentraciones de peróxido de hidrogeno se calcularon a partir de la regresión lineal calculada de los resultados obtenidos por Cuervo *et al* (2014), como propuesta para evaluar diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno.

Cuadro 9. Tratamientos experimentales

Tratamiento	Producto	Concentración ml/Kg suelo
1 BM	Bromuro de metilo	412/2.0
2 OXI	Peróxido de hidrógeno	233.33/2.0
3 OXI	Peróxido de hidrógeno	133.33/2.0
4 OXI	Peróxido de hidrógeno	33.33/2.0
TESTIGO	Peróxido de hidrógeno	0.0/2.0

4.2. Fase de laboratorio

Las actividades realizadas en el laboratorio fueron las siguientes:

1. Pesado y tamizado de las muestras de suelo

Se tamizó el suelo con una malla para poder quitar todas las piedras y después se utilizó un tamiz de 1:10.

Se colocaron 2 kg de suelo en cada charola, lo que se puede apreciar en la figura 4.



Figura 4. Peso del suelo

2. Desinfección del suelo

Se humedeció el suelo de cada charola con el tratamiento aforado a 500 ml de agua destilada estéril que corresponde a su punto de saturación.

Se tomaron tres charolas y se le aplicaron las dosis correspondientes de peróxido de hidrogeno 2 OXI, 3 OXI y 4 OXI (figura 5), las cuales se especificaron en el cuadro 9.

Para aplicar el BM se colocó la lata de media libra sobre una tabla con un clavo dentro de una charola, se cubrió totalmente con una cubierta plástica transparente y finalmente se golpeó la lata contra el clavo para que se pueda desprender el gas por toda el área.

En la última charola no se le aplico ningún químico ya que es nuestra concentración cero.



Figura 5. Dosis del peróxido de hidrogeno

Se taparon perfectamente cada una las charolas (tratamientos) y se dejaron por un periodo de 7 días.

3. Dilución en serie

Después de la esterilización se tomaron 4 muestras de 250 g de cada tratamiento y se colocaron en frascos (repeticiones de los tratamientos) como lo podemos apreciar en las figuras 6 y 7.

Las repeticiones se dejaron por un periodo de 7 días en reposo.



