

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.



DIVISION DE INGENIERIA.  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE.



Solarización y Fumigación con Bromuro de Metilo Para el Control de  
Fusarium y Siembra del Cultivo de Melón Sobre el Mismo Plástico.

Por:

Mariano Nanduca López.

Presentada Como Requisito Parcial Para  
Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo En Irrigación.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México . Mayo 2007

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.

Solarización y Fumigación con Bromuro de Metilo Para el Control de  
Fusarium y Siembra del Cultivo de Melón Sobre el Mismo Plástico.

## TESIS

Presentada por:

**Mariano Nanduca López**

Que somete a Consideración del H. Jurado Examinador  
Como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

---

Presidente del Jurado

M.C. Luis E. Ramírez Ramos

---

Asesor Externo

M.C. Boanerges Cedeño ruvalcaba

---

Asesor

M.C. Tomas Reyna Cepeda

---

Asesor Externo

M.C. Ma. Rosario Quezada Martin

Coordinador de la División de Ingeniería.

Dr. Raúl Rodríguez García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2007

## DEDICATORIA.

A DIOS por guiarme por el camino correcto, por darme fé, esperanza, y por que en todo momento esta conmigo.

A mi padre y amigo que siempre está cuando más le necesito que siempre me ha exigido y que a hecho de mí lo que soy hoy.

A mi madre que siempre me ha apoyado y ha compartido todos mis estudios, mis sueños y siempre luchó porque yo fuera el ejemplo de mis hermanos por ser el mayor

A mis hermanos Mari, Lindy, Enever, Flori y Monchi ellos que han sido mi trampolín de salida y mi empuje. Sin olvidar a mis tres sobrinos Litzí Georgina, Eddie Arbey y Arleth

A mis tíos, gracias por quererme y verme con aprecio en especial al tío Rausel. A mi primo Gamaliel por apoyarme y ayudar a terminar este trabajo.

A mis compañeros y amigos que me acompañaron en este largo camino, Robertoni, Eric, Eder, Victalino, Toño, Gerardo, Regina, Yecenia y a mi compañero de cuarto Martín Marina, como no nombrar a mis amigos con quienes visitamos el CIQA con el mismo interés de finalizar la tesis; Manuel Efraín, José Manuel y Verónica quienes para mi son especialmente fructíferos con quienes compartimos momentos de discusión y pensamientos colectivos. A todos los que no nombre gracias por compartir bellos momentos conmigo.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Hace poco más de cuatro años que mi vida cambió por completo. Jamás había tenido la intención, ni la más profunda sensación de vivir solo. Quizás si hubiese sabido a todas las carencias que me enfrentaría y los problemas que me acogerían, jamás lo hubiera intentado. No obstante, con el paso del tiempo se aprende que la felicidad es gratis y fiel compañera de todos los días.

Deseo agradecer profundamente a la casualidad que la vida me otorgó al haberme puesto en un hogar maravilloso al nacer, el cual recuerdo ahora de manera nostálgica. Sin el apoyo en todo sentido de mis padres y hermanos, el placer cotidiano de vivir sería simple monotonía. Es difícil imaginar cómo sería el andar cotidiano sin recordar su comprensión, su apoyo inmenso no solamente durante mi paso por la universidad, sino durante toda mi vida.

Sin lugar a duda este trabajo no pudo haberse realizado sin la formación que recibí durante más de cuatro años en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (U.A.A.A.N.). Gracias a todos los maestros que contribuyeron realmente en mi formación. Agradezco profundamente al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por las facilidades brindadas para la realización de esta Tesis. Al CONACYT, Fondo de Economía e Industrias de Culiacán S.A. de C.V. por aportar los recursos para el desarrollo del proyecto. Gracias a la amistad brindada por parte de todo el personal del CIQA, en especial a Jacobo, Gregorio y Arturo.

A mis asesores principales y sinodales M. C. Boanerges Cedeño, M. C. Ma. Rosario Quezada, ing. Tomas Reina y al ing. Luís E. Ramírez Ramos, quienes a pesar de tener su agenda siempre ocupada, me enseñaron y ayudaron a entender mucho de este trabajo que en ocasiones no encontraba la llave mágica que abre las puertas hacia el camino de las soluciones. Quiero enfatizar mi agradecimiento hacia M.C. Boanerges Cedeño por tener la paciencia ante mis dudas de novato y por escuchar atentamente los problemas que a lo largo de esta Tesis surgieron.

Tras estos agradecimientos, está uno muy especial...

Quiero agradecer a mi novia Adriana Martínez, que durante bastante tiempo tuvo la paciencia suficiente para apoyarme profundamente, para darme su comprensión, su cariño y su amor. Gracias por hacer de esos momentos un verdadero vivir.

Por último quiero dar las gracias a todos aquellos que me han devuelto una sonrisa, a todos aquellos que me ofrecieron un pan en tiempos difíciles, a todos aquellos que han puesto de su parte para que el trajín diario sea más llevadero y muy en especial a la vida que me ha dado tanto...

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
Objetivo.....	2
Hipótesis .....	2
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
Principios de la solarización .....	3
Efectos de la solarización sobre la temperatura del suelo .....	5
Efecto de solarización de suelo en nematodos fitopatógenos .....	7
Época y duración del tratamiento .....	8
Mejoramiento biológico y químico del suelo .....	9
Sensibilidad de los patógenos a la solarización .....	11
Hongos y bacterias controladas por solarización .....	14
Efectos de la solarización sobre las malezas .....	15
Estimulo de lo organismos benéficos del suelo .....	18
Bromuro de metilo.....	19
Principales problema de productores y consumidores de productos agrícolas .....	20
Problemas en el medio ambiente .....	20
Posibles solucione sobre el uso y aplicación de bromuro de metilo .....	21
Eliminación progresiva del bromuro de metilo según los acuerdos del protocolo de Montreal, 1997 .....	22
Principales enfermedades del melón .....	23
<b>MATERIALES Y METODOS</b>	
Localización .....	24
Clima.....	24
Suelo.....	24

Agua .....	25
Materiales y métodos .....	25
Características del experimento .....	25
Diseño experimental .....	26
Modelo estadístico .....	26
Variables evaluadas .....	27
Preparación del terreno .....	27
Instalación del sistema de riego y colocación del las cubiertas plásticas ....	28
Aplicación del bromuro de metilo .....	28
Monitoreo de la temperatura del suelo .....	29
Muestreo de suelo para cuantificación de nematodos .....	30
Muestreo de malezas .....	31
Producción de plántulas en invernadero .....	31
Prácticas agronómicas de manejo del cultivo de melón .....	32
Trasplante .....	33
Manejo y cuidado de plantas .....	34
Peso seco .....	34
Cosecha .....	34

## **RESULTADOS Y DISCUCIONES.**

Efectos de la solarización en la temperatura del suelo .....	36
Población de propágulos de fusarium sp por gramo de suelo .....	37
Germinación y transplante en el tratamiento solarizado .....	51
Germinación y transplante en el tratamiento con bromuro de metilo .....	52
Peso seco en tratamiento solarizado .....	53
Peso seco en tratamiento con bromuro de metilo .....	55
Rendimiento en el tratamiento solarizado .....	56
Rendimiento en el tratamiento con bromuro de metilo .....	59
Conclusiones .....	60
Bibliografías .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 3.1: Aplicación de bromuro de metilo a una dosis de 75 kg/ha. ....	29
Figura 3.2: Termopares colocados a 10, 20, 30 y 40 cm., de profundidad antes de colocar las cubiertas plásticas .....	30
Figura 3.3: Vapor de agua sobre las cubiertas plásticas .....	32
Figura 3.4: Trasplante de melón .....	33
Figura 4.1: Temperatura de suelo a 10 cm., bajo diferentes películas , durante 35 días de tratamiento .....	46
Figura 4.2: Temperatura de suelo a 10 cm., bajo diferentes películas , durante los primeros 5 días de tratamiento .....	47
Figura 4.3: Temperatura del suelo a 40 cm., bajo diferentes películas, durante los primeros 5 días de tratamiento. ....	48
Figura 4.4: Temperatura del suelo a 10 cm bajo diferentes cubiertas plásticas, durante los días 193 hasta 202 días de tratamiento .....	49
Figura 4.5: Temperatura del suelo a 40 cm., bajo diferentes películas, durante los días 193 hasta 202 días de tratamiento. ....	50
Figura 4.6: Temperatura del suelo a 10 cm., bajo diferentes películas, durante los últimos 3 días de tratamiento. ....	51
Figura 4.7: Temperatura del suelo a 40 cm., bajo diferentes películas, durante los últimos 3 días de tratamiento. ....	52
Figura 4.8: Temperatura del suelo a 20 cm., bajo diferentes películas, durante 45 días de tratamiento. ....	53
Figura 4.9: Temperatura del suelo a 30 cm., bajo diferentes películas, durante 45 días de tratamiento. ....	54
Figura 4.10: Temperatura del suelo a 40 cm., bajo diferentes películas, durante 45 días de tratamiento .....	55
Figura 4.11: Temperatura del suelo sin cubiertas plásticas .....	56
Figura 4.12: Comparación de temperaturas a 10 cm., de profundidad de las siete películas utilizadas en la investigación. ....	57

## ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 2.1 patógenos y plagas controladas por a solarización del suelo. ....	12
Cuadro 2.2: Patógenos controladas imprevisiblemente por solarización. ....	14
Cuadro 3.1 Tiempos de muestreo a partir del tiempo cero que es cuando inicia el ensayo para los dos tratamientos (bromuro de metilo y solarización). ... ..	31
Cuadro 4.1: Medias de carga patogénica en siete películas a diferentes tiempos de solarización. ....	58
Cuadro 4.2: Medias de carga patogénica en cuatro profundidades (10, 20 30 y 40 cm.) en diferentes tiempos de solarización. ....	59
Cuadro 4.3: Interacción de las medias de siete cubiertas plásticas con cuatro profundidades en diferentes tiempos de solarización. ....	61
Cuadro 4.4: Medias del número de plantas que sobrevivieron al transplante y número de plantas germinadas en siembra directa para disminuir perdidas en el tratamiento solarizado. ....	63
Cuadro 4.5: Medias del número de plantas que sobrevivieron al transplante y número de plantas germinadas en siembra directa para disminuir perdidas en el tratamiento con bromuro de metilo. ....	63
Cuadro 4.6: Medias de materia seca en gr., tomando en cuenta las cuatro cubiertas plásticas en el tratamiento solarizado. ....	64
Cuadro 4.7: Medias de materia seca en gr., tomando en cuenta los cuatro tiempos de solarización. ....	65
Cuadro 4.8: Medias de materia seca en gr., de las interacciones de las cuatro cubiertas y cuatros tiempos de solarización ....	66
Cuadro 4.9: Medias de materia seca en gr., del tratamiento con Bromuro de metilo. ....	67
Cuadro 4.10: Medias de rendimiento tomando en cuenta las cuatro películas en los diferentes tiempos de solarización. ....	68
Cuadro 4.11: Medias de rendimiento tomando en cuenta los cuatro tiempos de solarización. ....	69
Cuadro 4.12: Medias de rendimiento de las interacciones de las cuatro películas y los cuatro tiempos de solarización. ....	70
Cuadro 4.13: Medias de rendimiento en el tratamiento con bromuro de Metilo ....	71

## INTRODUCCION.

La producción de un cultivo se ve disminuida por efecto de factores bióticos y abióticos. Del total de pérdidas a nivel mundial se señala que las malezas son una de las principales causas. En Chile se puede estimar que estas pérdidas sobrepasan un 30%, y en caso de enmalezamiento extremo pueden llegar a un 90%.

Los patógenos del suelo también son la causa de muchas pérdidas de cosecha en los cultivos. La repetición de un cultivo en la misma parcela, que es una práctica habitual en los cultivos más rentables, acaba seleccionando en el suelo una población de microorganismos rica en los patógenos más especializados que fuerza a los agricultores a cambiar de parcela o a cambiar de cultivo. El control químico mediante fumigantes, a las dosis necesarias para disminuir el potencial infeccioso a unos niveles aceptables para los cultivos, afecta también al ambiente biológico, físico y químico del suelo.

Igualmente está adquiriendo gran importancia la contaminación de acuíferos por actividades agrícolas. Los residuos de fertilizantes (nitratos) y productos fitosanitarios suponen ya en la actualidad un grave riesgo para la utilización de aguas potables. Otro caso es el bromuro de metilo, que después de ser aplicado al suelo se evapora a la atmósfera, y se desplaza hasta la estratosfera contribuyendo a la desaparición progresiva de la capa de ozono. Es por eso que muchos esfuerzos de investigación se están realizando para encontrar métodos alternativos más amigables con el medio ambiente, para mejorar el manejo y control de nemátodos y otros patógenos del suelo que son problemáticos en la agricultura.

Una de las aplicaciones más prometedoras para el control de plagas de suelo incluyendo artrópodos, insectos, hongos, nemátodos, fitopatógenos y malezas es la solarización, el cual es un método físico hidrotérmico que requiere el uso de plásticos transparentes como acolchado antes de la

plantación, y preferentemente deberá aplicarse en la época más caliente del año (Katan y DeVay, 1991; Elmore et al., 1997). Entre los términos usados para denominar este método están: Calentamiento solar, acolchado plástico, solarización del suelo y pasteurización del suelo.

Con fundamento en lo anterior el presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

### **Objetivos.**

- ✚ Evaluar el efecto de solarización en cuatro cubiertas plásticas para disminuir los patógenos presentes en el suelo.
- ✚ Comparar diferentes tiempos de solarización y determinar el período óptimo para obtener la mejor respuesta biocida a los patógenos presentes en el suelo.
- ✚ Comparar el efecto biocida de la solarización con el uso de bromuro de metilo como una posible alternativa para eliminar el uso de este último.

### **Hipótesis.**

La reducción de la carga patogénica del suelo ocasionado por el efecto de solarización será tan efectiva como la aplicación de bromuro de metilo, al menos uno de los períodos de solarización se comportará mejor o igual a la aplicación de bromuro de metilo sin afectar las variables de sanidad crecimiento y rendimiento en melón.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Principios de la solarización.**

La solarización es un proceso hidrotérmico que involucra cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo humedecido durante y después del acolchado plástico. Con la solarización, el suelo es acolchado durante los meses más calientes del año en un intento para incrementar la temperatura máxima a niveles letales para los microorganismos y malezas presentes en el suelo.

La solarización calienta al suelo durante las horas de mayor radiación solar, a mayor profundidad de suelo la temperatura máxima se reduce, es alcanzada más tarde durante el día, y mantenida por períodos de tiempo más largos.

Una buena preparación de la tierra antes de sembrar o trasplantar es esencial para la solarización. Después de retirar el plástico transparente y una vez que terminó el período de solarización, el suelo debe de evitar disturbarse lo menos posible para evitar la recontaminación.

El mejor tiempo para acolchar el suelo debe ser determinado experimentalmente acolchando el suelo con polietileno (PE) transparente y midiendo las temperaturas que se alcanzan a las profundidades deseadas. (Katan y DeVay, 1991)

Una humedad del suelo adecuada durante la solarización es necesaria para incrementar la sensibilidad térmica de los organismos que se desean controlar, también mejora la conducción de calor en el suelo y permite aumentar la actividad biológica durante la solarización. El suelo bajo el acolchado plástico debe estar saturado o al menos a un 70% de la

capacidad de campo en las capas superiores y debe estar humedecido hasta una profundidad de 60 cm para que la solarización sea más efectiva. El suelo puede ser humedecido aplicando un riego antes de acolchar. Riegos adicionales durante la solarización, ya sea con riego por goteo o riego por surcos generalmente no son necesarios, excepto en suelos arenosos, porque de lo contrario se puede reducir la temperatura del suelo, a menos que el riego sea de noche. Buenos resultados han sido alcanzados con la técnica de un solo riego con el acolchado transparente. (Elmore et al., 1997).

Entre más delgada es la película plástica, mayor es la cantidad de radiación que se transmite al suelo y por lo tanto es mayor la temperatura alcanzada. Prolongar el período de solarización generalmente permite un mayor control de patógenos en capas de suelo más profundas. Resultados satisfactorios en diversas regiones del mundo con diferentes patógenos, han sido obtenidos usualmente en el rango de 20 a 60 días de solarización.

Frecuentemente el efecto de la solarización se aprecia a largo plazo en el control de enfermedades y en el incremento en rendimiento, se ha observado el beneficio de esta práctica todavía en el segundo y aún después de cuatro ciclos de cultivo.

La solarización causa cambios químicos, físicos y biológicos en el suelo, lo cual afecta el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, después del período de solarización es recomendable ir cambiando ciertas prácticas de manejo agronómico como fertilización para evitar un exceso de nutrientes, fecha de siembra y densidad del cultivo.

Por otro lado, el plástico de polietileno (PE) de una milésima de pulgada (0.025 mm ó 25 micras) de espesor es eficiente y económico pero no muy resistente al rompimiento debido al viento o al daño causado por animales. Los agricultores que se localicen en áreas con mucho viento deben considerar el uso de películas plásticas de 1.5 a 2 milésimas de pulgada (0.038-0.05 mm) de espesor. Utilizar una doble capa de plástico con un

espacio de aire entre ambas capas simula el efecto de invernadero y puede incrementar la temperatura del suelo entre 2 y 10°C. El uso de una doble capa de PE requiere de trabajo adicional, tiempo y dinero pero puede hacer la solarización de suelos más factible en áreas con climas fríos.

