

MONITOREO DE TEMPERATURAS DE SUELO EN UN ENSAYO DE APLICACIÓN DE VAPOR PARA CONTROL DE PATÓGENOS

M. A. Lara¹⁻³, A. Cassinera¹, R. Abalone², A. Gastón²,

1-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

2-Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura. UNR

3-Facultad de Ciencias Agrarias. UNR

Av. C. Pellegrini 250 (2000) Rosario. Tel. 0341-4495467 int. 33

malara@fceia.unr.edu.ar, cassinera@ifir.edu.ar, rabalone@fceia.unr.edu.ar, analiag@fceia.unr.edu.ar,

RESUMEN: La sustitución del Bromuro de metilo en tratamientos de suelos generó la necesidad de difundir y/o desarrollar alternativas a partir de políticas específicas.

El presente trabajo presenta un monitoreo de temperaturas de suelo durante la aplicación de vapor por medio de dos sistemas, uno estático y uno móvil para control de patógenos.

Ambos sistemas fueron comparados en un invernadero, en las mismas condiciones de suelo y clima.

El equipo móvil, cuyo diseño permite profundizar la aplicación, mostró una mejor distribución en el perfil. El sistema estático, cuya aplicación es en superficie, es muy efectivo en las capas superiores estando muy influenciado por las propiedades físicas del suelo y especialmente por el contenido de humedad.

En ambos casos la temperatura decae en forma menos abrupta al utilizar una cobertura luego de la aplicación.

El recuento de patógenos muestra la efectividad de ambos sistemas hasta la profundidad que cada uno puede alcanzar.

Palabras clave: suelos, bromuro de metilo, vapor, patógenos.

INTRODUCCIÓN

La problemática de sustitución del Bromuro de metilo especialmente para tratamientos de suelo en cultivos de alto valor, ha dado lugar al desarrollo y difusión de alternativas técnicas, iniciativas políticas y combinaciones de ambas.

El bromuro de metilo es un fungicida/herbicida/insecticida altamente tóxico empleado principalmente como fumigante de suelos en la producción de tomates, pimientos, frutillas, tabaco, flores, etc. Luego de su aplicación, pasa a las capas superiores de la atmósfera, donde daña la capa de ozono. Desde la inclusión del Bromuro de Metilo en la lista de sustancias controladas por el Protocolo de Montreal en 1992, los países en desarrollo acordaron la eliminación total para el año 2015.

Argentina, junto a otros países, había decidido adelantar el plazo de eliminación para el año 2007 pero en el año 2005 se decidió posponerlo hasta el plazo original del año 2015.

El INTA está llevando adelante proyectos demostrativos de alternativas al uso de bromuro de metilo (1) en cultivos de hortalizas, frutilla, flores de corte, y tabaco, tales como solarización, el uso del vapor, hidroponía y de otros agentes químicos. Por otra parte, quienes difunden la Agroecología proponen la biofumigación y otras prácticas conservacionistas mucho más conocidas como las rotaciones planificadas.

En este marco, un productor de flores desarrolló un equipo móvil ("Móvil-Vap") de aplicación de vapor en suelos como alternativa al sistema de "placas vaporizadoras" difundido por el INTA.

MATERIALES Y MÉTODO

Se realizó un ensayo de evaluación térmica en seis tratamientos realizados con el equipo de vaporización de suelos "Móvil-Vap" diseñado en un establecimiento florícola de la ciudad de Rosario (2) y dos tratamientos con una "Placa Vaporizadora". La evaluación se realizó dentro de invernaderos de seis metros de ancho y cincuenta metros de largo a través del monitoreo de temperaturas de suelo a distintas profundidades sobre una cama de siembra preparada y regada con anticipación. El registro de temperaturas se realizó con un sistema de adquisición de datos "Fluke 2285 C" y termocuplas tipo "T" (norma NBS).

Como complemento del análisis se realizaron determinaciones de humedad del suelo a distintas profundidades y recuento de patógenos (*Fusarium*) antes y después de los tratamientos con vapor.