Figura 6. Peso del suelo en los frascos

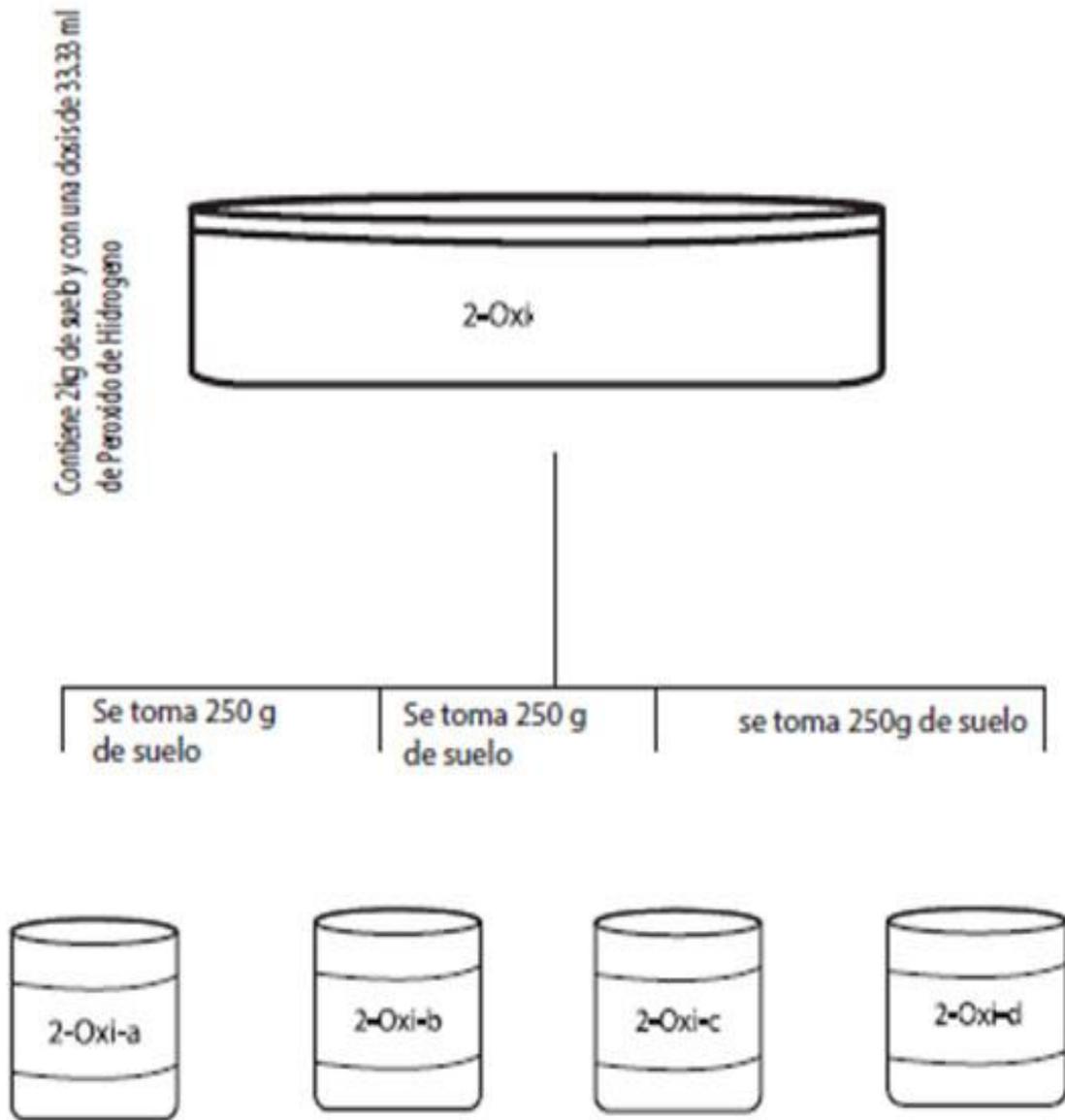


Figura 7. Representación de las repeticiones de cada tratamiento

Con el suelo obtenido de las repeticiones se realizó la de **dilución en serie** en condiciones de asepsia bajo una campana de flujo laminar (Figuras 8, 9 y 10).

1. Se pesa 1g de suelo y se agrega a un tubo de ensaye con 10 ml de agua destilada estéril.
2. Se agita manualmente durante 1 minuto aproximadamente.
3. Se toma una alícuota de 1ml con una pipeta y se agrega a otro tubo de ensaye que contenga 9 ml de agua destilada estéril y se agita nuevamente durante 1 minuto.
4. Se repite la operación hasta llegar a dilución 10^{-3}
5. De cada dilución se toma una alícuota de 1ml, la cual se siembra en las cajas Petri con medio de cultivo PDA.
6. Se sella cada caja con parfilm y se incuban en posición invertida a una temperatura de $\pm 26^{\circ}\text{C}$ durante 7 días.