La solarización debe aplicarse en la época del año cuando las temperaturas ambientales sean más altas, cuando la longitud del día sea mayor, el cielo permanezca despejado y no ocurran vientos con frecuencia. (Elmore et al., 1997).

### **Efectos de la solarización sobre la temperatura del suelo.**

La temperatura del suelo es uno de los principales factores que se ven modificados por la acción directa de la solarización. En el calentamiento del suelo, influye además de la intensidad de la radiación solar, algunos otros factores como la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y características del suelo (Color; textura, estructura, materia orgánica y humedad). La película de plástico transparente permite que la mayor parte de la radiación cruce la película para incrementar la temperatura del suelo, permitiendo que solo una parte de la radiación sea reflejada. Por la noche, las fluctuaciones de temperatura a nivel del suelo son mayores debido a que el PE transparente permite que haya una radiación desde el suelo hacia la atmósfera (Katan y DeVay, 1991).

Diversos autores han reportado que durante el tratamiento de solarización, la capa superior del suelo alcanza las máximas temperaturas, y a medida que incrementa la profundidad, las temperaturas disminuyen. La temperatura máxima la alcanza el suelo durante el día y se mantiene por un largo tiempo. La capa superior del suelo es la que esta más propensa a los cambios de temperatura, ya que a medio día es la que alcanza la máxima temperatura y por la mañana es la parte más fría del suelo. Conforme avanzan las horas del día la temperatura se transmite de manera gradual hacia el interior; de manera que cuando empieza a disminuir la temperatura de la superficie del

suelo (alrededor de las cuatro de la tarde), la temperatura interior va en aumento y se conserva durante más tiempo (Elmore et al., 1997).

Pullman et al., (1981) reportaron que la temperatura registrada en los suelos solarizados con plástico de bajo espesor (25  $\mu\text{m}$ ) a 5 cm de profundidad durante la hora más caliente del día fue de 60 °C siendo 14°C más alta que el testigo, mientras que un suelo solarizado con plástico de mayor espesor (100  $\mu$ ) registró 57°C a la misma profundidad; o sea solamente 11°C más que en el testigo sin acolchado plástico. Estos mismos autores encontraron que a 15 cm de profundidad las temperaturas fueron menores que a 5 cm, alcanzando los 50°C en el suelo con plástico de menor espesor, mientras que el suelo cubierto con plástico grueso alcanzó solamente 48°C.

El trabajo realizado por Alexander (1990), reporta que durante el período de solarización las temperaturas más altas alcanzadas fueron, 55, 51, 47 y 43°C a 13, 38, 63 y 88 mm de profundidad, respectivamente. En los tratamientos solarizados la temperatura del suelo a 13 mm de profundidad fue superior a los 35°C en 48 días de los 58 días que duró el período de solarización. A esta misma profundidad, la temperatura antes mencionada sólo fue alcanzada durante 6 días en las parcelas testigo.

El estudio de Yucel et al. (2000), sobre solarización mencionan que la temperatura máxima del suelo fue 43.2 y 37.4°C a 10 y 20 cm de profundidad, respectivamente, lo cual permitió tener un control de la pudrición de la raíz en el cultivo del pepino bajo condiciones de invernadero en una región del Mediterráneo de Turquía.

El control de los fitopatógenos del suelo generalmente es mejor a la profundidad de 10 a 30 cm. Temperaturas de suelo más altas y un mayor calentamiento en los estratos inferiores puede ser alcanzado dentro de invernaderos o usando una doble capa de película plástica. La solarización de suelos en los invernaderos puede alcanzar los 60°C a una profundidad de 10 cm y 53°C a 20 cm. Suelos solarizados con plástico negro en viveros bajo una capa sencilla o doble de plástico puede rebasar en algunos casos los 70°C (Elmore et al., 1997).

## **Efectos de la solarización de suelos en nemátodos fitopatógenos.**

A pesar de que los nemátodos son los microorganismos más sensibles a las altas temperaturas, la solarización de suelos no siempre es tan efectiva en controlar nemátodos en comparación con el control de enfermedades fungosas y malezas, debido a que los nemátodos son relativamente móviles y puede recolonizar el suelo rápidamente. El control con solarización es mayor en los primeros 30 cm del perfil del suelo. Los nemátodos a mayor profundidad en el suelo pueden sobrevivir a la solarización y dañar las plantas con sistemas de raíz más profundos. El control de nemátodos con la solarización es generalmente adecuado para mejorar el crecimiento de plantas de raíz poco profunda y de ciclo corto. Dentro del grupo de los nemátodos de mayor importancia económica en la agricultura, que han sido controlados satisfactoriamente por este método son los que se reportan a continuación: *Ditylenchus dipsaci*; *Macroposthonia xenoplas*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne hapla*, *Globodera rostochiensis*, *Pratylenchus penetrans*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Pratylenchus praensis*, *Pratylenchus thornei*, *Paratylenchus hamatus*, *Rotylenchus incultus*, *Criconemella xenoplas*, *Paratrichodorus lobatum* y *Paratrichodorus minor*, *Helicotylenchus digonicus*, *Heterodera schachtii*, *Criconemella* sp. y *Xiphinema* sp. (Katan y DeVay, 1991; Elmore et al., 1997).

El efecto invernadero que se produce bajo el plástico durante el período de solarización permite que la temperatura del suelo alcance valores de 5 a 12°C por encima de la temperatura del aire, lo que puede ser letal para los nemátodos hasta los 20 o 30 cm de profundidad. En países de clima cálido se logra una mortalidad de los nemátodos del 100% hasta 10 cm de profundidad y un poco menos a profundidades mayores. Esta es una técnica efectiva con niveles poblacionales medios-bajos de nemátodos del quiste de la papa (25 huevos/gr de suelo), pero es costosa, requiere que el terreno esté libre de cultivos en el verano y que las temperaturas ambientales sean muy elevadas. Es una medida interesante para algunos países; tiene la ventaja de que es un método de control no contaminante y no es peligroso para el agricultor. Además, es efectivo también contra hongos y malezas. La

combinación de la solarización del suelo con el empleo de nematicidas fumigantes en dosis reducidas a la mitad o a un tercio de las recomendadas, permiten un buen control de los parásitos del suelo y se reduce el efecto contaminante del medio ambiente. (Crozzoli, 1990 y Greco, 1993).

Las cubiertas no porosas anulan el componente de evaporación, transmiten una parte importante de la radiación solar al interior del suelo. Suelen elevar así la temperatura, permitiendo aplicaciones como acolchado para anticipar cosechas y otras como la solarización, donde se extrema la posibilidad de incrementar la temperatura hasta niveles letales para muchos de los organismos vivos del suelo (Pullman et al., 1981). Cabe diferenciar entre microorganismos termófilos, que tienen su crecimiento óptimo a 40 -50°C, y que generalmente no son parasitarios sino componentes de ciclos de fermentación; y patógenos de temperaturas elevadas, como es el caso de *R. solani*, hongo mesófilo aunque de crecimiento óptimo a temperaturas altas (20-35°C), que es sensible al calor tal como han comprobado diversos autores (Pullman et al 1981, Cebolla et al 1989,1990).

La utilización de cubiertas plásticas supone alterar el balance de radiación, definiendo según el objetivo, un resultado más positivo o más negativo, el cual puede expresarse en mayor o menor temperatura en el suelo (Contreras et al., 1992). La temperatura del suelo se manifiesta como resultado del balance energético que inicialmente se expresa como balance de radiación.

### **Época y duración del tratamiento**

En la zona mediterránea la época adecuada es el verano por la coincidencia de la radiación solar alta, días más largos, mayor insolación, temperaturas del aire mayores y menos viento. Los tres meses de junio, julio, y agosto se consideran útiles; mayo y septiembre pueden ser así mismo válidos según sea el microclima local o las condiciones del tratamiento.

En cuanto a la duración, depende del tiempo en que el terreno queda libre de cultivo; salvada esta premisa, cuanto más larga sea la exposición al

tratamiento mayor eficacia letal se consigue sobre un número más amplio de patógenos y malas hierbas, dado que el efecto desinfectante del calor depende por un lado de lo elevada que sea la temperatura alcanzada en el suelo, y por otro del tiempo de exposición a la misma (Pullman et al 1981).

Según los trabajos de diversos autores se concluye que la duración mínima debe ser un mes en verano (Stapleton y Devay,1982; Kodama y Fukui,1982;SITI et al, 1982;Katan et al 1983;Malat hrakis 1987;Tamietti y Garibaldi 1987;Cebolla et al 1989,1990).

### **Mejoramiento biológico y químico del suelo**

La solarización inicia cambios físicos y químicos en suelo que mejoran el crecimiento y desarrollo de las plantas. La descomposición de la materia orgánica en el suelo libera nutrimentos solubles que aportan nitrógeno (NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y ácido fúlvico haciéndolos más disponibles para las plantas (Elmore et al., 1997).

La interacción entre la temperatura y humedad del suelo promueve el movimiento del agua en el suelo durante la solarización, teniendo las capas superiores una marcada fluctuación diaria de la temperatura y enfriándose durante la noche, causando que la humedad de las capas superiores del suelo descienda durante el día como resultado de la radiación solar, mientras que de noche baja la temperatura de las capas superiores causando un movimiento ascendente de la humedad y a medida que la solarización del suelo se profundiza, el movimiento de la humedad es más pronunciado cambiando la distribución de las sales. Se ha reportado una reducción en la salinidad del suelo como resultado de la solarización (Abdel - Rahim et al., 1988). Para maximizar este efecto, la preirrigación al inicio de la solarización debe de alcanzar una profundidad de 60-75 cm, pero ésta también está influenciada por el tipo, color, estructura, humedad, contenido de materia orgánica y espesor del suelo, así como también la transmisión de la luz de la cubierta plástica, la duración del día, la intensidad de la luz solar,

el periodo de calentamiento, la sensibilidad de los patógenos y las plagas al calor (Katan, 1987; Stapleton y DeVay, 1986).

La mayor disponibilidad de nutrientes minerales existentes en el suelo después de la solarización está relacionada con las fracciones orgánicas como  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , P, Ca y Mg como resultado de la muerte de la microbiota. También se han encontrado los elementos P, K y Ca y algunos Mg extraíbles, así como también el N reducido se nitrificará en mayores cantidades después de la solarización para proporcionar  $\text{NO}_3$  para un mayor crecimiento de las plantas (Baker, 1962; Chen y Katan, 1980; Stapleton et al., 1985; Stapleton et al., 1990).

La concentración de cada elemento estará en función del pH del suelo y de los microorganismos nitrificantes. Las altas temperaturas alcanzadas en suelos ricos en materia orgánica pueden matar buena parte de la microbiota incluyendo los organismos nitrificantes y favoreciendo la acumulación de  $\text{NH}_4\text{-N}$ . En cambio, las bajas temperaturas del suelo y bajos contenidos de materia orgánica permitirán la sobrevivencia de la biota del suelo promoviendo condiciones aeróbicas con una mínima liberación de compuestos nitrogenados, dando lugar a la nitrificación y pérdida del N del suelo ya que el  $\text{NO}_3$  es fácilmente lixiviado (Hasson et al., 1977).

La solarización ha aumentado el contenido de amonio y nitrato en el suelo. Asimismo, se encontró que la solarización disminuyó la biomasa microbiana presente en el suelo. Existen otras investigaciones sobre el uso de la solarización desarrolladas en Costa Rica por empresas privadas, cuyos resultados no han sido publicados, en cultivos como la fresa, el melón y la cebolla (Herrera, 1995).

## **Sensibilidad de los patógenos a la solarización.**

La sensibilidad de los patógenos esta directamente relacionada con el límite superior de fluidez de las membranas celulares, la cuales pierden su capacidad para funcionar a altas temperaturas. Otros métodos de inactivación afectados por la solarización incluyen una sostenida interferencia con los sistemas enzimáticos, especialmente los procesos respiratorios (DeVay et al., 1990)

Auque la mayoría de los microorganismos del suelo se mueren a temperaturas arriba de los 30 – 33 °C, malezas y otros organismos del suelo difieren en sensibilidad al calor. Algunos microorganismos son difíciles de controlar con fumigantes del suelo pero resultan ser fácilmente controladas por solarización (ver cuadro 2.1) y otros microorganismos también son afectadas pero no completamente controlados por solarización (ver cuadro 2.2), estas pueden necesitar medidas adicionales de control (Elmore. Et al, 1997).

La eficiencia de la solarización para controlar las plagas del suelo está en función de las relaciones entre el tiempo y la temperatura y se basa en el hecho de que muchos patógenos de las plantas, malezas y otras plagas son sensibles a altas temperaturas, teniendo un umbral crítico de 37 °C y la acumulación de los efectos del calor a esta o a temperaturas mas altas durante un tiempo resulta letal (DeVay, et al., 1990).

El calor almacenado durante los tiempos de solarización mata la mayoría de las malezas, nematodos y semillas. El calor también debilita a muchos microorganismos resistentes a la solarización como son algunos hongos y bacterias que actúan como enemigos naturales. Los cambios en la química del suelo durante la solarización también pueden matar o debilitar algunos organismos del suelo.

La solarización es más efectiva en relación con la biota termotolerante y sus efectos letales son más acentuados en los microorganismos que no son

buenos competidores del suelo, siendo muchos patógenos los que están incluidos en este grupo ya que tienen requerimientos fisiológicos especiales tales como una mayor adaptación a la coexistencia con las plantas hospedantes, lo que da lugar a cambios en la población (Katan, 1981; Stapleton, 1981; Stapleton y DeVay, 1986; Gamliel et al., 1989).

**Cuadro 2.1 patógenos y plagas controladas por la solarización del suelo.**

Nombre científico	Enfermedad causada (cultivo)
<b>Hongos</b>	
<i>Didymella lycopersici</i>	Pudrición de tallo por <i>Didymella</i> (tomate)
<i>Fusarium oxysporum f. sp. conglutinans</i>	Marchitez por <i>fusarium</i> (pepino)
<i>Fusarium oxysporum f. sp. fragariae</i>	Marchitez por <i>fusarium</i> (fresa)
<i>Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici</i>	Marchitez por <i>fusarium</i> (tomate)
<i>Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum</i>	Marchitez por <i>fusarium</i> (algodon)
<i>Plasmodiophoro brassicae</i>	Enduracimientto de la raíz (crucíferas)
<i>Phoma terrestris</i>	Raíz rosada (cebolla)
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Marchitamiento de raíz (muchos cultivos)
<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	Raíz corchosa (tomate)
<i>Pythium ultimum, pythium spp.</i>	Marchitez de plántulas (muchos cultivos)
<i>Pythium myrothecium</i>	Marchitamiento de vaina (cacahuete)
<i>Rhizoctonia solani</i>	Marchitez de plántulas (muchos cultivos)
<i>Sclerotinia minor</i>	Gota (lechuga)
<i>Sclerotium cepivorum</i>	Pudrición blanca (ajos y cebolla)
<i>Sclerotium rolfsii</i>	Quemadura (muchos cultivos)
<i>Thielaviopsis basicola</i>	Pudrición negra de raíz (muchos cultivos)
<i>Verticillium dahliae</i>	Marchitez por <i>Verticillium</i> (muchos cultivos)
<b>Bacterias</b>	
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Agalla de la corona (muchos cultivos)
<i>Clavibacter michiganensis</i>	Cáncer (tomate)
<i>Streptomyces scabies</i>	Costra (papa)
<b>Nemátodos</b>	
<i>Cricone-malla xenoplax</i>	Nemátodo de anillo
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	Nemátodo del bulbo y del tallo
<i>Glodoberarostochiensis</i>	Quiste de la papa
<i>Helicotylenchus digonicus</i>	Nemátodo espiral
<i>Heterodera schachtii</i>	Quiste de la remolacha
<i>Melioidogyne hapla</i>	Nemátodo nodular de la raíz

<i>Meliodogyne javanica</i>	Nemátodo nodular de la raíz Javenese
<i>Pratylenchus hamatus</i>	Nemátodo alfiler
<i>Pratylenchus penetrans</i>	Nemátodo de lesión
<i>Pratylenchus thornei</i>	Nemátodo de lesión
<i>Pratylenchus vulnus</i>	Nemátodo de lesión
<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Nemátodo de los cítricos
<i>Xiphinema spp</i>	Nemátodo daga
<b>Malezas</b>	
<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
<i>Abutilon theophrasti</i>	Hola de elefante
<i>Amaranthus albus</i>	Bledo blanco
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Quelite de agua
<i>Amsinckia douglasiana</i>	Borraja
<i>Avena fatua</i>	Avena silvestre
<i>Brassica nigra</i>	Mostaza negra
<i>Capsella bursa-pastoria</i>	Bolsa de pastor
<i>Chenopodium album</i>	Cenizo
<i>Claytonia perfoliata</i>	Lechuga del minero
<i>Convolvulus arvensis (semilla)</i>	Correhuela
<i>Conyza canadensis</i>	Hierba del caballo
<i>Cynodon dactylon (semilla)</i>	Zacate bermuda
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Garranchuela
<i>Echinochloa cruz-galli</i>	Cola de caballo
<i>Eleusine indica</i>	Pata de gallo
<i>Laminum amplexicaule</i>	Vinagrillo
<i>Malva parviflora</i>	Quesitos
<i>Orobanchew ramosa</i>	Orobanque
<i>Oxalis pes-caprae</i>	Acedera
<i>Poo annua</i>	Zacate azul
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga
<i>Senicio vulgaris</i>	Hierba cana
<i>Sida spinosa</i>	Malva de caballo
<i>Solarium nigrus</i>	Belladona
<i>Solarium sarrochoides</i>	Belladona peluda
<i>Sonchus oleraceus</i>	Achicoria
<i>Sorghum halepenses (semilla)</i>	Zacate johnson
<i>Stelloria media</i>	Hierba del pollo
<i>Trianthema protulacastrum</i>	Verdolagon
<i>Xanthium strumarium</i>	Cadillo

**Cuadro 2.2: Patógenos y malezas controlados por solarización.**

Nombre científico	Enfermedad causada
<b>Hongos</b>	
<i>Fusarium oxysporum f. sp. Pini</i>	Marchitez por fusarium (pinos)
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Pudrición negra
<b>Bacterias</b>	
<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Marchitez bacterial (algunos cultivos)
<b>Nemátodos</b>	
<i>Meliodogyneincognito</i>	Nemátodo nodular d la raíz
<b>Malezas</b>	
Nombre científico	Nombre común
<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela
<i>Cynodon dactylon</i>	Zacate bermuda
<i>Cyperus esculentum</i>	Cebollón amarillo
<i>Eragrostis sp</i>	Zacate llanero
<i>Malva niceansis</i>	Malva del toro
<i>Melilotus alba</i>	Zacate de amor
<i>Sorghum halepenses (semilla)</i>	Zacate Johnson

### **Hongos y bacterias controladas por solarización.**

La solarización controla poblaciones de bacterias, hongos y patógenos del suelo que afectan a las plantas incluyendo *Verticillium dahliae* causante de la marchitez en muchos cultivos, ciertas especies de *Fusarium* que causan marchitamiento en algunos cultivos, *Phytophthora cinnamomi* que provoca pudrición de la raíz, *Agrobacterium tumefaciens* causante de tumores bacterianos, *Clavibacter michiganensis* que provoca el cáncer del tomate y *Streptomyces scabies* que causa el cáncer o sarna negra de la papa. Otros hongos y bacterias son más difíciles para controlar con solarización tal como ciertos hongos resistentes a altas temperaturas del género *Macrophomina*, *Fusarium*, *Pythium* y bacterias del suelo como las *Pseudomonas solanacearum*.