Equipo "Movil-Vap"

El sistema consiste en aplicar vapor de agua en el suelo hasta una profundidad de 20 cm a través de un aplicador móvil. Éste,

consiste básicamente en una caldera transportable y un dispositivo móvil para la aplicación en el suelo.

El equipo aplicador consta de un bastidor montado sobre ruedas en el cual se fijan los órganos activos de vaporización y un tubo distribuidor del vapor proveniente de la caldera. El ancho de labor es de tres metros donde se distribuyen 13 órganos aplicadores separados 20 cm. entre sí (Figura 1). La presión de vapor a la entrada del equipo es de 2 Kg./cm².

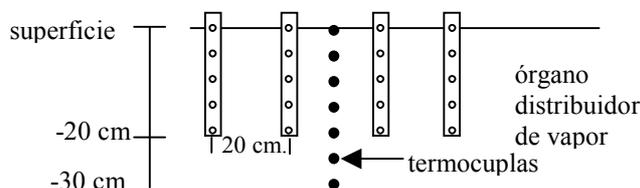


Figura 1: Esquema de los órganos vaporizadores y distribución de termocuplas

Cada órgano distribuidor de vapor consta de un cuerpo vertical de acero con una púa en su extremo inferior que le permite penetrar en el suelo hasta una profundidad de 20 cm y en su parte posterior (en relación al sentido de avance) lleva adosado un tubo perforado por donde se inyecta el vapor. Este tubo posee 5 perforaciones de las cuales la superior está orientada hacia atrás, las tres centrales son bilaterales y la restante se ubica en el extremo inferior.

La forma de operar es la siguiente: se traslada la caldera hasta la zona de aplicación y se conecta al equipo aplicador móvil por medio de una manguera. El equipo es traccionado desde un extremo del invernadero por medio de un malacate de velocidad variable. Durante el tratamiento va arrastrando una cubierta de lona del ancho del equipo y cuyo largo permite tener tapada la superficie tratada durante un cierto tiempo que varía según la velocidad de avance (hasta 2 m/min.).

Las termocuplas, fijas a un soporte de madera, se colocaron en el suelo de manera que los dos distribuidores centrales de vapor pasaran equidistantes al soporte. Se midieron temperaturas entre 0 y -30 cm con una distancia de 5 cm entre sensores.(Figura 1).

En uno de los tratamientos se mantuvo una cobertura de lona sobre la zona tratada para comparar las temperaturas registradas con las del tratamiento sin cobertura.

Los tratamientos analizados son:

- | | |
|---|---|
| 1-Velocidad de avance: 0,5m/min. | Humedad de suelo: 7 % |
| 2-Velocidad de avance: 1m/min. | Humedad de suelo: 7 % |
| 3-Velocidad de avance: 0,5m/min. | Humedad de suelo: 14 % |
| 4-Velocidad de avance: 1m/min. | Humedad de suelo: 14 % |
| 5-Velocidad de avance: 1m/min | Humedad de suelo: 14 %. Con cubierta |
| 6-Velocidad de avance: 0,6m/min. | Humedad de suelo: 14 % |

En cada ensayo, se indica en un gráfico el momento en que al sector monitoreado se le retira la lona que lo cubre desde el momento de paso del equipo vaporizador (destapado).

Placa Vaporizadora

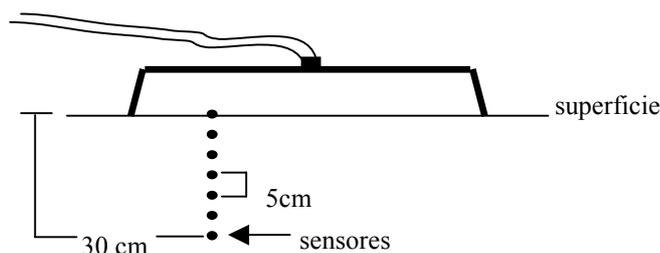


Figura 2 Esquema de la Placa y distribución de sensores

En este sistema se insufla vapor de agua dentro de un recinto de aluminio abierto en su base, llamado “placa” apoyado sobre la superficie del suelo roturado y húmedo. Las propiedades físicas del suelo (textura, estructura) y el grado de humectación inciden sobre la penetración del vapor y la evolución de la temperatura a distintas profundidades.