Figura 8. Tubos de ensaye dilución en serie

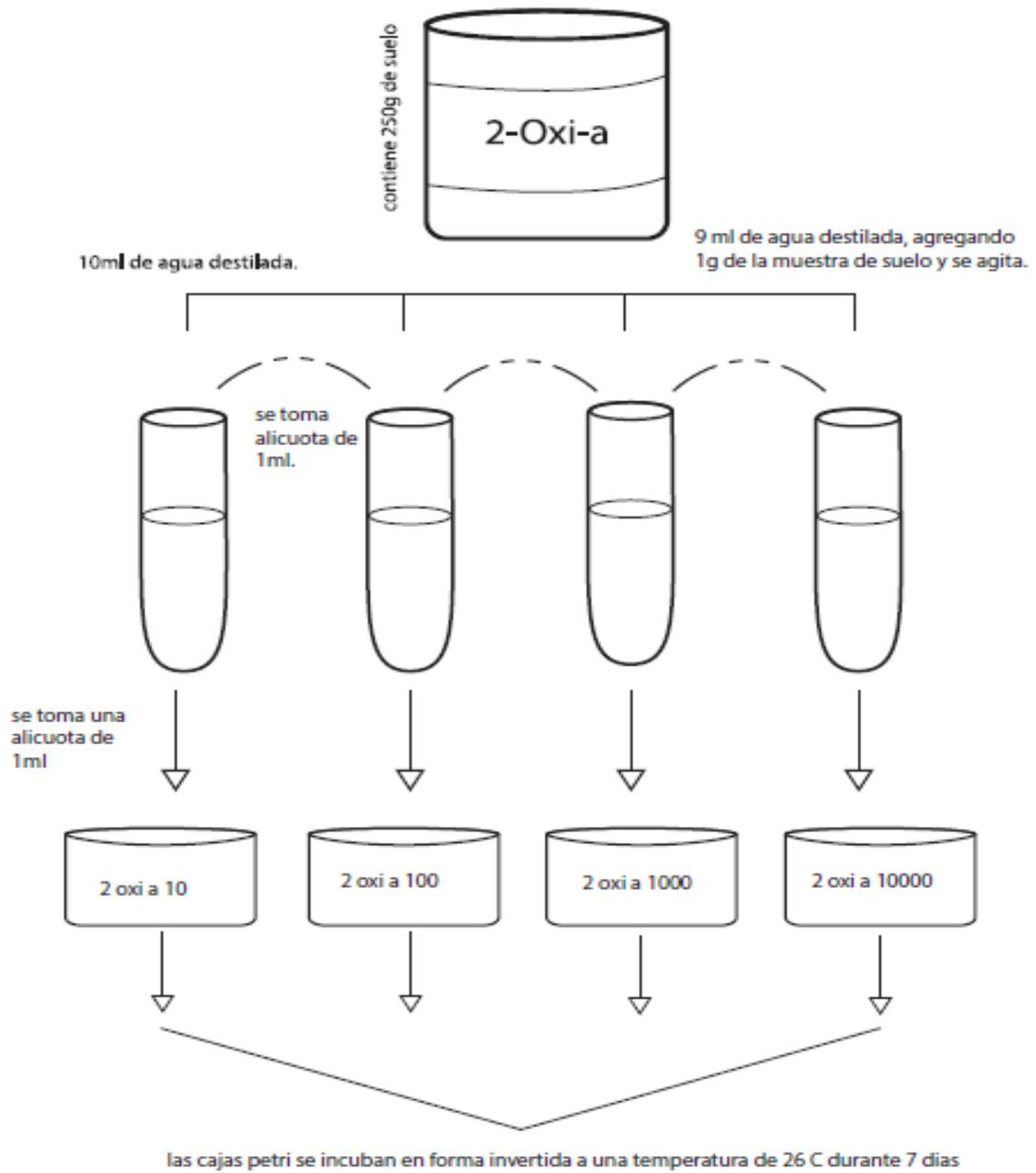


Figura 9. Esquema general de la dilución en serie



Figura 10. Cultivos de las diferentes soluciones

V. RESULTADOS

5.1 Conteo de la UFC (Unidades formadoras de colonias)

Tras la incubación, se observan las colonias de microorganismos sobre la superficie del agar. Cada colonia representa a una UFC y usualmente corresponde con una célula viable.

El Conteo de las UFC se tomó de la dilución 1:1000 de cada tratamiento (Cuadro 10 y Figura 11).

Cuadro 10. Promedio de las UFC

TRATAMIENTO	UFC
1 BM	0
2 0xi	127.7
3 0xi	233.7
4 0xi	383
5 T	351

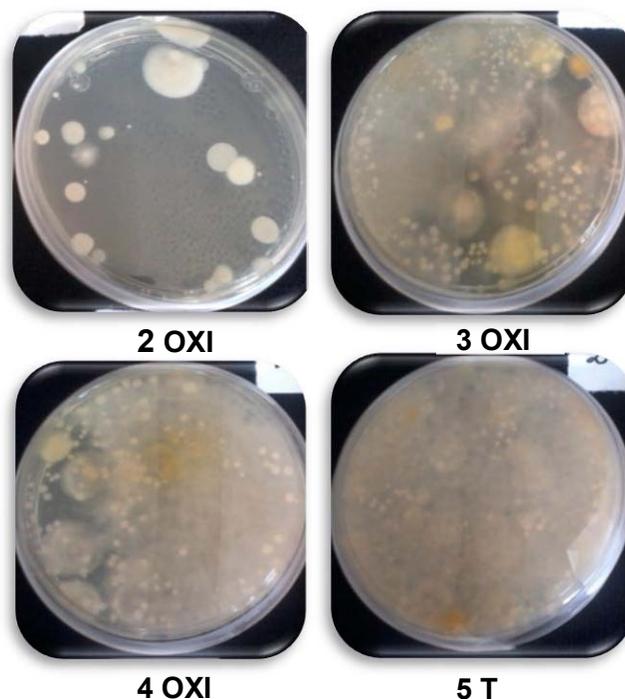


Figura 11. Tratamientos de la dilución 1:1000

5.2 Análisis de varianza

El análisis de varianza indicó que los tratamientos de evaluación, BM y OXI (Peróxido de hidrogeno) como desinfectantes del suelo, fueron altamente significativos (**P= 0.000**) cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis de varianza de la dilución 1:1000