La solarización del suelo posterior a la plantación controló la marchitez del pistacho causada por *Verticillium* sp. (Ashwoth y Gaona, 1982).

Se desarrolló un trabajo con la combinación de la solarización y la incorporación de afrecho inoculado con *Trichoderma harzianum* en coliflor para el control de *Rhizoctonia solani*. La solarización garantizó una reducción de la población del nemátodo *Helicotylenchus* spp, pero no redujo la infestación de malezas gramíneas. La interacción de ambas formas de combate no resultó significativa para controlar la enfermedad. En otros estudios se evaluó el efecto combinado de la solarización por hasta 28 días, siempre utilizando una película plástica transparente, con el antagonista *Trichoderma harzianum* en el control de *Fusarium* y *Rhizoctonia* en semilleros de café. Se obtuvo un efecto moderado sobre *Fusarium* spp y un efecto similar sobre el ataque de *R. solani* cuando se solarizó por pocos días. En conclusión fue necesario dejar la cobertura de plástico por 28 días para obtener la totalidad de las plantas libres de la enfermedad. Cabe observar que la aparición de *R. solani* fue tardía e irregular. El tratamiento con el antagonista *T. Harzianum* no resultó eficaz en la reducción de la incidencia de los patógenos, pero sí provocó un aumento en la emergencia de las plántulas. Estudios posteriores han demostrado que el hongo *R. solani* es bien controlado con el método de solarización del suelo de darse el período de solarización mínimo requerido (Herrera, 1995).

### **Efecto de la solarización sobre las malezas.**

Las malezas aun representan una importante limitación a la producción agrícola a nivel mundial, por lo que la agricultura ha promovido nuevos métodos que también directa o indirectamente afectan el control de las malezas y que requieren de un nuevo enfoque para su control, así por ejemplo, la agricultura orgánica no permite el uso de herbicidas químicos por lo que solamente es posible aplicar controles biológicos y culturales como único medio posible para enfrentar las malezas (Labrada, 2004).

La solarización controla muchas malezas anuales y perennes, mientras que algunas especies son muy sensibles a la solarización otras son moderadamente resistentes y requieren de óptimas condiciones (buena humedad del suelo, firmeza del plástico y alta radiación) para su control (Elmore et al., 1997. Tabla 2.2)

Las malezas de invierno parecen ser especialmente sensibles a la solarización y su control es frecuentemente evidente a más de un año del tratamiento. La solarización es especialmente efectiva en el control de malezas en cultivos como cebollas, ajos, zanahorias, brócoli y le chuga. El trébol blanco (*Melilotus alba*) es una de las pocas malezas anuales que es difícil de controlar.

Aunque algunas malezas anuales de verano son menos sensibles a la temperatura que las de invierno, las primeras son relativamente fáciles de controlar con la solarización. El control de verdolaga (*Portulaca oleracea*) y el pasto de cuaresma (*Digitaria sanguinalis*) puede ser más difícil de lograr (Elmore, et al., 1997). La solarización durante 2 a 4 semanas previno casi completamente la emergencia de muchas malezas anuales como *Malva sp.*, *Echinochloa sp.*, *Chenopodium sp.*, *Amaranthus retroflexus* y *Solanum nigrum* hasta 4 cm de profundidad (Elmore, 1983). La germinación de las semillas de malezas después de la solarización disminuyó en la capa superior del suelo y se incrementó con la profundidad del muestreo (Horowitz et al., 1983).

La solarización generalmente no controla tan bien las malezas perennes como las anuales porque las perennes frecuentemente tienen enterradas muy profundas estructuras vegetativas como raíces y rizomas que pueden rebrotar (Elmore et al., 1997). Las semillas de zacates bermuda, johnson y la enredadera del campo se controlan con solarización y los rizomas de los zacates si no están enterrados muy profundos también pueden controlarse pero no así los rizomas de la enredadera, el cebollín es parcialmente controlado y el coquillo no se controla. En el control de malezas se ha visto que la gramínea perenne *Sorghum halepense* proveniente de rizomas es

controlada por medio de la solarización, (Daelemans 1989) ha comunicado que con la solarización se logra un buen efecto de control sobre la gramínea perenne *Imperata cylindrica*.

Abu-Irmaileh (1991), menciona que la solarización con PE negro se recomienda para un control completo de las malezas en el resto de la estación ya que el plástico no se remueve sino que se perfora a la distancia necesaria para la plantación o siembra. Sin embargo la correhuela *Convolvulus arvensis* volvió a emerger en parcelas solarizadas y se tienen evidencias de que el *Cyperus rotundus* L. sobrevivió a 80°C por 30 minutos, mientras que los rizomas de *Cynodon dactylon* Pers y de *Sorghum halepense* fueron más sensibles (Rubín y Benjamín, 1984). También se encontró que esta técnica redujo la germinación de semillas de *Cuscuta* sp., que estaban en la superficie del suelo. Este efecto podría deberse a muerte directa de las semillas por calor, muerte indirecta al ser debilitadas por agentes microbianos y calor subletal, muerte de las semillas estimuladas para germinar en el suelo humedecido y con cobertura o por muerte de las semillas en germinación y cuya latencia se había roto (Haidar e Iskandarani, 1977)

En el trabajo realizado por Stapleton et al. (2005) estudiaron en laboratorio el efecto de diferentes tratamientos térmicos (39, 42, 46, 50, 60 y 70 °C) sobre semillas de las 6 especies más importantes de maleza (*Echinochloa crus-galli*, *Syntherisma irio*, *Portulaca oleracea*, *Solanum nigrum*, *Sonchus oleraceus* y *Amaranthus albus*). En dicho estudio se encontró que a 70 °C todas las semillas de las diferentes especies mueren en 20 minutos. En este mismo estudio se realizaron diferentes pruebas en campo donde se utilizaron 3 diferentes formulaciones de plástico, 1) Cama simple, 2) Cama múltiple en campo plano y 3) superficie contra subsuelo. Los resultados mostraron que todos los tratamientos presentaron la misma efectividad en cuanto al control de maleza reduciendo su aparición desde un 84 hasta un 94 % y la reducción de biomasa entre el 94 y 99 % lo anterior comparado con experimento control sin tratamiento de solarización.

En una serie de experimentos se pusieron semillas de 6 especies de malezas importantes (*Echinochloa crus-galli*, *Sisymbrium irio*, *Portulaca oleracea*, *Solanum nigrum*, *Sonchus oleraceus* y *Amaranthus albus*) a diferentes temperaturas (39, 42, 46, 50, 60 y 70 °C). Las especies se seleccionaron para representar un rango de sensibilidad térmica y hábitos de crecimiento de verano contra los de invierno. Los porcentajes de viabilidad se determinaron 14 días después de remover las semillas del tratamiento de calor. A 70 °C durante 20 minutos murieron todas las especies de semillas, mientras que a 60 °C se necesitaron 3 horas para que murieran, a 50 °C durante 4 horas ocurrió la destrucción completa de la semilla *Sonchus oleraceus* y 4.7 días para *Amaranthus albus*. La muerte térmica ocurrió a los 46 °C en un rango de 15 horas a 13 días para la misma especie, mientras que a 42°C *Echinochloa crus-galli*, *Amaranthus albus* y *Portulaca oleracea* germinaron dentro de los frascos durante el tratamiento de calor, por lo que no se estudiaron a menor temperatura ya que no hubo efecto en su viabilidad (Stapleton et al., 2002).

### **Estímulo de los organismos benéficos del suelo.**

Afortunadamente aunque muchas plagas del suelo se mueren con la solarización, muchos organismos benéficos del suelo son capaces de sobrevivir o recolonizar el suelo muy rápidamente después de la solarización. Entre ellos están los hongos micorrizos, hongos y bacterias que parasitan las plantas y ayudan al crecimiento de las plantas. Esto puede hacer a los suelos solarizados más resistentes a los patógenos que los no solarizados o fumigados (Elmore et al., 1997). La solarización también puede resultar en un incremento en la respuesta de crecimiento (evidenciada por el incremento de diámetros de tronco) y rendimiento de árboles frutales debido al incremento en la disponibilidad de nutrientes de las plantas y la población relativa de organismos benéficos, por ejemplo bacterias rizófitas como *Bacillus* spp y *Pseudomonas* spp., *Trichoderma* spp, Actinomicetes y hongos micorrizos (Stapleton, 1996; Katan y DeVay, 1991; Stapleton et al, 1989. Stapleton y Garza-López, 1988 y Pullman et al., 1984).

**Lombriz de tierra.** El efecto de la solarización en las lombrices no ha tenido mucha atención, pero se piensa que se retiran a más profundidad y escapan de los efectos del calor del suelo.

**Hongos.** Los hongos benéficos, especialmente *Trichoderma*, *Talaromyces* y *Aspergillus* sobreviven e incluso aumentan en suelo solarizado. Los hongos micorrizos son más resistentes al calor que la mayoría de los hongos patógenos de las plantas. Estas poblaciones pueden disminuir en las partes más superficiales del suelo, pero estudios han mostrado que esto no es suficiente para reducir su colonización de raíces hospedadoras en suelos solarizados.

**Bacterias.** Las poblaciones de bacterias benéficas *Bacillus* y *Pseudomonas* son reducidas durante la solarización pero después recolonizan el suelo rápidamente. Las poblaciones de *Rhizobium* spp., las cuales fijan el nitrógeno en los nódulos de las raíces de las leguminosas pueden reducirse grandemente por solarización y deben ser reintroducidas por inoculación de semillas de leguminosas, también se reducen las poblaciones de otras bacterias nitrificantes, sin embargo los niveles de población de los Actinomicetes no se ven muy afectados.

### **Bromuro de metilo**

El Bromuro de Metilo (BM) es un gas, que se utiliza como pesticida para controlar un gran número de plagas y enfermedades tanto en el campo como en la ciudad. En el campo generalmente se usa el producto para esterilizar el suelo controlando nemátodos, hongos, malezas e insectos. Se aplica inyectándolo al suelo o a los semilleros y substratos, cubriéndolo con plástico para que retenga el gas. Se emplea principalmente en cultivos de “gran valor” como tomates, melones, uvas, fresas, tabaco y flores, destinadas a la exportación a los mercados de América del Norte y Europa. El bromuro de metilo se utiliza también para proteger granos almacenados contra varios insectos.

## **Principales problemas en productores y consumidores de productos agrícolas.**

El BM es extremadamente tóxico, clasificado por la Organización Mundial de la Salud en la categoría 1. Penetra especialmente por los pulmones causando serios problemas, incluso la muerte. Puede atacar el sistema nervioso, provocando mareos, dolor de cabeza, náusea, vómitos, sueño, debilidad, visión borrosa, y en dosis y tiempos prolongados puede provocar convulsiones y desmayos. Por lo general después de un contacto excesivo al bromuro de metilo se presentan daños crónicos irreversibles en el hígado, riñones y pulmones. Según investigaciones también existe la posibilidad de causar cáncer y defectos de nacimiento. (Dra. Andrea Brechelt)

## **Problemas en el medio ambiente.**

El Bromuro de Metilo al elevarse a las capas superiores de la atmósfera destruye la capa de ozono, que protege a la vida en la tierra de la radiación ultravioleta de la luz solar.

El ozono es una molécula con tres átomos de oxígeno, que se forma naturalmente en las capas superiores de la atmósfera por la energía del sol. La concentración del ozono se encuentra en la llamada estratosfera, franja situada entre los 15 y los 55 Km arriba de la superficie de la tierra. El ozono es una molécula muy inestable, la radiación solar lo vuelve a descomponer, creando nuevamente oxígeno molecular y átomos de oxígeno libres, repitiéndose el ciclo de formación del ozono. La concentración de ozono en la atmósfera depende de un equilibrio dinámico entre la velocidad con la que se forma y la velocidad a la que se destruye. La capa de ozono absorbe las radiaciones ultravioletas (UV) del sol y así impide que la mayor parte llegue a la superficie terrestre. Es el filtro solar de la tierra.

La destrucción de la capa de ozono ocurre tanto en el hemisferio norte como en el sur, sin embargo es en la Antártida donde se ha encontrado un mayor daño, formando el “agujero en la capa de ozono”. Este “agujero” alcanzó los

25 millones de km<sup>2</sup> a fines de 1998, una superficie equivalente a la que existe entre Canadá, Estados Unidos, México y Centroamérica.

Sin la protección de la capa de ozono se aumenta la radiación ultravioleta en la tierra y puede provocar:

- ✚ Cáncer en la piel.
- ✚ Daños irreversibles en los ojos.
- ✚ Afecta el sistema inmunológico, reduciendo la resistencia a ciertas alergias y enfermedades infecciosas.
- ✚ Muchas especies de plantas son sensibles a un aumento de radiación ultravioleta y desaparecerán.
- ✚ Afecta el fitoplancton en el mar y por lo tanto un gran número de peces.
- ✚ Cambios climáticos.

Cuando el Bromuro de Metilo alcanza la capa de ozono es descompuesto por la radiación solar y libera un radical de bromo. Este radical atrae un átomo de oxígeno y rompe de esta manera el ozono (O<sub>3</sub>). Después de una serie de reacciones el bromo sale nuevamente como radical y sigue destruyendo el ozono a una gran velocidad. Debido a esta reacción de cadena el Bromuro de Metilo es unas 50 veces más destructor del ozono que los átomos de cloro de los clorofluorocarbonos (CFC), aunque tienen una vida más corta. Entre el 50 al 95% del Bromuro del Metilo inyectado al suelo pasa a la atmósfera.

### **Posibles soluciones sobre el uso y aplicación de bromuro de metilo.**

El Bromuro de Metilo por ser destructor de la capa de ozono ha sido seleccionado por las Naciones Unidas para que su uso sea eliminado en todo el mundo. Unos 163 países han firmado el convenio internacional llamado "El Protocolo de Montreal sobre las Substancias que agotan la Capa de Ozono", donde se han comprometido a reducir paulatinamente hasta eliminar las sustancias químicas destructoras de la capa de ozono, salvo las excepciones acordadas internacionalmente.

Diversos países han prohibido ya el uso agrícola del Bromuro de Metilo, incluyendo Colombia, segundo productor mundial de flores. La Unión Europea consideró prohibirlo en el año 2001 y los Estados Unidos contempló eliminarlo para el 2005.

### **Eliminación progresiva del bromuro de metilo según los acuerdos del protocolo de Montreal, 1997**

En países desarrollados.

- 25 % de reducción para el 1999.
- 50 % de reducción para el 2001.
- 70 % de reducción para el 2003.
- Eliminación para 2005 excepto para usos críticos.

Países en desarrollo

- Congelación en el 2002 según el promedio de uso 1995 a 1998.
- Revisión del nivel de reducción en el 2003.
- 20 % de reducción para el 2005.
- Eliminación al 2015 excepto para usos críticos.