FV	GL	SC	SC	CM	(F)	(P)
Tratamiento	4	403300	403300	100825	13.11	0.000**
Error	15	115370	115370	7691		
Total	19	518670				

** : Altamente significativo; **FV**: Fuente de variación; **GL**: grados de libertad; **SC**: Suma de cuadrados; **CM**: Media de cuadrados

Al realizar la prueba de medias (figura 12) para los tratamientos se determinó que la mejor dosis se obtuvo de 2 Oxi con 127.7 UFC ya que no existe

diferencia significativa con el BM. La dosis 4 Oxi no es tan efectiva ya que presenta una media de 383 UFC similar a 5 T con 351 UFC y la dosis 3 Oxi tiene 233.7 UFC; sin embargo comparando las dosis 2 Oxi y 4 Oxi hay una reducción aproximadamente del 67% de UFC.

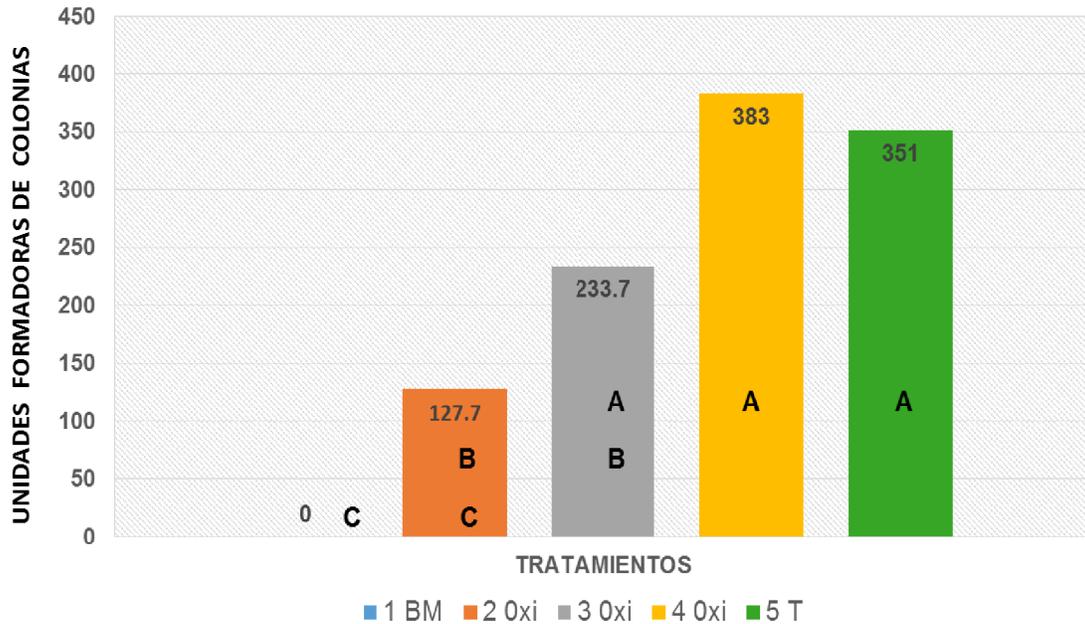


Figura 12. Grafica de medias de 1BM, 2 Oxi, 3 Oxi, 4 Oxi y 5T de la dilución 1:1000

VI. DISCUSIÓN

Para demostrar comparativamente el efecto desinfectante del bromuro de metilo y del peróxido de hidrógeno, se realizó el análisis estadístico de los conteos de las UFC en todos los lotes, encontrando diferencia significativa entre el tratamiento 1 BM y los tratamientos 3 OXI (133.33 ml), 4 OXI (33.33 ml) y 5 OXI (concentración cero). Esto viene a demostrar la superioridad del BM sobre el peróxido de hidrógeno como desinfectante del suelo.

Por otra parte, los tratamientos 3 OXI, 4 OXI y 5 OXI son estadísticamente iguales, lo que indica que estas concentraciones no son recomendables para la desinfección del suelo, ya que el crecimiento de las UFC es estadísticamente igual tanto en los tratamientos con peróxido de hidrógeno (3 OXI y 4 OXI) como en el tratamiento de concentración cero (T5).