El plazo de 10 años de diferencia entre las fechas de eliminación para los países desarrollados y los países en desarrollo puede ser aprovechado por las empresas transnacionales productoras del Bromuro de Metilo para inundar a los países en desarrollo y seguir expandiendo su mercado.

La esperanza es, que cualquier productor o usuario actual de Bromuro de Metilo tenga rápidamente una fuente de información sobre los problemas del producto y sus alternativas en sus diferentes aplicaciones

La combinación de la solarización con fumigantes químicos puede reducir la duración del tratamiento (Malathrakis, 1987; Ben -Yephet et al 1989; Cebolla et al 1989,1990).

## Principales enfermedades del melón.

El melón es sensible a muchos insectos, ácaros y enfermedades, igual que otros cultivos protegidos. No obstante hay dos muy específicas que merecen un cuidado preferente:

**Fusarium:** es la enfermedad más importante y está provocada por **Fusarium oxysporum var. melonis**. Este hongo vascular vive en el suelo y penetra en la planta a través del sistema radicular. Hasta el momento se tienen clasificados cinco tipos o razas fisiológicas. Los síntomas dependen de la raza, pero normalmente las plantas presentan gomosis o amarilleamiento y mueren con rapidez, de tal forma que puede perderse la cosecha en su totalidad. Las esporas del hongo son muy resistentes a las fumigaciones y a la esterilización mediante vapor, lo que hace muy difícil desinfectar el suelo por completo. El método de lucha más eficaz es la plantación de variedades resistentes. Recientemente se ha realizado ensayos de "solarización" del suelo que han dado buenos resultados en algunas zonas concretas.

El oidio, **Erisiphe spp.**, se presenta muy a menudo en este cultivo. Hay cuatro especies que atacan al melón y se desarrollan muy rápido en las condiciones de invernadero. Las hojas se cubren de un micelio semejante a un polvillo blanco. Aunque existen cultivares resistentes a este hongo, también hay en el mercado buenos fungicidas sistémicos que lo combaten con toda eficacia. Otras enfermedades frecuentes son **Verticillium** en el suelo, **Ascochyta** en el tallo y las hojas, **Anthracnosis** en los frutos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización.**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo a partir del tres de junio, en el Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de Saltillo, Coahuila, en las coordenadas geográficas de 25° 27' de Latitud Norte y 101°02' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 1,619 msnm.

### **Clima.**

El clima de Saltillo se clasifica como: BsoK(X')(e), que se define como seco estepario. La temperatura y precipitación pluvial media anual es de 18°C y 368 mm, respectivamente; los meses más lluviosos son de julio a septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de julio. La evaporación promedio mensual es de 179 mm, registrándose la más alta en los meses de mayo y julio con 236 y 234 mm, respectivamente (García, 1987).

### **Suelo.**

El suelo del campo experimental del CIQA es de origen aluvial, textura arcillo-limosa en el estrato 0-30 cm y arcilloso en la capa 30-60 cm de perfil. Gómez (1994), reporta que el pH del suelo es de 8.1, clasificándose como un suelo medianamente alcalino, con un contenido porcentual de materia orgánica de 2.38, lo que lo hace medianamente rico. Presenta una conductividad eléctrica de 3.7 milimhos por cm, significando esto que el suelo es ligeramente salino.

Aviña (1995), reporta que la capacidad de campo para los estratos de 0 -20 cm y de 20-40 cm es de 28%, el punto de marchitez permanente para ambos estratos es de 15.22%, mientras que la densidad aparente para ambos estratos es de 1.26 g/cm<sup>3</sup>.

### **Agua.**

El agua para riego es de clase C<sub>3</sub> S<sub>1</sub>, de calidad media, apta para riego en suelos bien drenados seleccionando cultivos tolerantes a sales (Narro, 1985).

### **Materiales utilizados.**

- |                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| ⇒ Azadón.                       | ⇒ Tijeras.                 |
| ⇒ Polietileno.                  | ⇒ Charolas de germinación. |
| ⇒ Tanque con bromuro de metilo. | ⇒ Termopar                 |
| ⇒ Cintilla.                     | ⇒ Podadora.                |
| ⇒ Boyler.                       | ⇒ Sensores de humedad.     |
| ⇒ Estacas.                      | ⇒ Tractor.                 |
| ⇒ Rafia.                        | ⇒ Estufa.                  |
| ⇒ Bolsas sella fácil.           | ⇒ 32 Termistor 1000-15     |
| ⇒ Barrena.                      | ⇒ 9 Quantum (PAR)          |
|                                 | ⇒ Data Logger Li-1000      |

### **Características del experimento.**

El trabajo de investigación consiste en la evaluación del efecto de solarización y la aplicación de bromuro de metilo provocado un efecto de biofumigación en las poblaciones de nemátodos, hongos y malezas.

Se estableció una parcela experimental de 5000m<sup>2</sup> arregladas en dos bloques un bloque con el tratamiento de solarización (Tratamiento A), y el otro bloque con el tratamiento de Bromuro de metilo (Tratamiento B), en

cada bloque se distribuyeron al azar las películas de polietileno con sus cuatro repeticiones y como testigo suelo descubierto (SUE). Cada unidad experimental contó con 3 camas de 7 m de largo y 1.8 m de distancia entre camas.

Se midió las variaciones de la temperatura y la humedad del suelo al centro de las camas. Las claves de las cubiertas plásticas utilizadas fueron:

Solarización (Tratamiento A).

- ⇒ (NC 1)
- ⇒ (NC 2)
- ⇒ (MHU)
- ⇒ (MHV)

Bromuro de metilo. (Tratamiento B)

- ⇒ (UAV),
- ⇒ (UAC)
- ⇒ (UAB).

### **Diseño Experimental.**

Se empleó un diseño en bloques al azar en el Tratamiento B, con 75 Kg/ha de bromuro de metilo con cuatro repeticiones, tres cubiertas diferentes y suelo descubierto como testigo (SUE, UAV, UAC, UAB), mientras que el Tratamiento A (solarización), se establece un diseño en parcelas divididas con 4 cubiertas plásticas, con cuatro repeticiones y suelo descubierto como testigo (SUE, NC 1, NC 2, MHU, MHV). Para disminuir el coeficiente de variación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\sqrt{\times}$$

### **Modelo estadístico.**

El modelo en bloques al azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = V + T_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación del i-esimo tratamiento.

$V$  = Efecto de la media general.

$\beta_j$  = Factor B

$T_i$  = Efecto verdadero de la j-esima repetición.

$\xi_{ij}$  = Efecto verdadero del error experimental.

El modelo estadístico en parcelas divididas es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + T_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$Y$  = Variable.

$i$  = Niveles de factor A.

$j$  = Niveles d factor B.

$K$  = Repeticiones.

$\mu$  = Media de niveles.

$\alpha_i$  = factor A

$T_{ik}$  = Error del factor A

$\beta_j$  = factor B.

$\epsilon_{ijk}$  = Error del factor

### **Variables evaluadas.**

Se evaluaron los siguientes parámetros:

- ⇒ Temperatura del suelo.
- ⇒ cuatro tiempos de solarización a los 7, 10, 14 y 45 días.
- ⇒ peso seco y número de frutos de melón

## **Preparación del terreno**

Se realizaron diversas labores culturales, una de las más importantes fue remover el suelo mediante el paso de arado y posteriormente se realizaron dos pasadas de rastra en forma perpendicular para dejar el suelo bien mullido y permitir una mayor retención de agua. Posteriormente se formaron las camas de forma manual, con ayuda de azadón, la separación entre camas fue de 180 cm de centro a centro de las camas con 7 m de largo cada una.

## **Instalación del sistema de riego y colocación de las cubiertas plásticas.**

Se utilizó un sistema de riego por goteo, consistiendo en cintilla Str eamline al centro de cada cama con goteros a cada 30 cm. Posteriormente se colocó el plástico de forma manual sin descuidar su tensado y un buen cierre de los bordes enterrados, para evitar renovaciones de aire caliente por aire frío que reduzcan la eficacia por la evaporación, las pérdidas térmicas y cambios en la composición atmosférica del suelo. Se perforó el plástico con un tubo caliente de 2 pulgadas de diámetro cada 60 cm permitiendo el espacio donde se colocarían las plantas, posteriormente se dio un riego pesado para llevar al suelo a capacidad de campo.

## **Aplicación del bromuro de metilo.**

Para aplicar el bromuro de metilo, se instalaron dos líneas de cintilla bajo el acolchado plástico ubicadas a 20 cm del centro de la cama para distribuir uniformemente el fumigante. Para la fumigación se utilizó Bromuro de metilo que posee un 98% de  $\text{CH}_3\text{Br}$  y 2% de cloropicrina, en dosis de 75 Kg/ha. Para evitar que el gas se perdiera, se eliminaron los terrones para no dañar el polietileno y favorecer el contacto del acolchado plástico con el suelo sin descuidar su tensado y un buen cierre de los bordes enterrados. El tanque se colocó sobre una báscula para así aplicar la dosis requerida tomando la lectura del peso inicial del tanque hasta lograr la lectura calculada, el bromuro se hizo pasar por una manguera que se introdujo al boiler que

contenía agua a una temperatura superior a los 85 °C para cambiar de estado líquido a vapor y así poder distribuir el gas a toda el área cubierta con polietileno. (Ver Figura 3.1)

Figura 3.1: Aplicación de bromuro de metilo a una dosis de 75 kg/Ha.



### **Monitoreo de la temperatura del Suelo**

Los termopares modelo 1000-15 de la compañía LI-COR se ubicaron una al centro de cada tratamiento, al interior de las cubiertas plásticas correspondientes a los dos factores (bromuro de metilo y solarización) ubicados a 10, 20, 30 y 40 cm de profundidad colocando cuatro en cada tratamiento incluyendo al tratamiento testigo, teniendo un total de 32 Termistores, (ver fotografía 3.3). Las lecturas registradas por el Data Logger modelo LI-1000 de la compañía LI-COR fueron tomadas a cada minuto, de

los cuales se obtuvo la media de sesenta lecturas para obtener la lectura que corresponde a cada hora.

Figura 3.2: Termopares colocados a 10, 20, 30 y 40 cm., de profundidad antes de colocar las cubiertas plásticas.



### **Muestreos de suelo para cuantificación de nemátodos.**

Para ver la efectividad con respecto a la mortalidad de los microorganismos en los diferentes periodos de solarización, se realizaron 5 muestreos con una barrena metálica en cada uno de los lotes experimentales (cuadro 3.1), tomando la muestra en el centro de las camas, en un perfil de suelo de 10, 20, 30 y 40 cm, procurando que estas fueran representativas de toda la parcela experimental. Cada muestra fue colocada en bolsas de plástico y conservada en un lugar fresco, bien tapado y debidamente identificado para ambos tratamientos (A y B).

Cuadro 3.1 Tiempos de muestreo a partir del tiempo cero que es cuando inicia el ensayo para los dos tratamientos (bromuro de metilo y solarización).

<b>Número de muestreos</b>	<b>Tiempo de muestreos, días después de inicio de solarización</b>
<b>0</b>	<b>0 días (inicio)</b>
<b>1</b>	<b>7 días</b>
<b>2</b>	<b>10 días</b>
<b>3</b>	<b>14 días</b>
<b>4</b>	<b>45 días</b>

#### **Muestreos de maleza.**

Se realizó un muestreo de maleza los días 9 y 10 de agosto para ver la efectividad de los tratamientos con respecto a cada cubierta plástica. Los muestreos se realizaron en el centro de cada tratamiento abarcando un metro de acolchado, las muestras fueron colocadas en bolsas debidamente identificadas y puestas en una estufa de secado a una temperatura de 70 °C durante 72 horas para obtener el peso seco.

#### **Producción de plántulas en invernadero.**

La siembra de melón se hizo en charolas de polietileno de 200 cavidades el día 13 de julio, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 2% y con sustrato peat moss

El material vegetativo utilizado fue semilla de melón (cucumis melo) Cruiser F1, con las siguientes características: 90 días a maduración, con frutos sin saturas y pared uniforme, con un peso promedio entre 1.9 – 2.3 Kgr, color de pulpa naranja y con forma redonda a ligeramente ovalada, como característica principal de este material mencionamos la resistencia a enfermedades (Cenicilla “raza I”)

Una vez germinadas se pasaron a un invernadero de plástico con sistema de microaspersores, con lo cual se mantuvo una humedad constante. Los riegos se aplicaron durante 5 minutos tres veces al día. Durante el desarrollo de las plántulas se hicieron aplicaciones de fungicidas sistémicos rotándolos cada semana, para prevenir el desarrollo de resistencia a las enfermedades.

### **Prácticas agronómicas de manejo del cultivo de melón (*cucumis melo*)**

Un aspecto experimental que es necesario mencionar, es la degradación de la cubierta plástica MHV después de terminado el proceso de solarización, con el fin de salvar esta dificultad se dispuso volver a cubrir las camas con el mismo material antes de establecer las plántulas.

La humedad del suelo fue uniforme en los dos tratamientos ,sin embargo, en el tratamiento de solarización se presentaron algunos problemas ya que en las partes donde la cintilla no quedó enterrada, la condensación del agua y la incidencia solar provoco el efecto “lupa” perforando la cintilla y por consecuencia afectando la uniformidad de riego, ver figura 3.3

Figura 3.3 Vapor de agua sobre la cubierta plástica.



## Trasplante.

El trasplante se realizó el día 14 y 15 de agosto en el Tratamiento con bromuro de metilo, mientras que en el Tratamiento de solarización, el transplante se realizo los días 16 y 17 del mismo mes, a una distancia entre plantas de 60 cm. esto nos permitió tener una densidad de 6,000 plantas/ha, (ver figura 3.4). Se aplicó un riego pesado un día antes del trasplante y otro después para evitar marchites en las plantas y poder fijar el suelo a la zona radicular de cultivo. Es necesario mencionar que en el tratamiento con bromuro de metilo justo una de las repeticiones del tratamiento UAV se tuvo problemas con la apertura de una válvula ocasionando la muerte de muchas plántulas las cuales tuvimos que trasplantar por segunda ocasión.

Figura 3.4: Trasplante de melón.



### **Cuidado y manejo de plantas.**

Se presento un 10 % de perdidas de plántulas debido al contacto directo con las cubiertas plásticas por lo que fue necesario realizar una siembra directa el día 22 de agosto del mismo año. Se realizaron aplicaciones semanales de fungicidas para controlar enfermedades de la hoja tales como cenicienta polvorienta, los productos y dosis utilizadas fueron las siguientes: Aliette 125 gr/mochila, Bionex 50 ml/mochila, Clorotalonil 125 ml/mochila, Ridomil 100ml/mochila, Permatrina 20 ml/mochila, Rally 40 W, cupravit hidro 250 gr/mochila, Captan 375gr/mochila, Mncozeb 375 gr/mochila, entre otros. Consiguiendo resultados poco satisfactorios debido a las condiciones climáticas. Las fertilizaciones se realizaron utilizando como transporte el agua inyectando con ayuda de un equipo de fertirrigación utilizando las siguientes dosis: 200-100-300-100 kg/ha de N-P-K-Ca respectivamente

### **Peso seco.**

Para medir el crecimiento de las plantas, se realizan dos muestreos en diferentes fechas la primera el 05 de octubre y la segunda el 26 del mismo mes, seleccionando una planta en cada tiempo de solarización (7, 10, 14, 45 días) dando un total de 4 plantas por parcela y 16 plantas por repetición, tomando la planta de tamaño medio. Esto se realizó en los dos tratamientos tomando únicamente tres repeticiones. Para el tratamiento con bromuro de metilo solo seleccionamos una planta por parcela por repetición.