Sin embargo, no hubo diferencia significativa entre el 1 BM y el 2 OXI (233.33 ml). Esto puede indicar que esta dosis puede funcionar como alternativa al BM, a pesar de que hubo presencia de UFC. Es decir, que aunque con la aplicación de esta dosis de peróxido de hidrógeno no se logra una desinfección total, se reducen de manera significativa las UFC, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Cuervo *et al* (2014). Por otro lado, la utilización de peróxido de hidrógeno en esta dosis es una buena alternativa, ya que no deja residuo alguno, cumpliendo con su papel de desinfectante. (Urrestarazu *et al.* 2006 y 2007).

El hecho de que el peróxido de hidrógeno no elimine por completo a los microorganismos del suelo, puede ser un elemento a su favor, ya que su desinfección no pretende eliminar todo trazo de vida, sino únicamente a los patógenos presentes que significan pérdidas potenciales.

Este producto es eficiente para los cultivos hidropónicos, se utiliza en el agua y la solución nutritiva como un tratamiento para eliminar patógenos y limpiar el agua. En mayores concentraciones puede ser utilizado para la limpieza de los depósitos y tuberías del sistema sin riesgo de dejar residuos. Además el peróxido incrementa el

contenido de oxígeno en las soluciones nutritivas, proveyendo de oxígeno disponible para la planta, lo cual impulsa su crecimiento (Escalona M., 2006)

Para futuras investigaciones se recomienda probar nuevas dosis, considerando los diferentes grados de reactividad del peróxido de hidrógeno (30%, 45% y 60%).

Así mismo, se recomienda hacer una identificación de los patógenos presentes en el suelo, y determinar los porcentajes en los que son disminuidos.

VII. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se desarrolló la presente tesis, se concluye lo siguiente:

1. Los tratamientos más efectivos para la desinfección del suelo fueron: 1BM y 2OXI.
2. No hubo diferencia significativa entre los tratamientos 1BM y 2OXI.
3. Los tratamiento 3OXI, 4OXI y 5T fueron estadísticamente iguales.
4. Podríamos considerar al peróxido de hidrógeno como una alternativa viable para la desinfección del suelo, pues al ser biodegradable no lo contamina, constituyéndose como un producto sustentable.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilera, M. (2011). Desinfección de suelos. *Homo Agrícola*.
- Aguirre- Buenaño, N. (2013). *Métodos de desinfección de sustrato para el control de damping-off en semillero de teca bajo invernadero*. Consultado el 9 de Enero del 2015, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2992/1/33T0120%20AGUIRRE%20NORMA.pdf>. Ahmad y Khan. (2008). Screening of free-living rizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 173-181.
- Ahmad, F., Ahmad, I. y Khan, M. (2008). Screening of free-living rizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research* 163: 173-181.
- Alvarez, A. (1998). *Sotrafa Agrícola división*. Obtenido de Desinfección de suelos agrícolas mediante la utilización de plásticos especiales : Consultado el 23 de Marzo 2013, de [file:///C:/Users/CORP/Downloads/desinfeccion%20de%20suelos%20agricolas%20mediante%20la%20utilizacion%20de%20plasticos%20especiales%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/CORP/Downloads/desinfeccion%20de%20suelos%20agricolas%20mediante%20la%20utilizacion%20de%20plasticos%20especiales%20(6).pdf). Atlas y Bartha. (1998). *Microbial Ecology, fundamentals and applications*. Cummings.
- Atlas, R., y Bartha, R. (1998). *Microbial Ecology, fundamentals and applications*. Louisville: B/Cummings.
- ATSDR. (2002). Hydrogen Peroxide. *Agency for toxic substances and disease registry* 84 (1): 1-2.
- Baldry, M. (1982). The bactericidal, fungicidal and sporocidal and sporocidal properties of hydrogen peroxide and peracetic acid. *Journal of Applied Bacteriology* 54: 417-423.
- Barres M.T, B. A. (2006). *la eliminación de Bromuro de Metilo en la protección de Cultivo como modelo mundial para la conservación del medio ambiente*. Madrid: Univ. Almería, MAPA.

- Bello A. (1998). El bromuro de metilo se suprime como fumigante del suelo. *Phytoma España* 101, 10-21.
- Braga, L. F. (2003). *Manual para la capacitación de trabajadores de extensión y agricultores*. FAO y PNUMA.Roma.
- Cañizares, J. M. (2010). Productos fitosanitarios. Unión Europea: OCAPA.
- Carrasco, J. y Riquelme, J. (2006). *Biofumigación*. Obtenido de Alternativas de desinfección del suelo, en la producción de tomates en invernaderos de Colón.
- Cenis, J.L. (1991). Control de hongos del suelo mediante solarización . *Phytoma España* 30: 59-61.
- Chapman, J. (1998). Characterizing bacterial resistance to preervatives and disinfectants. . *International Biodeterioration and biodegradation journal* 41: 241-245.
- Cotero García, M. A. (1998). *Reunión sobre alternativas para la sustitución del uso de bromuro de metilo en la agricultura*. Caracas, Venezuela.
- Crowe, k., Bushway, R., Bushway, K., Davis- Denciti y Hazen. (2007). A comparison of single oxidants versus advanced oxidation processes as chlorine-alternatives for wild blueberry processing (*Vaccinium angustifolium*). *International Journal off Food Microbiology* 116: 25-31.
- Cuervo Usán, Y., Tornos Mauri, P., Hernandez Dominguez, J., Orihuela Calvo, D., Dominguez Hernandez, M. y Moreno Martinez, E. (2014). Eficacia de peróxidos en la desinfección de suelos aptos para el cultivo de fresa en el mediterraneo. *Fitotecnia* 37 (4):393-398.
- Daphnia. (Julio-Agosto de 1997). *Bolentin informativo sobre la prevencion de la contaminacion y la produccion limpia*. Consultado el 8 de Febrero de 2013, de http://www.ccoo.com/comunes/recursos/1/pub39_Daphnia_n_9.
- Diez, M. L. (20 de Febrero de 2010). *Biodesinfección de suelos y manejo agronómico*. Consultado el 20 de Abril 2014, de Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino: <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/>

- Elola, S. (2007). Agotamiento de la capa de Ozono y el bromuro de metilo sigue en carrera. *RAPAL*. Uruguay.
- Escalona, L.M. (2006). Bioseguridad en invernaderos. *Dossier*, 856-861.
- Estrada Valenzuela, J. F. y López Aranda, J. M. (2010). *Alternativas químicas al uso de bromuro de metilo en el cultivo de fresa*. SEMARNAT. Baja california México:
- Faxsa. (Julio de 1995). *Manual Tecnico*. Consultado el 15 de Febrero de 2013, de <http://www.faxsa.com.mx>
- Fernandez-Larrea V.A. (2001). Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. *Manejo integrado de plagas Costa Rica* 62: 96-100.
- Feuehake, G. (2008). *Resultados y lecciones en reemplazo de bromuro de metilo*. Serie experiencias de innovación para el emprendimiento agrario. Colín, region del Maule.
- Fierer y Jackson. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 626-631.
- García, O. P. (2011). *Plan nacional de eliminación del consumo de bromuro de metilo en México*. ONUDI. México.
- Gullino, Spadaro y Garibaldi. (2005). Integrated approaches for soil desinfestation. *Acta Horticulturae* 698 :91-98.
- Heraz, A. (2014). Desinfeccion en suelos agricolas. *Agroquímica sostenible*, 20.
- Huerto, M., y Rufino, E. (Marzo de 2013). Consultado el 2 de Enero 2015, de <http://aersantafe.blogspot.mx/2013/03/aplicacion-de-productos-alternativos-al.html>
- Ibáñez , J. (2010). Desinfeccion de suelos (Biofumigación): abono y alternativa ecologica a plaguicidad y fertilizantes sintéticos. *Un universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida*. Madrid.
- Jacome, C. A. (Julio de 2012). *Alternativas al uso de bromuro de metilo en los cultivos de flores de verano ecuador*. Obtenido de www.unido.org