### **Cosecha.**

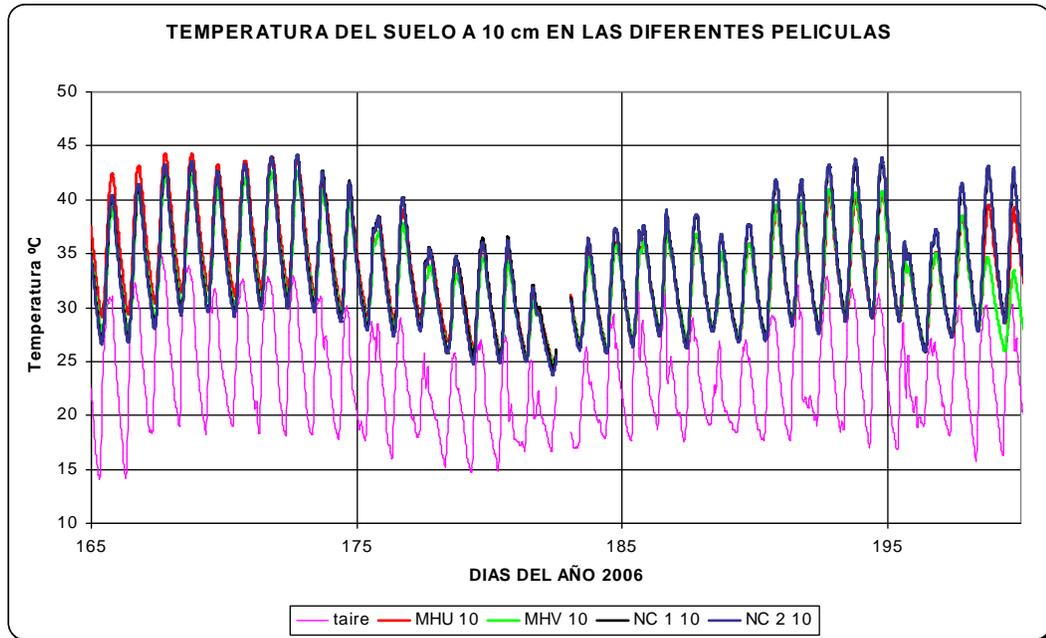
La cosecha se realizó el 01 de noviembre seleccionando una cama en cada tiempo de solarización (7, 10, 14, 45 días) se recolectan la mayor parte de los melones dejando únicamente los de tamaño pequeño (1.5 pulgadas de diámetro) para posteriormente tomar datos de peso total de frutos por cama, numero de frutos por cama y finalmente se toman datos del numero de plantas sobre las cuales se recolectaron los frutos. Esto se realiza en los dos tratamientos. En el Tratamiento B se evalúan dos camas debido a que no se obtiene tiempos de solarización de cada parcela de 14 metros.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES:**

### **Efecto de la solarización en la temperatura del suelo.**

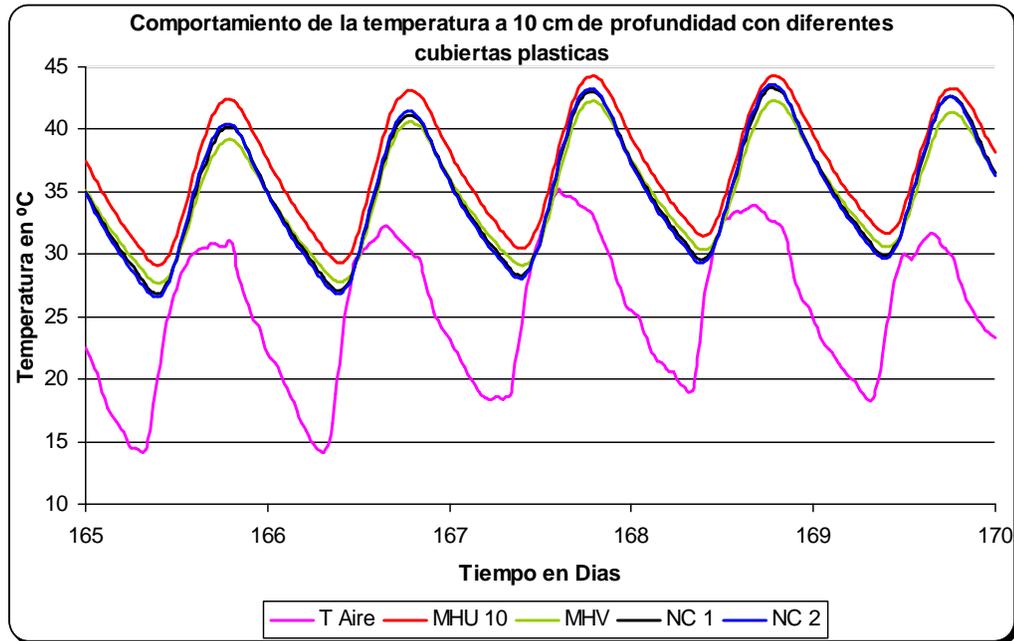
En la Figura 4.1 se puede apreciar el comportamiento de la temperatura a 10 cm de profundidad durante los primeros 35 días de tratamiento, las cuales diferencian muy poco en cada tratamiento con diferentes cubiertas siendo esta la profundidad que presenta mayor temperatura alcanzando temperaturas superiores a los 43 °C en algunos casos mas de 10 °C por arriba de la temperatura del aire, observándose una similitud en el comportamiento de las cubiertas hasta el día 198 (33 días de tratamiento), en la que se observa un decremento en la temperatura de la cubierta MHV debido a la desintegración de la película, permitiendo la liberación de calor y disminuyendo la temperatura del suelo. Podemos ver como la temperatura es mayor de 35 °C siendo esta la temperatura subletal de los microorganismos del suelo, considerando temperaturas letales próximas a 50 °C que es el rango donde diversos patógenos del suelo son controlados. (Katan 1991).

Figura 4.1: Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad bajo cuatro diferentes películas, durante 35 días de tratamiento.



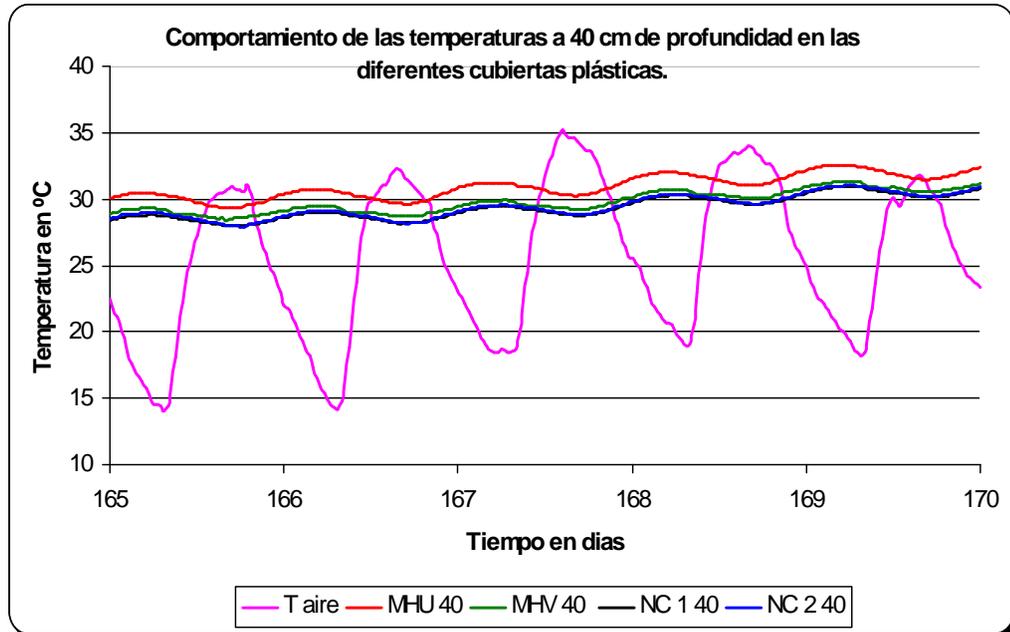
Observando detenidamente lo que pasa en los días 165 al 170 vemos como la cubierta MHU supera por 3 a 4 °C a las cubiertas NC1 y NC 2. Mientras que la cubierta MHV se mantiene de 4 a 5 °C por debajo de la cubierta MHU. Ver figura 4.2 Este comportamiento se presenta en las cuatro profundidades.

Figura 4.2: Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad bajo diferentes películas, durante los primeros 5 días de tratamiento



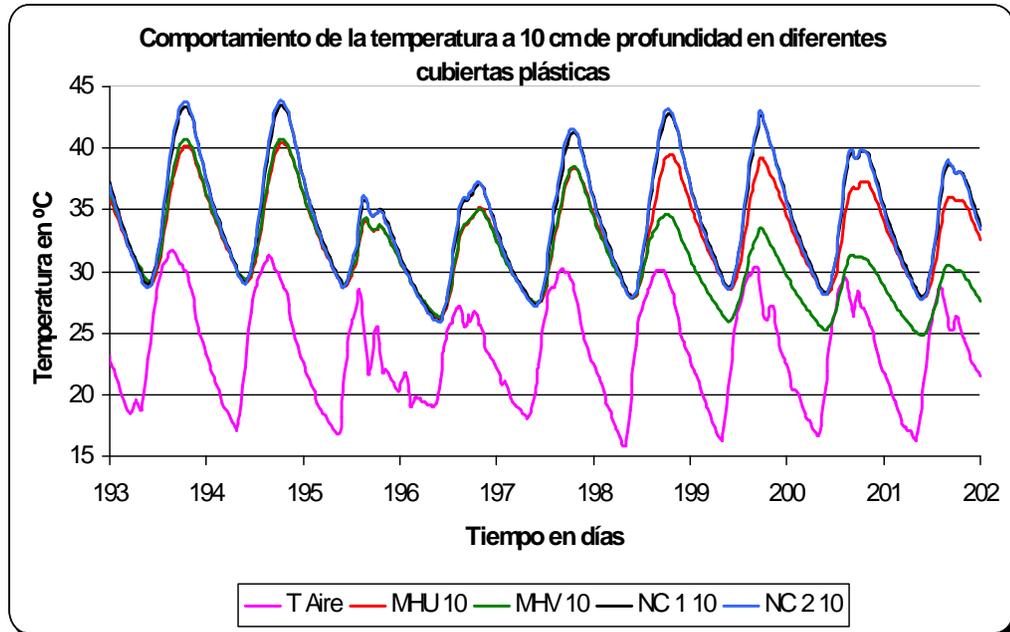
A 40 cm podemos ver como la cubierta MHU sigue permaneciendo por encima 2 o 3 °C de las tres cubiertas plásticas. Para esta profundidad la cubierta MHV se sobrepone a las cubiertas NC 1 y NC 2 por 1 °C. Ver figura 4.3

Figura 4.3: Temperatura del suelo a 40 cm de profundidad bajo diferentes películas, durante los primeros 5 días de tratamiento



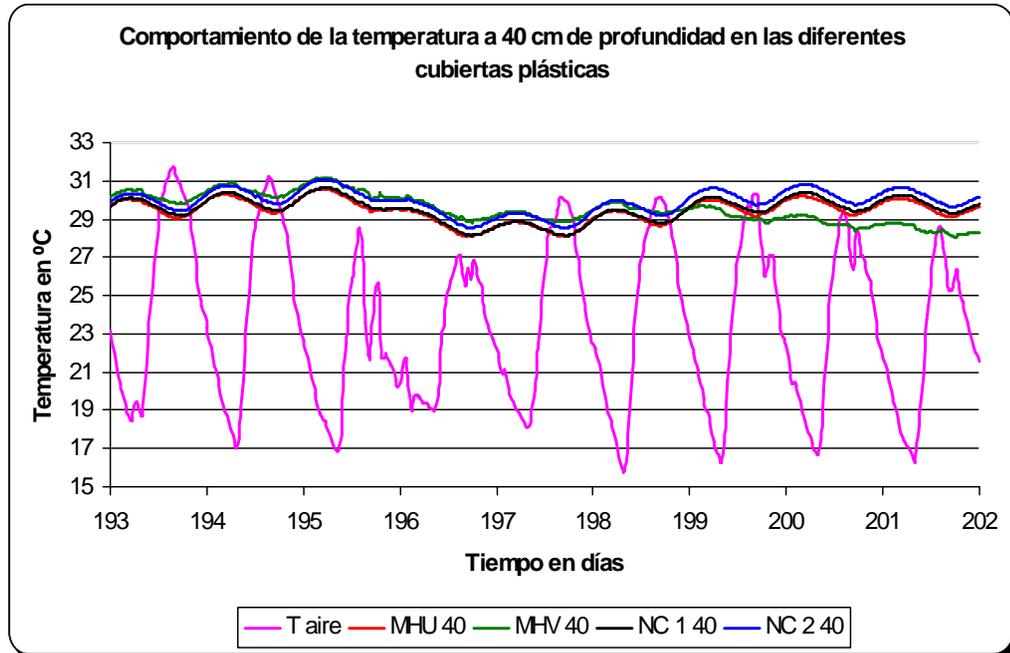
Analizando el comportamiento de las cubiertas a partir del día 193 hasta el día 202 (9 días de tratamiento), a 10 cm de profundidad, vemos como la cubierta MHU que a los primeros 5 días de solarización se mantuvo por encima de las tres cubiertas, a partir del día 193 se mantiene 3 °C por debajo de las cubiertas NC 1 y NC 2. Ver figura 4.4 Mientras que la cubierta MHV se iguala en los rangos de temperatura a la cubierta MHU viéndose claramente la disminución a partir del día 199 que es donde la cubierta es degradada por accione de la incidencia solar.

Figura 4.4: Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad bajo diferentes películas, durante los días 193 hasta 202 días de tratamiento.



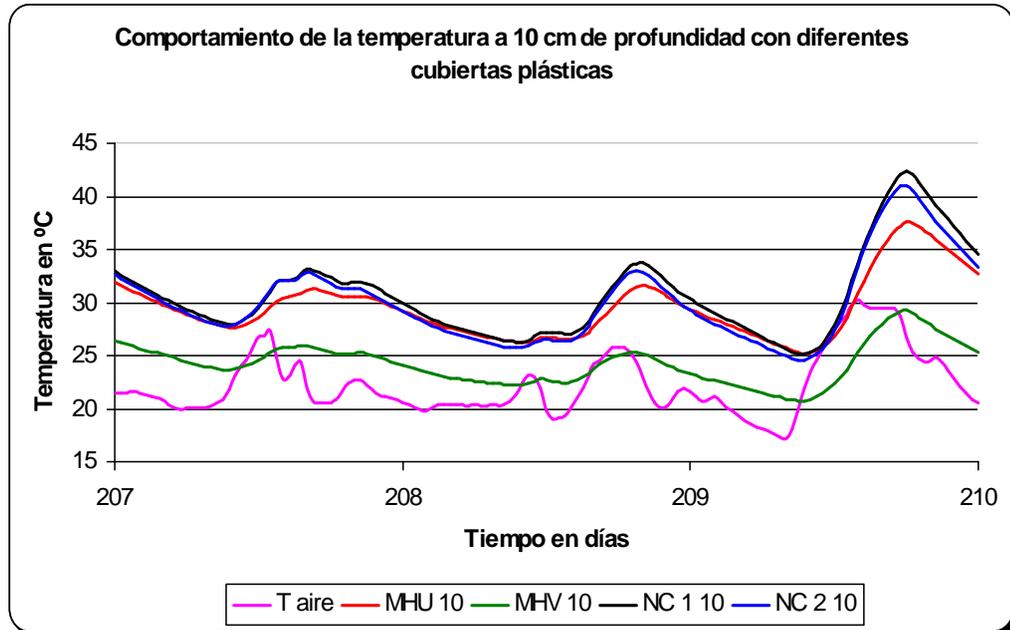
Analizando este comportamiento en las mismas películas y los mismos intervalos en días de solarización pero ahora a 40 cm de profundidad vemos como la cubierta MHV se mantiene por encima de las tres cubiertas plásticas hasta el día 199. La cubierta NC 2 alcanza temperaturas muy similares a la MHV diferenciándose por 0.5 °C. Las cubiertas NC1 y MHU se encuentran oscilando entre 1 y 2 °C por debajo de las cubiertas NC2 y MHV manteniendo y conservando el mismo rango de temperatura. Ver figura 4.5

Figura 4.5: Temperatura del suelo a 40 cm de profundidad bajo diferentes películas, durante los días 193 hasta 202 días de tratamiento.



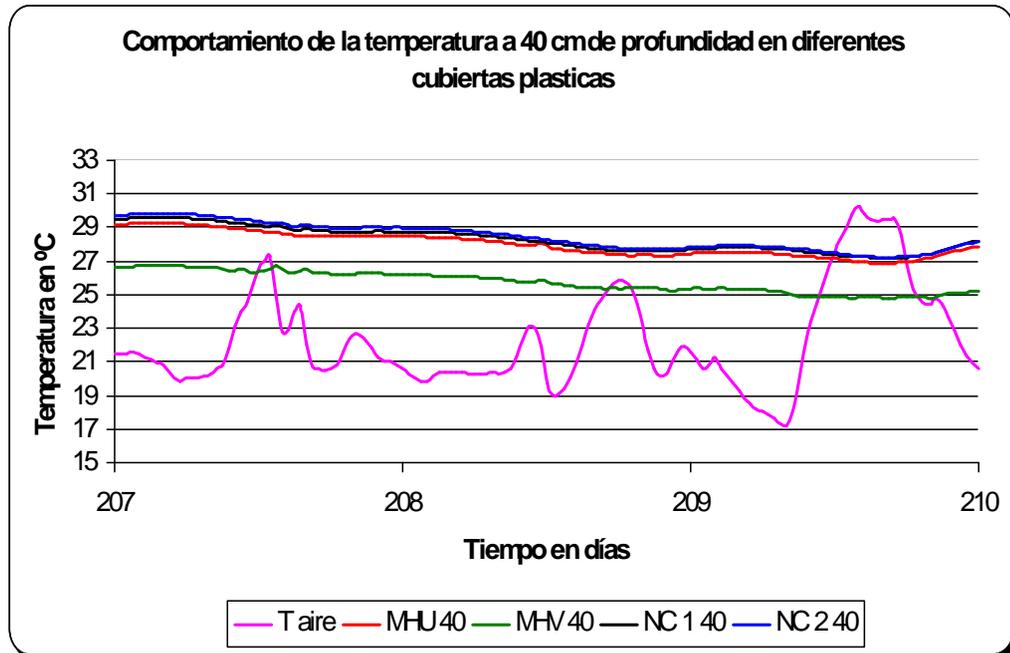
El comportamiento de la temperatura obtenida a 10 cm de profundidad en los últimos tres días de tratamiento vemos que la cubierta NC 1 y NC 2 se encuentran por encima de las temperaturas que arrojan las películas MHU y MHV, viéndose el efecto de la desintegración de la cubierta MHV arrojando temperaturas de hasta 7 °C por debajo de las tres cubiertas ver cuadro 4.6

Figura 4.6: Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad bajo diferentes películas, para los últimos tres días de tratamiento.



El efecto de la desintegración de las cubiertas se refleja a los 40 cm de profundidad donde se aprecian disminuciones de hasta 5 °C manteniéndose las cubiertas NC 1 y NC2 por encima hasta 1°C de la cubierta MHU. Ver figura 4.7

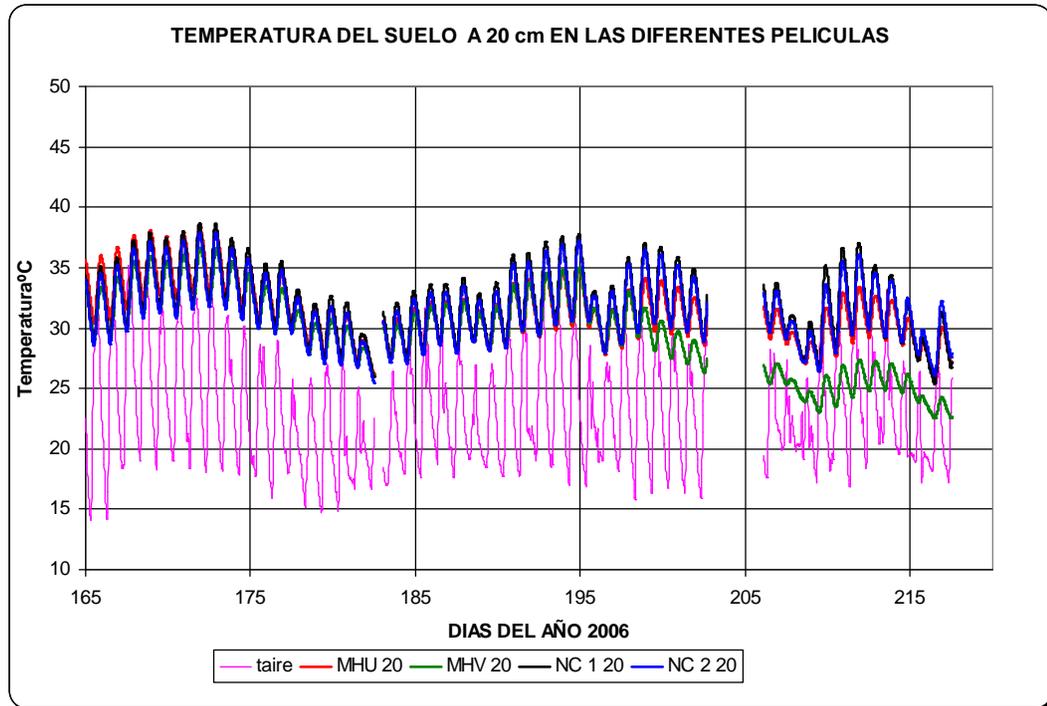
Figura 4.7: Temperatura del suelo a 40 cm de profundidad bajo diferentes películas, para los últimos tres días de tratamiento.



La evolución de la temperatura del suelo a la segunda profundidad (20 cm), bajo los diferentes tratamientos, se observa en la Figura 4.8, las variaciones progresivas de temperatura, se manifiesta muy por encima de la temperatura del aire. En este estrato se observan temperaturas superiores a los 35 °C mientras que la temperatura del aire oscila entre 15 y 33 °C.

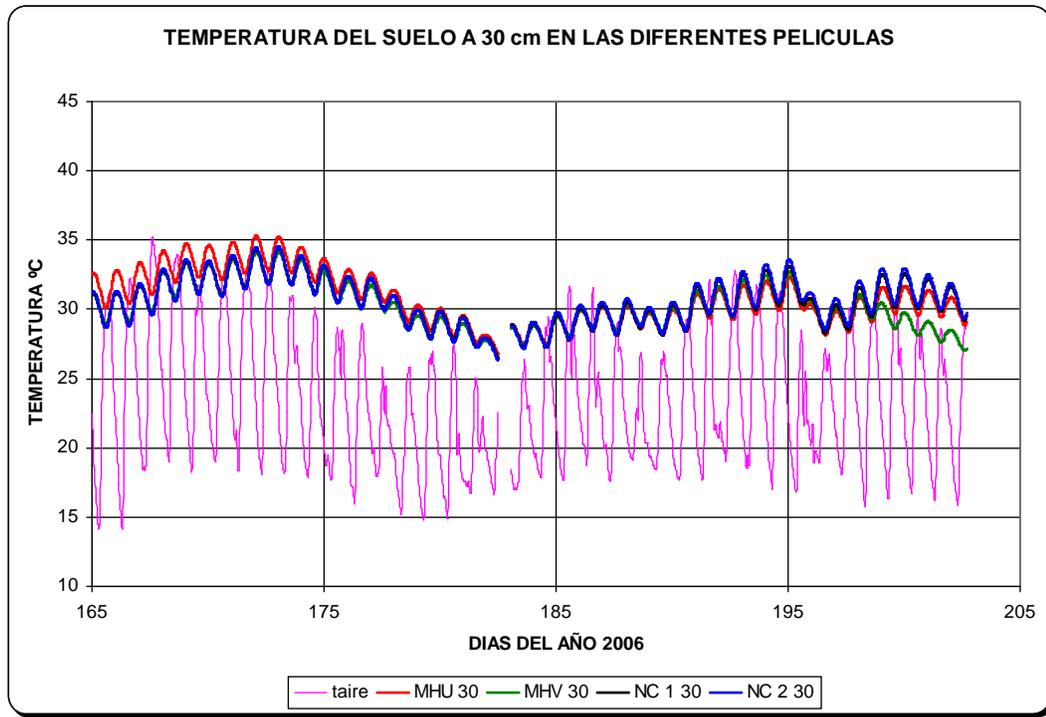
Se observa un ligero incremento de 3 a 4 °C en las películas NC 1 y NC 2 por encima de las otras cubiertas a partir del día 185 (20 días de tratamiento).

Figura 4.8: Temperatura del suelo a 20 cm de profundidad bajo diferentes películas, durante 45 días de tratamiento



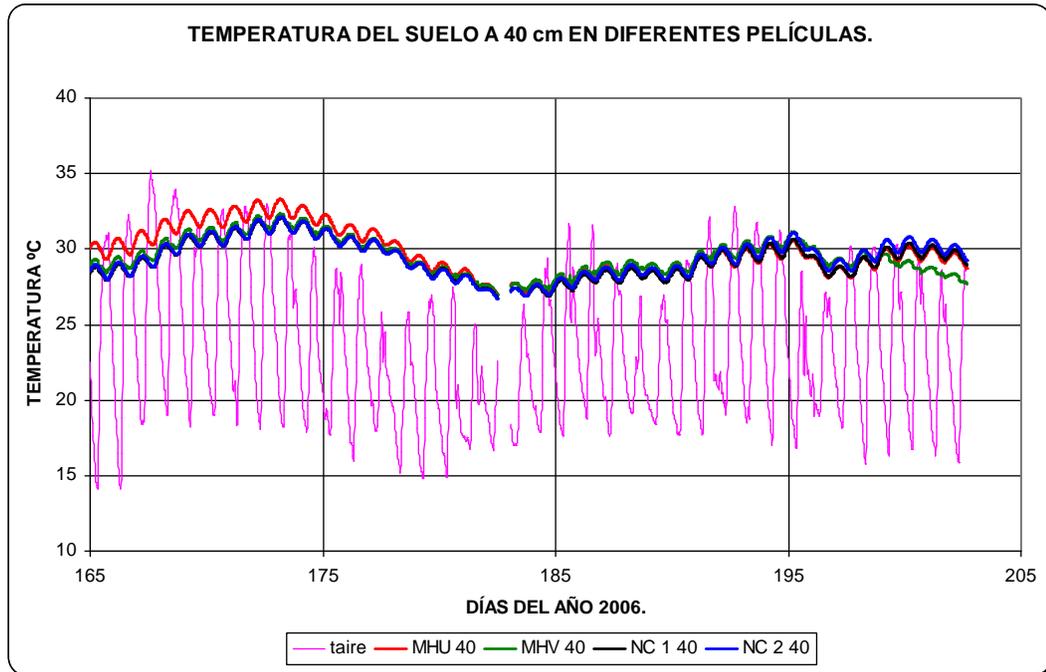
Las temperaturas máximas obtenidas a los 30 cm superan prácticamente durante el mayor período de solarización a la temperatura máxima del aire. Encontrando que al principio de la solarización presentó un incremento de 4 °C la cubierta MHU, pero a partir del día 190 (25 días de tratamiento) tenemos nuevamente a las cubiertas NC1 y NC2 por encima de las otras cubiertas variando entre 2- 3 °C. Esto lo podemos observar en la figura 4.9

Figura 4.9: Temperatura del suelo a 30 cm de profundidad bajo diferentes películas, durante 45 días de tratamiento



Las variaciones de temperatura en el último estrato evaluado (40 cm) muestran un comportamiento más estable en comparación a los estratos anteriores (10, 20 y 30 cm) oscilando de 27 a 33 °C manteniéndose nuevamente el mayor período de solarización por encima de la temperatura del aire que oscila entre 14 y 35 °C. Observándose el mismo comportamiento de las cubiertas NC1 y NC2. (figura 4.10)

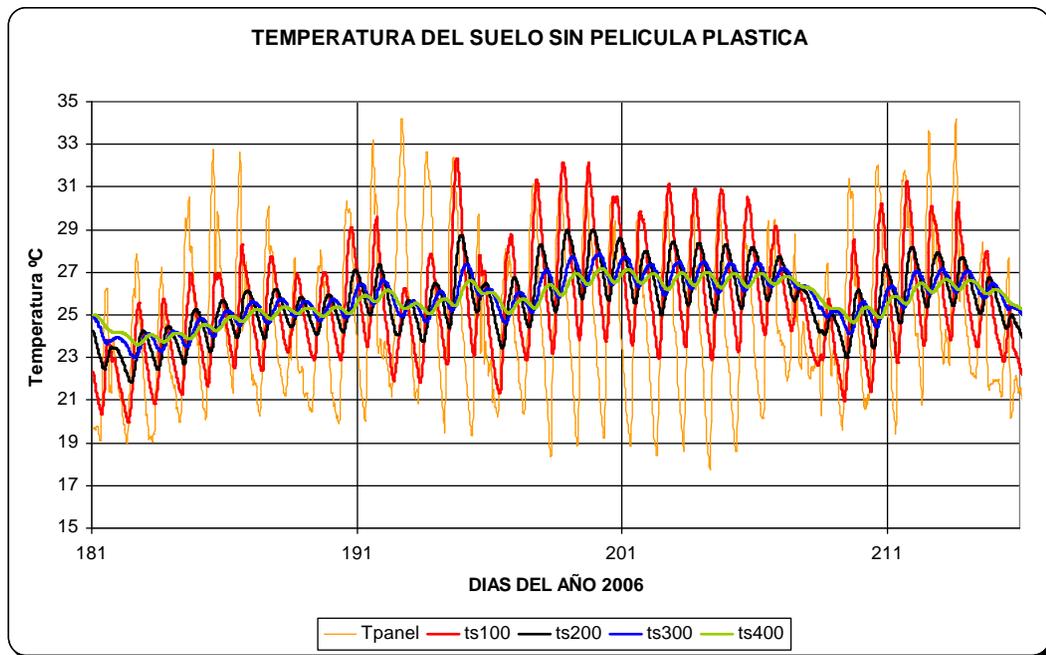
Figura 4.10: Temperatura del suelo a 40 cm bajo diferentes películas, durante 45 días de tratamiento



A diferencia de lo obtenido anteriormente, las temperaturas máximas del tratamiento testigo sólo superaron la temperatura máxima del aire durante 8 días del ensayo, y sólo a los 10 cm de profundidad (figura 4.11). Es importante señalar que las temperaturas máximas absolutas en el suelo solarizado en cualquiera de las cuatro cubiertas alcanzaron hasta a 45,7 °C a los 10 cm, 38,4 °C a los 20 cm, 35,1 °C a los 30 cm y 33.2 a 40 cm. Al comparar las temperaturas del tratamiento solarizado y testigo, se observa que las temperaturas de las parcelas solarizadas fue mayor en todas las profundidades a la obtenida en las parcelas testigo, manteniendo una diferencia de prácticamente 12°C en los 10 cm y de 7°C para los 30 cm. Rango que coincide con Martyn y Hartz (1986), quienes señalan que la diferencia entre el suelo solarizado y el no solarizado decrece al aumentar en profundidad, pero se mantiene una diferencia de al menos 4°C para los 30 cm y de 11°C para los 10 cm. Del mismo modo Elad et al (1980), citado

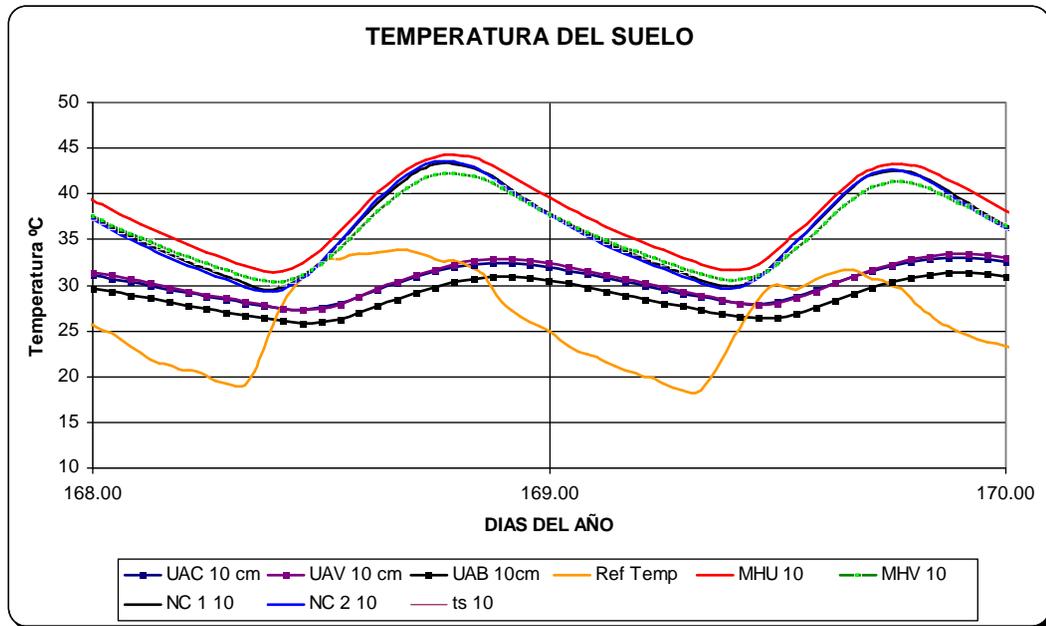
por Katan y DeVay (1991), señalan que las temperaturas obtenidas en un suelo no solarizado son 7°C a 14°C más bajas que las obtenidas en un suelo solarizado.

Figura 4.11: Temperatura del suelo sin cubiertas plásticas a 10 cm., de profundidad



Las temperaturas obtenidas en las cubiertas donde se aplicó el bromuro de metilo, reflejan temperaturas inferiores comparadas con las cubiertas de solarización. Esto revela que las diferencias entre tratamientos son reflejadas principalmente por la diferente acumulación de calor durante el día. La figura 4.12 ilustra los resultados obtenidos. Pudiéndose ver con claridad que las temperaturas de estas cubiertas a 10 cm presentan un comportamiento muy similar al que se presenta en la gráfica 4.10 a 40 cm de profundidad en el tratamiento solarizado, moviéndose en el mismo rango de temperatura.

Figura 4.12: Temperaturas a 10 cm de profundidad de las siete películas utilizadas en la investigación.



#### Población de propágulos de *Fusarium sp* por gramo de suelo.

Para evaluar la efectividad de la solarización y bromuro de metilo, se realizaron cinco análisis de fusarium sp para conocer la carga patogénica del suelo, el análisis de varianza no muestra diferencia estadística entre los tratamientos de cubiertas plásticas incluso comparados con la aplicación de bromuro de metilo para las medias de carga patogénica en los cuatro tiempos de solarización (cuadro 4.1). A los siete días se observa una disminución de 470.81 propágulos en la cubierta NC 1. En el muestreo de los 10 días la cubierta NC1 presenta una disminución de 629.18 propágulos con respecto a la cantidad obtenida antes de iniciar el tratamiento, el tratamiento con aplicaciones de bromuro de metilo en la película UAC se ve una disminución muy marcada de 820.8 propágulos con respecto al tiempo cero.

Cuadro 4.1: Medias de carga patogénica en siete películas a diferentes tiempos de solarización.