- Jaramillo, J. (2006). *El cultivo de las crucíferas: brócoli, coliflor, repollo, col*. Consultado el 20 de Febrero 2014, de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Centro de Investigación La Selva: <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb//WebBac/Documentos/ELCULTIVO CRUCIFERAS.pdf>
- Lynch. (1990). *The rhizosphere*. Mc Millans, London.
- Margalef. (1992). Planeta azul planeta verde. *Prensa científica*, 3-5.
- Martínez, S. A. (2012). CB-3C OxyBAC Dfs se consolida como la mejor alternativa para la desinfección de suelos y sustratos. *PHYTOMA* 241: 53.
- Monro. (1980). *Manual de fumigación contra insectos*. FAO. Roma.
- Movil, P. (2004). *La desinfección del suelo*. Obtenido de www.movilpap.com.ar
- Pullman, G.S (Enero de 2000). *Soil solarization and thermal death a logarithmic relationship between time and temperature for four plant pathogens*. Consultado 14 de Marzo 2013, de <http://www.agro.unlpam.edu.ar/catedras-pdf/Solarizaciom.pdf>
- Resh. (1992). *Cultivos hidropónicos*. Madrid, España: Mundi-Presa.
- Romero, S. y Hernandez, K. (Abril de 2012). *Agricultura sustentable*. Consultado el 14 de Marzo 2013, de <http://hernandezromerolyco.blogspot.mx/>
- Sandoval B.C. (2004). Manejo integrado de enfermedades en cultivos Hidropónicos. *Manual técnico*, FAO - Universidad de Talca 53.
- SEMARNAT. (2004). *Grupo industrial Advantage Tecnología*. Obtenido de Bromuro de metilo: Consultado 28 de Febrero 2015, de http://www.nom-144.com.mx/bromuro_de_metilo.html
- Slusarski, C. (2000). The use of disinfectants for controlling a soilborne foot and root rot disease complex on greenhouse tomatoes in the rockwool open culture system. *Acta Horticulturae* 532, (págs. 217-224).
- Tello, J.C, B. A. (1994). *El suelo como ente vivo. La rizosfera, los hongos y los nematodos fitopatógenos en la memoria del suelo*. Toledo, España

- Torno-Maicas, V. y Rochina, I. (Enero de 2015). *Antisépticos*. Obtenido de Fundamentos de uso en la práctica clínica: Consultado 2 de Marzo 2015, de http://www.uv.es/curafisiologica/documentos/publicaciones/muestra_web_antisepticos.pdf
- Urrestarazu, M., Garcia, C.D., Moreno, S. y Alvaro, J. (2007). Bioseguridad en la horticultura protegida a través de química verde. *Horticultura 203*: 38-42.
- Urrestarazu, M., Salas, S., Carolina, M. y Morales, t. (2006). Bioseguridad a través del agua de riego en la horticultura protegida. *Vida rural 239*: 56-58.
- USDA (United States, Department of Agriculture, US). (2003). *Eliminación por etapas para Bromuro de Metilo*. Consultado el 2 de Febrero de 2014, de www.ers.usda.gov
- Vargas, T.P., Castellanos, R.J., Sanchez, G.P., Tijerina, C.L., Lopez, R.M. y Ojodeagua, A.J. (2008). Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Fitotecnia Mexicana 31 (4)*, 375-381.
- Vines, J. R. (2003). Physiological effects of peracetic acid on hidroponic tomato plants. *Annals of Applied Biology 143 No.2*, 153-159.
- Wamberg, C., Christensen, S., Jakobsen, I., Muller A.K. y Sorosen, S.J. (2003). The Mycorrhizal fungus affects microbial activity in the rhizosphere of pea plants (*Pisum sativum*). *Soil Biology and Biochemistry*, 1349-1357.
- Yuce, E., Yigit y Tosun, E. (2011). Efficacy of solarization combined with metam sodium and hydrogen peroxide in control of fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici and clavibacter michiganensis subsp. micgiganensis in tomato greenhouse. *Acta Horticulturae 914*: 385-392.
- Zanón, M. (2009). *Tesis doctoral: Efecto de la biofumigación y biosolarización en el control de agentes fitopatógenos. Valencia*. Consultado el 1 de Abril de 2014

IX. ANEXO**Conteo de las UFC de los tratamientos en la dilución 1:1000**

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	RESULTADOS
1 BM	a	0
1 BM	b	0
1 BM	c	0
1 BM	d	0
2 0xi	a	137
2 0xi	b	138
2 0xi	c	120
2 0xi	d	116
3 0xi	a	211
3 0xi	b	208
3 0xi	c	230
3 0xi	d	286
4 0xi	a	368
4 0xi	b	390
4 0xi	c	387
4 0xi	d	387
5 T	a	500
5 T	b	279
5 T	c	112
5 T	d	513