Factor "A" (películas)	Tiempo cero	7 Días	10 Días	14 Días	45 Días
NC 1	1766.31	1295.5	1137.12	2237.1875	524.5625
NC 2	965.93	1299.62	1124.56	1674.6875	474.8125
MHU	1301.37	1478.81	941.18	1562.125	657.5625
MHV	999.31	962.25	1128.81	1026.625	387.3125
UAB	1437.06	1337.06	1741.37	1616.4375	810.6875
UAC	2153.81	1353.81	1333	2320.4375	607.5
UAV	1141.37	1453.81	1316.31	1795.375	771.3125
Significancia	N S	N S	N S	N S	N S

El tiempo cero indica la cantidad de microorganismos presentes antes de realizar el ensayo, analizando las profundidades vemos que si existe diferencia estadística significativa y que la menor carga patogénica se refleja a 40 cm de profundidad (cuadro 4.2). Vemos una disminución en la carga patogénica a los 10 cm de 261.99 propágulos con respecto al tiempo cero, esto se debe a las temperaturas alcanzadas por las películas sobrepasa los 45 °C coincidiendo con lo obtenido por Katan 1981 quien encontró que cuando los microorganismos se someten al calor húmedo, a temperaturas superiores al máximo de crecimiento, su viabilidad se reduce y por otra parte la mortalidad térmica de una población de microorganismos depende tanto de la temperatura como del tiempo de exposición. Pero los microorganismos supervivientes pueden quedar debilitados y poseer menor potencial de inóculo y menor longevidad.

A los 14 días de solarización vemos que las medias arrojadas por el análisis estadístico están por encima de las obtenidas en el tiempo cero. La primera profundidad (10 cm.) sigue disminuyendo por acciones de la temperatura elevada en este estrato a diferencia de los siguientes tres estratos que refleja una carga patogénica mayor a la del tiempo cero.

A los 45 días de solarización vemos una disminución en la carga patogénica muy remarcada en comparación al tiempo cero, reflejando una mayor disminución en el tratamiento solarizado del 70 % de la carga patogénica la cubierta NC1 y para el tratamiento con bromuro de metilo vemos una disminución del 71 % en la carga patogénica a la cubierta UAC. Tomando en cuenta la cantidad de microorganismos presentes antes de iniciar el ensayo a las diferentes profundidades y contemplando las obtenidas a los 45 días de solarización vemos que la primera profundidad reduce un 63 % la carga patogénica, mientras que la tercera profundidad (30 cm.) redujo un 59 %. A los 20 cm., de profundidad, se reduce un 52 % la carga patogénica mientras que a los 40 cm, se reduce un 40 % de su carga con respecto al tiempo cero. (Cuadro 4.2) Las temperaturas alcanzadas por la solarización no siempre son letales para el patógeno, por tanto, reducen la probabilidad de acabar por completo con los microorganismos del suelo, a diferencia de la desinfección del suelo utilizando productos químicos.

Cuadro 4.2: Medias de carga patogénica tomadas a cuatro profundidades (10, 20 30 y 40 cm) en diferentes tiempos de solarización.

Factor "A" (Profundidades)	Tiempo cero	7 Días	10 Días	14 Días	45 Días
0 - 10 cm.	1625.85 A	1430.60 AB	1363.86 B	1491.32 BC	587.42 B
10 – 20 cm.	1868.46 A	1830.5 A	1709.18 A	2,237.7 AB	881 AB
20 – 30 cm.	1548.28 A	1183.03 BC	1190.11 B	2259.24 A	629.71 B
30 – 40 cm.	537.5 B	802.071 C	721.071 C	1001.96 C	320.89 B
<b>DMS 0.05</b>	<b>665.02</b>	<b>426.3</b>	<b>396.2</b>	<b>8</b>	<b>211.1</b>

Analizando la interacción de las cuatro cubiertas, las cuatro profundidades y los cuatro tiempos de solarización, vemos que para la cubierta NC 1 a los 7 y 45 días de ensayo a partir del tiempo cero la mayor desinfección del suelo se presenta a los 30 cm de profundidad, mientras que a los 10 y 14 días de ensayo, la mejor desinfección del suelo se observa en el primer estrato. Para la cubierta NC 2 Vemos que la mejor desinfección con respecto al tiempo cero se presenta en el primer estrato sin importar los tiempos de

solarización, también se aprecia que a los 30 y 40 cm de profundidad se incrementa la carga patogénica, esto se debe a que las muestras fueron tomadas en diferentes puntos de la cama perteneciente al mismo tratamiento. Para la cubierta MHU se observa el mismo comportamiento de la cubierta NC 2 llevándose a cabo la mejor desinfección en el primer estrato en los cuatro tiempos de solarización (7, 10, 14, 45 días) y observándose un mayor incremento en la carga patogénica a los 30 y 40 cm de profundidad. En la cubierta MHV se observa una mayor disminución de patógenos a los 10 cm de profundidad en los diferentes tiempos de solarización, mientras que a los 20 y 30 cm se incrementa el número de patógenos en los tres primeros tiempos de solarización y a los 40 cm se incrementa en los dos últimos tiempos de solarización a los 14 y 45 días. En las cuatro cubiertas plástica vemos como el efecto de solarización contra los fusarium del suelo es mejor a los 45 días de solarización disminuyendo los propágulos de a partir del tiempo cero. (Cuadro 4.3)

En las películas donde se aplicó el fumigante bromuro de metilo, no se mide los efectos de la solarización pero se contemplan los mismos días para los muestreos. Se observa que en la cubierta UAB el mejor efecto del fumigante se tiene a los 30 cm de profundidad a partir del tiempo cero hasta los 45 días después de su aplicación, observándose un incremento en la carga patogénica en el primer estrato de 10 cm. En la cubierta UAC, Se observa una disminución de patógenos por acción del fumigante a los 20 y 30 cm de profundidad a partir del tiempo cero hasta los 45 días de su aplicación. Para la cubierta UAV el mejor efecto del fumigante se observa a los 30 cm de profundidad. Para estas cubiertas se observa que las muestras obtenidas a los 45 días después de ser aplicado el fumigante presentan una menor cantidad de propágulos con respecto al tiempo cero, esto se debe a que sigue presente la acción del bromuro de metilo. Cuadro 4.3.

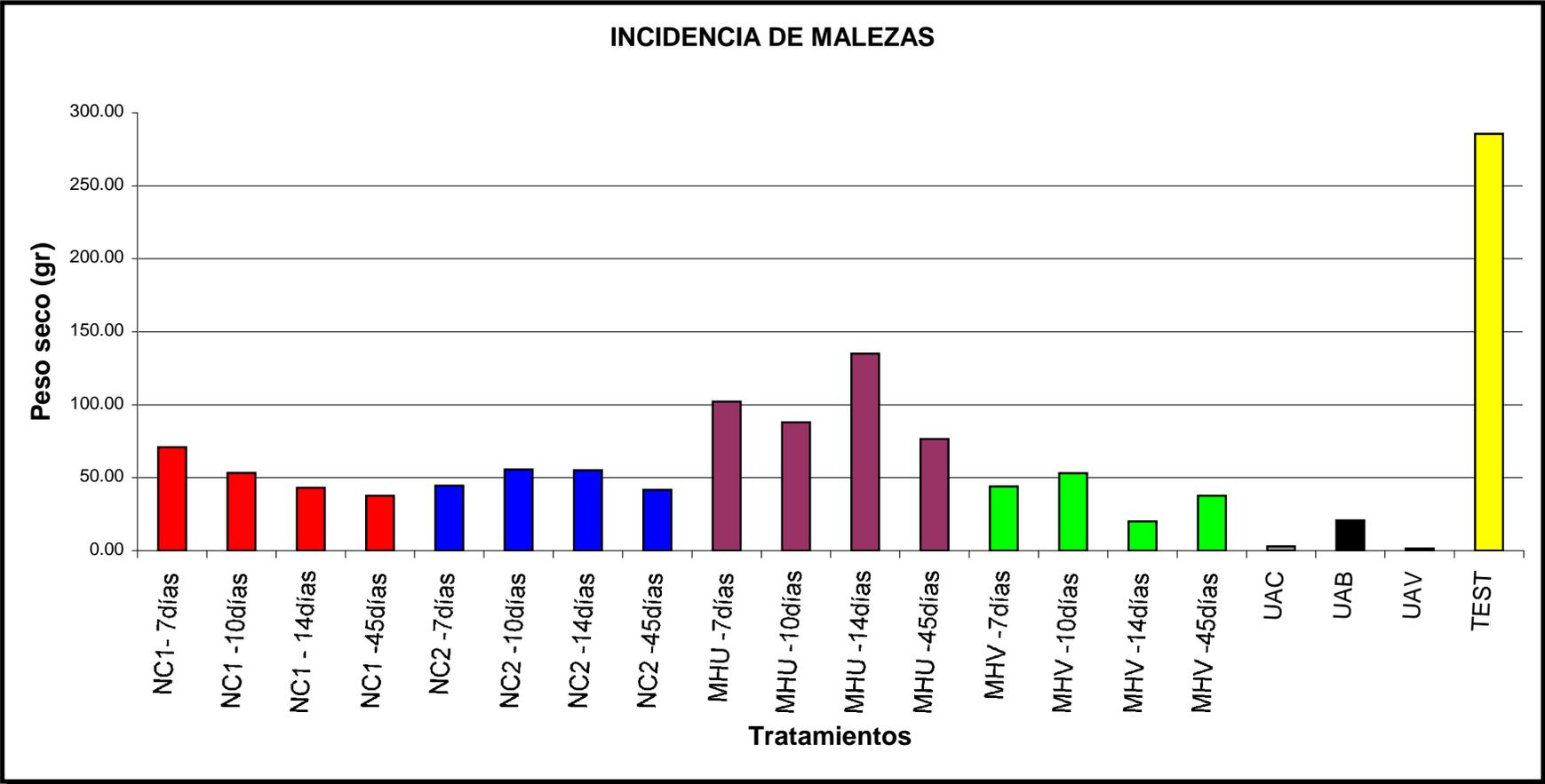
Cuadro 4.3: Interacción de las siete cubiertas plásticas con las cuatro profundidades en diferentes tiempos de solarización.

Películas y sus profundidades	Tiempos de solarización				
	Tiempo cero	7 Días	10 Días	14 Días	45 Días
NC 1 0 - 10 cm.	2033	2383	833	1083	449.5
NC 1 10 - 20 cm.	2149.5	883	2199.75	2016.5	1016.25
NC 1 20 - 30 cm	2049.75	983	1183	5133.25	449.5
NC 1 30 - 40 cm.	833	933	332.75	716	183
NC 2 0 - 10 cm.	1299.75	883	716.25	766.25	233.25
NC 2 10 - 20 cm.	1581.5	2116.25	1433	2999.5	766.25
NC 2 20 - 30 cm	666.25	1033	1499.5	2083.25	516.5
NC 2 30 - 40 cm.	316.25	1166.25	849.5	849.75	383.25
MHU 0 - 10 cm.	2383	1349.75	649.5	833	383
MHU 10 - 20 cm.	1716.5	2216.25	1616.25	2682.75	1581.25
MHU 20 - 30 cm	656.25	1766.25	749.5	1666.5	533
MHU 30 - 40 cm.	449.75	583	749.5	1066.25	133
MHV 0 - 10 cm.	1733	549.75	832.75	791.25	233.25
MHV 10 - 20 cm.	916.25	1966.25	1849.75	1299.5	266.5
MHV 20 - 30 cm	850	1066.5	1416.5	1182.75	383
MHV 30 - 40 cm.	498	266.5	416.25	833	666
UAB 0 - 10 cm.	1083	1133	3116.5	1916.5	947.25
UAB 10 - 20 cm.	1749.5	2032.75	1533	2266.5	1031.5
UAB 20 - 30 cm	2066.25	1416.25	1216.25	1683	931.5
UAB 30 - 40 cm.	849.5	766.25	1099.75	599.75	332.5
UAC 0 - 10 cm.	1649.5	1999.5	1616.25	2199.5	682.5
UAC 10 - 20 cm.	3349.75	1583	2049.5	2849.75	608
UAC 20 - 30 cm	3166.25	933	916.25	2616.25	798
UAC 30 - 40 cm.	449.75	899.75	750	1616.25	341.5
UAV 0 - 10 cm.	1199.75	1716.25	1782.75	2849.5	1183.25
UAV 10 - 20 cm.	1616.25	2016	1283	1549.5	899
UAV 20 - 30 cm	1383.25	1083.25	1349.75	1449.5	796.5
UAV 30 - 40 cm.	366.25	999.75	849.75	1332.75	206.5
Significancia	N S	N S	N S	N S	N S
C. V	34.96%	28.89%	26.36%	38.48%	34.35 %

## **Datos de malezas.**

Analizando los datos de materia seca en malezas de los cuatro tiempos de solarización y en el tratamiento con aplicación de bromuro de metilo vemos como el testigo presenta el mayor crecimiento de malezas debido a que la luz solar y el rocío proporcionan las condiciones óptimas para su crecimiento. La cubierta NC 1 presenta un decremento en peso de materia seca a partir de los primeros 7 días de solarización hasta cumplir los 45 días, esto quiere decir que conforme aumenta el tiempo de exposición a la luz solar, las cubiertas responden de manera positiva disminuyendo el crecimiento y población de malezas. Mientras que la cubierta NC2 se observa como a los 7 días de tratamiento se tiene un peso en materia seca menor que a los 10 y 14 días de tratamiento ya que para los 45 días se observa un decremento menor al obtenido en el primer tiempo de 7 días. La cubierta MHU presenta el mayor peso en materia seca en los cuatro tiempos de solarización, siendo mayor en el tercer tiempo (14 días) comparado con las otras tres cubiertas. La cubierta con menor incidencia de malezas es la MHV es la que presenta un mejor comportamiento al contar con los pesos mas bajos en cuanto a materia seca el mejor tiempo para esta cubierta se obtiene a los 14 días con un peso menor a las otras tres cubiertas. (Ver figura 4.13). Las cubiertas que se les aplico bromuro de metilo presentaron poco crecimiento de malezas

Figura 4.13: Materia seca de malezas en las siete cubiertas plásticas incluyendo testigo.



### Datos de germinación y transplante en el tratamiento solarizado.

Después de realizar el análisis estadístico y de hacer la comparación de media en germinación y transplante no existe diferencias significativas entre tratamientos, analizando las variaciones mínimas entre las medias de cada película vemos que en la cubierta MHU la sobrevivencia al trasplante es menor que en las otras dos cubiertas (Cuadro 4.4), cabe aclarar que todas las películas presentaron un 10 % de plántulas muertas debido al contacto directo con la cubierta plástica, además de contar con temperaturas elevadas en la superficie del suelo ya que las cubiertas producen un efecto térmico muy diferente a la práctica del acolchado elevando la temperatura del suelo afectando al cultivo. Esto coincide con observaciones realizadas por Contreras et al. (1992) En donde las temperaturas extremas del día resultan decisivas y así, la utilización de películas transparente en época cálida puede llegar a imponer restricciones al desarrollo vegetal, al superar por algunas horas la temperatura óptima fisiológica del cultivo, pudiendo aproximarse incluso a la temperatura máxima y disminuyendo en consecuencia el crecimiento de la planta con relación a una situación más favorable.

Cuadro 4.4: Medias del número de plantas que sobrevivieron al transplante y numero de plantas germinadas en siembra directa para disminuir pérdidas en el tratamiento solarizado.

<b>Factor "A" (película)</b>	<b>Transplante</b>	<b>Germinación</b>
NC 2	34.37	6.75
NC 1	36.12	4.31
MHU	33.87	5.75
Significancia	N. S	N. S.

### **Datos de germinación y transplante en el tratamiento bromuro de metilo.**

El análisis de varianza realizado para este tratamiento, no muestra diferencia significativa (cuadro 4.5). La sobrevivencia al transplante se ve afectada en mayor proporción en la cubierta UAC con respecto a las otras dos cubiertas.

Cuadro 4.5: Medias del número de plantas que sobrevivieron al transplante y número de plantas germinadas en siembra directa para disminuir pérdidas en el tratamiento con bromuro de metilo.

<b>Comparación de medias de germinación y transplante</b>		
<b>PELÍCULAS</b>	<b>Numero de plantas vivas</b>	
	<b>Transplante</b>	<b>Germinación</b>
UAC	180.5	14.5
UAV	202.75	10.25
UAB	194	10
significancia	N S	N S
C.V	7.47%	28.26%

### **Datos de peso seco en el tratamiento solarizado.**

Para evaluar el crecimiento de las plantas se realizaron dos muestreos de materia seca, después de realizar el análisis de varianza, los datos no muestran diferencias significativas, pero podemos analizar las diferencias mínimas entre tratamientos. En el factor "A" vemos que: La película NC 2 muestra un mayor peso de materia seca en el primero y segundo muestreo comparado con las otras tres cubiertas plásticas. Mientras que el menor peso para el primer muestreo se obtiene en la cubierta MHU, y que para el segundo muestreo el menor peso se observa en la cubierta MHV (cuadro 4.6).

Cuadro 4.6 Medias de peso seco en grs., tomando en cuenta las cuatro

<b>Tiempos de solarización</b>	<b>1er Muestreo</b>	<b>2do Muestreo</b>
7 Días	55.53	68.57
10 Días	56.53	77
14 Días	72.08	69
45 Días	62.622	91.8
Significancia	N. S	N. S.

cubiertas plásticas en el tratamiento solarizado.

<b>Factor “A” (películas)</b>	<b>1er Muestreo</b>	<b>2do Muestreo</b>
MM 280	81.91	107.77
MM 140	61.65	63.71
MHV	52.93	46.19
MHU	50.283	87.07
Significancia	N. S	N. S.

Analizando los diferentes tiempos de solarización, el mayor peso de materia seca se observa a los 14 días de solarización para el primer muestreo, mientras que para el segundo muestreo es a los 45 días, siendo el primer tiempo el que refleja menor peso en materia seca en los dos muestreos. (Cuadro 4.7)

Cuadro 4.7 Medias de peso seco en grs., tomando en cuenta los cuatro tiempos de solarización.

Analizando las cubiertas y sus diferentes tiempos de solarización, vemos que para la cubierta plástica NC 2 el mayor peso de materia seca se presenta a los 14 días de solarización (1er muestreo) y 45 días en el segundo muestreo. Mientras que para la cubierta plástica NC 1 el mayor

peso se obtiene a los 45 días en los dos tiempos de solarización. Para la siguiente película MHV, en el primer muestreo el mayor peso se refleja a los 10 días de solarización y a los 7 días para el segundo muestreo. Finalmente analizamos la cubierta plástica MHU el mayor peso de materia seca para el primer muestreo, se obtiene al 14 días y a los 10 días para el segundo muestreo, (cuadro 4.8)

Cuadro 4.8: Medias de materia seca en grs.,de las interacciones de las cuatro cubiertas plásticas y los cuatro tiempos de solarización.

<b>Películas y Tiempos de solarización</b>		<b>1er Muestreo</b>	<b>2do Muestreo</b>
NC 2	7 días	89.72	96.35
NC 2	10 días	53.13	89.68
NC 2	14 días	104.59	97.166
NC 2	45 días	80.19	147.88
NC 1	7 días	63.84	69.06
NC 1	10 días	49.413	60.33
NC 1	14 días	65.16	54.51
NC 1	45 días	68.183	70.95
MHV	7 días	40.35	50.39
MHV	10 días	60.57	47.8
MHV	14 días	54.36	38.5
MHV	45 días	56.44	48.08
MHU	7 días	28.22	58.47
MHU	10 días	63.036	112.96
MHU	14 días	64.206	76.56
MHU	45 días	45.67	100.31
<b>Significancia</b>		<b>N. S.</b>	<b>N. S.</b>
<b>C. V</b>		<b>24.45%</b>	<b>23.37%</b>

### Datos de peso seco en el tratamiento con bromuro de metilo.

Los datos no presentan diferencia significativa entre los tratamientos para los dos muestreos el peso seco oscilo entre los 90 y los 100 gramos en promedio en las tres cubiertas. (cuadro 4.9)

Cuadro 4.9: Medias de materias seca en grs., del tratamiento con bromuro de metilo.

<b>Comparación de medias de materia seca en grs.</b>		
<b>PELÍCULAS</b>	<b>Materia seca en grs.</b>	
	<b>1er muestreo</b>	<b>2do muestreo</b>
UAC	94.0299	90.256
UAV	90.4866	93.103
UAB	92.8699	102.306
significancia	N S	N S
C.V	29.12%	30.72%

### Rendimiento en el tratamiento solarizado.

No hay diferencia estadística significativa en la relación de medias para la variable de frutos por planta. El cuadro 4.10 muestra el rendimiento en las diferentes cubiertas plásticas donde el mayor rendimiento en frutos por planta se presenta en la película NC 1 con una producción de 1.6. Seguida a este rendimiento tenemos a la cubierta MHV con 1.56, siendo la cubierta MHU la que presenta el menor rendimiento equivalente a 1.43. No hay diferencia significativa en el valor de las medias.

Analizando las cubiertas plásticas para Kilogramos por planta vemos que la cubierta que presenta un mayor rendimiento es MHU con 0.89 Kg/planta. Las cubiertas NC 2 y MHV presentan rendimientos muy cercanos con 0.867 Kg/planta y 0.86 Kg/planta. Siendo la cubierta NC 1 quien presento un menor

rendimiento con 0.83 kg/planta. Las medias para kilogramos por fruto tampoco muestran diferencias estadísticas significativas en las medias de los tratamientos. Analizando las cubiertas plásticas vemos que la película NC 2 presenta un mayor rendimiento con 0.55 Kg/fruto, seguida por la cubierta MHU con 0.52 Kg/fruto, siendo la cubierta NC 1 la que presente un menor rendimiento de 0.44 Kg/fruto.

Cuadro 4.10 Medias de rendimiento tomando en cuenta las cuatro películas y los diferentes tiempos de solarización.

<b>Análisis de medias de producción en el cultivo de melón</b>			
<b>Factor "A" (película)</b>	<b>Frutos/planta</b>	<b>Kilos/planta</b>	<b>Kilos/Fruto</b>
NC 2	1.46	0.8623	0.5575
NC 1	1.6	0.8396	0.4493
MHV	1.56	0.8675	0.5081
MHU	1.436	0.8986	0.5281
Significancia	N. S	N. S.	N. S.

Analizando los diferentes tiempos de solarización (cuadro 4.11) vemos que la cantidad de frutos por planta es mayor a los 45 días de tratamiento con 1.6 frutos por planta, mientras que en el primer tiempo de solarización obtenemos 1.56 frutos por planta viéndose un menor rendimiento a los 14 días de solarización con 1.29 frutos por planta. El mejor efecto de solarización en base a los kilogramos por planta se observan a los 45 días obteniendo un rendimiento de 0.943 Kg/planta. seguido con 0.85 Kg/planta, mientras que a los 14 días se presenta un rendimiento de 0.83 Kg/planta. Analizando los tiempos de solarización para los kilogramos por fruto vemos que la mayor producción se refleja en T4 (45 días) con 0.57 Kg/fruto, seguidos de los tiempos 3 y 1 (7 días) con 0.46 Kg/fruto y 0.48 Kg/fruto.

Cuadro4.11 Medias de rendimiento tomando en cuentas los cuatro tiempos de solarización.

<b>Factor “A” (película)</b>	<b>Frutos /planta</b>	<b>Kilos/planta</b>	<b>Kilos/frutos</b>
7 Días	1.56	0.8542	0.48
10 Días	1.6	0.8403	0.4606
14 Días	1.29	0.8304	0.5268
45 Días	1.6	0.9432	0.5756
Significancia	N. S	N. S.	N. S.

Analizando la interacción de las cuatro cubiertas con los cuatro tiempos de solarización (cuadro 4.12) para el caso de frutos por planta vemos que las cubiertas NC 2 y MHV los mayores rendimientos se obtiene a los 10 días de solarización, mientras que para la cubierta NC 1 el mayor rendimiento se obtiene a los 45 días de solarización y para la cubierta MHU se obtiene a los siete primeros días de solarización.

Analizando los kilogramos por planta, vemos que para las películas NC 1 y MHV el mayor rendimiento se produce a los 45 días de solarización con 1.02 Kgrs/planta y 0.905 Kgrs/planta. Mientras que para la película NC 2 el mejor tiempo es T3 (14 días) con 0.9188 Kgrs/p. y finalmente la cubierta MHU con 0.968 Kgrs/p a los 7 días de solarización. Analizando los Kilogramos por fruto vemos que las películas MHV, MHU y NC 1 presentan un mayor rendimiento a los 45 días de solarización con 0.6, 0.57 y 0.56 Kgrs/fruto mientras que la película NC 2 presenta el mayor rendimiento en el T3 (14 días) con 0.71 Kgrs/fruto.

Cuadro 4.12: Medias de rendimiento de las interacciones de las cuatro películas y los cuatro tiempos de solarización.

<b>Películas y Tiempos de solarización</b>		<b>Melones/planta</b>	<b>Kilos/planta</b>	<b>Kilos/melón</b>
NC 2	7 días	1.31	0.7344	0.4475
NC 2	10 días	1.632	0.886	0.51
NC 2	14 días	1.427	0.9188	0.71
NC 2	45 días	1.497	0.9103	0.5625
NC 1	7 días	1.57	0.8134	0.425
NC 1	10 días	1.692	0.7966	0.385
NC 1	14 días	1.237	0.72	0.4275
NC 1	45 días	1.917	1.0288	0.56
MHV	7 días	1.727	0.9007	0.5
MHV	10 días	1.855	0.8893	0.4375
MHV	14 días	1.277	0.7752	0.4875
MHV	45 días	1.41	0.9052	0.6075
MHU	7 días	1.645	0.9683	0.5475
MHU	10 días	1.247	0.7896	0.51
MHU	14 días	1.25	0.908	0.4825
MHU	45 días	1.602	0.9287	0.5725
Significancia		N. S.	N. S.	N. S.
C. V		19.24%	25.17%	23.21%

### **Rendimiento en el tratamiento con Bromuro de metilo.**

No hubo diferencia estadística significativa en la comparación de medias en el tratamiento con aplicación de bromuro de metilo para ninguna de las variables de número de frutos, kilogramos por planta y kilogramos por fruto. Aunque para la variable de kilogramos por planta la cubierta UAC fue la que tuvo el menor peso por planta con una diferencia de 0.15 y 0.25 kg comparado con las cubiertas UAB y UAV respectivamente. (cuadro 4.13)

Cuadro 4.13: Medias de rendimiento en el tratamiento con Bromuro de metilo.

<b>Comparación de medias de producción en melón .</b>			
<b>PELÍCULAS</b>	<b>Melones/planta</b>	<b>Kilos/planta</b>	<b>Kilos/melón</b>
UAC	1.3325	0.6975	0.516
UAV	1.665	0.9475	0.5663
UAB	1.4525	0.8425	0.5775
Significancia	N S	N S	N S
C.V.	23.99%	32.48%	9.97%

## **CONCLUSIONES.**

Los tratamientos no presentan diferencia significativa, la respuesta del tratamiento a los 45 días de solarización, es muy similar al tratamiento con aplicaciones de bromuro de metilo.

El efecto obtenido a los 45 días de solarización refleja mayor producción de materia seca y por consiguiente mayor rendimiento reflejado en los pesos obtenidos, este efecto es más notorio en el tratamiento que contiene la película NC 2 y NC 1.

Por otro lado las temperaturas extremas del día resultan decisivas y así, la utilización de polietileno transparente en época cálida puede llegar a imponer restricciones al desarrollo vegetal, al superar por algunas horas la temperatura óptima fisiológica de las malezas, pudiéndose ver los resultados en el tratamiento con 45 días de solarización exterminando las malezas.

La mayor disminución en las cargas de patógenos se ven reflejadas a los 45 días de solarización obteniendo mayores resultados en los 20 cm de profundidad, comportándose muy similar las cuatro cubiertas, igualando resultados con el tratamiento al que se le aplico el fumigante con bromuro de metilo.

Los mayores rendimientos se obtienen a los 45 días de solarización mostrando resultados poco variables en las cuatro cubiertas e igualando al tratamiento con bromuro de metilo.

### **Bibliografías:**

- Abdel-Rahim, M.F., M.M. Satour, K.Y. Mickail. S.A. El-Eraki, A. Grinstein, Y. Chen, and J. Katan. 1988. Effectiveness of soil solarization in furrow - irrigated soils. *Plant Disease*. 72: 143-146.
- Abu-Irmaileh, B.E. 1991. Weed control in aquash and tomato fields by soil solarization in the Jordan Valley *Weed Res.* 81 (3): 125-133.
- Alexander, R. T. 1990. Proceedings of the Forty-Third New Zealand Weed and Pest Control Conference. Pp. 270-273.
- Ashwoth, L.J. and J. Gaona. 1982. Evaluación of clear polyethylene mulch controlling *Verticillium* wilt in established pistachio nut groves. *Phytopathology*. 72: 243-246
- Aviña, G. M. E. 1995. Fenología, Fenometría y Rendimiento en Calabacita con Acolchado Plástico, Cubiertas Flotantes y Ethrel. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 94 pp.
- Baker, K.F. 1962. Principles of desinfestation of heat-treated soil and planting material. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Sciences* 28: 118-126.
- Ben-Yephet, Y. (1988) Control of sclerotia and apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* by metham sodium, methyl bromide and soil solarization. *Crop Protection* 7:25-27

- Contreras, A., P. Acevedo, L. Pastor, y C. Eyzaguirre. 1992. Variaciones térmicas de suelo cubierto por acolchado (mulch) de polietileno. *Agricultura Técnica (Chile)* 52:456-461.
- Cebolla V. del Busto A., Barreda D. Martínez P.F., Cases B. 1989. Study on combined soil solarization plus fumigants to control some soil-borne fungi and
- Cebolla V., del Busto A., Barreda D., Martínez P.F., Cases B. 1990. Control de hongos del suelo y malas hierbas mediante solarización y bromuro de metilo. Proc. I Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Lisboa Portugal 18-21 Junio de 1990.
- Crozzoli, R. 1990. Utilización de aldicarb y carbofuran para el control del nemátodo dorado de la papa (*Globodera rostochiensis*). *Fitopato I. Venez.* 3:9-10.
- Daelemans A. 1989. Soil solarization in West Cameroon: Effect on weed control, some chemical properties and pathogens of the soil. *Acta horticulturae* No. 255 pp 169 – 175.
- Dra. Andrea Brechelt, revista INTER-FORUM, pesticida que amenaza el medio ambiente y la salud humana, Volumen 20 , marzo 8 del 2001
- De Vat, J.E., J.J. Stapleton, and C. L. Elmore 1990. Historical review and principles of soil solarization. Proc. Of the First Int. Conference on Soil Solarization. Amman, Jordan. 19-25 February, 1990. FAO Plant Protection and production paper No. 109. Rome. 1991.
- Elmore, L. L.; Stapleton, J. J.; DeVay, E. J. and Bell, C. E. 1997. Soil solarization, A nonpesticidal method for controlling diseases, nematodes, and weeds. University of California. Davis, USA. 13 pp.

- FAO 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo, Roma, Italia. Pp 224.
- García, M. E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (adaptada a las condiciones de la República Mexicana). Cuarta Edición. Limusa. México.
- Gamliel, A. E. Hadar, and J. Katan. 1989. Soil solarization to improve yield of gypsophila in monoculture system. *Acta Horticulturae*. 225: 131 - 138
- Gómez, L. R. F. 1994. Efecto de las películas plásticas fotoselectivas para acolchado de suelos en calabacita Cucurbita pepo L. cv Zucchini Gray. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 80 pp.
- Greco, N. 1993. Nematode problems affecting potato production in subtropical climate. *Nematropica*. 23:213-220.
- Haidar, M.A. and N. Iskandarani. 1977. soil solarization for control of dodder (*Cuscuta* spp.) and other weeds in cabbage. Pp 264 – 274. En: Stapleton, J.J., J.E. De Vay, and C. L. Elmore editors. Proc. Of the Seond Int. Conference on Soil Solarization and Integra ted Management of Soil-borne pests. Aleppo, Syrian Arab Republic. 16 -21 March, 1997. FAO: Plant Proteccion and Production paper No. 147. Rome, 1998.
- Hasson, A.M., T. Hassaballah, R. Hussain and L. Abbas. 1977. Effect of soil sterilization on nitrification in soil. *Journal of Plant Nutrition*. 10: 1805-1809.
- Herrera, F. 1995. La solarización en costa rica. Memorias del taller solarización del suelo. Escuela Agrícola Panamericana “El Amorano” Honduras. ¡8-21 septiembre, 1995. pp 6-7.

- Horowitz. M., Y. Rogerrrs, and G. Herlinger. 1983. Solarization for weed control. *Weed Sci.* 31: 70.179
- Katan, J and J.E DeVay. 1991. *Soil solarization*. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Kodama T.; Fukui T. 1982. Solar heating in cosed plastic house for control of soil borne diseases. Application for control of Fusarium wilt of strawberry. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan.* 48:570 -577.
- Labrada, R. 2004. Manejo de malezas para paises en desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimenación. Roma. 120 p.
- Malathrakis N.E. 1987. Six years experience on solarization against soil borne diseases of vegetables in protected crops. CEC10BC Join experts meeting Spain.
- Malcolm, C. Shurtleff and Charles W. Averre III. 2000. *Diagnosing plant diseases caused by nematodes*, APS press. St. Paul, MN. 187 pp.
- Narro, C. A. 1985. *El Acolchado de suelos, metodología y riego en el cultivo del chícharo*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 141 pp.
- Pullman, G. S.; DeVay, J. E. and Garber, R. H. 1981. Soil solarization and thermal death: a logarithmic relationship between time and temperature the four soilborne pathogens. *Phytopathology* 71: 959 - 964.
- Rubin, B. and J. Benjamin. 1984. solar heating of the soil : Involvement of environmental factors in the weed control process. *Weed Sci* 32: 138 - 142.

Stapleton, J.J. 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection*. 19: 837-841.

Siti E.;Cohn E.;Katan J.;Mordechai M. 1982. Control of *Ditylenchus dipsaci* in garlic by bulb and soil treatments. *Phytoparasitica* 10:93-100

Tamietti G.;Garibaldi A. 1989. The use of solarization against *Rhizoctonia solani* under greenhouse conditions in Liguria. *Informatore fitopatologico*. 39:43-45

weeds. Simposio internazionale su nuove applicazioni dell'energia solare in agricoltura. Siracusa(Italia) 11-14 Dic .

Yucel, S.; Pala H.; Cali S.; Erkilic A.; and Albajes R. 2000. Combination of *Trichoderma* spp. and soil solarization to control root rot diseases of cucumber in greenhouses conditions. IOBC-WPRS Working Group. *Integrated Control in Protected Crops, Mediterranean Climate. Proceedings of the Meeting, Antalya, Turquía*. 23(1): 78 - 81.