El sistema consta básicamente de una caldera móvil, las “placas” propiamente dichas y las mangueras de conexión. Las dimensiones de las placas son: 4 m de largo, 0,9 m de ancho (en la base) y 0,4 m de altura (Figura 2)

Operación: Al igual que en el sistema móvil, se traslada la caldera hasta la zona de aplicación y se conecta a las placas ubicadas sobre la superficie a tratar. Se debe tomar la precaución de sellar con tierra el perímetro para evitar fugas de vapor.

Temperatura de trabajo de la caldera: 130 C

Presión de trabajo: 3 bares

Tiempo de aplicación: 15 minutos

Con este sistema se realizaron dos tratamientos (7 y 8) con distinta humedad de suelo (7% y 14%)

RESULTADOS

Los gráficos muestran las curvas de temperaturas medidas en los siguientes puntos:

Aire ambiente dentro del invernadero: (Tamb)

Suelo:

Superficie (T0); -5cm (T5); -10 cm (T10); -15 cm (T15); -20 cm (T20); -25 cm (T25); -30 cm (T30)

Equipo "Movil-Vap"

Tratamiento 1: (0,5 m/min.-7% humedad)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
9:00	6,93
11:00	9,49
12:00	8,74
14:00	8,93
15:00	9,07
17:00	7,73

El suelo se encuentra humectado en los primeros 10 cm y seco hasta los 30 cm donde se encuentra la termocupla mas profunda, por lo que los valores de humedad promedio son bajos y por lo tanto la conductividad térmica disminuye significativamente a partir de los 10 cm.

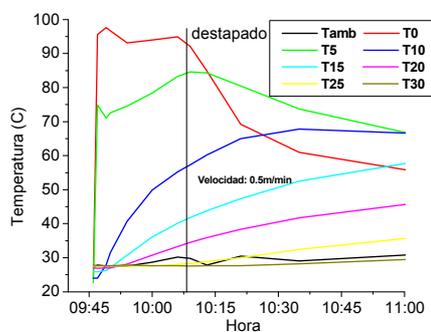


Gráfico 1: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 75 min

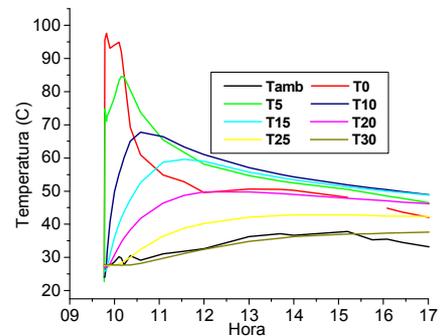


Gráfico 2: Temperaturas de suelo. Total periodo medido

Se observa un rápido calentamiento hasta los 5 cm y un poco más lento a 10 cm. Hasta los 10 cm se sostiene la temperatura por encima de los 60 C entre las 10:15 y las 12:15 hs.

De 15 a 20 cm la escasa humedad solo permite un lento aumento de la temperatura. Por debajo de 20 cm, donde no llega el distribuidor de vapor, la falta de humedad impide que la temperatura aumente considerablemente.

En superficie y a 5cm se produce una rápida caída de temperatura luego de retirar la lona. Esto no sucede a mayor profundidad. (Gráficos 1 y 2).

La brusca caída de la temperatura superficial (T0) se debe a la influencia directa del aire ambiente ya que el sensor se encuentra ubicado en la zona de transición aire-suelo. Cabe suponer que a partir de 2 o 2,5 cm la curva de temperatura sea similar a la de 5 cm.

Tratamiento 2: (1 m/min.-7% humedad)

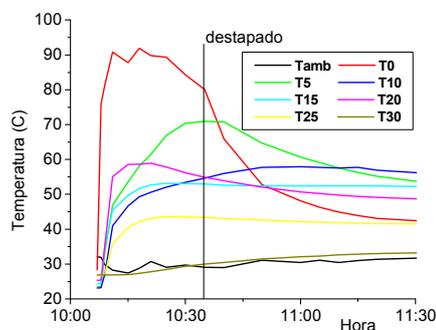


Gráfico 3: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 90 min.

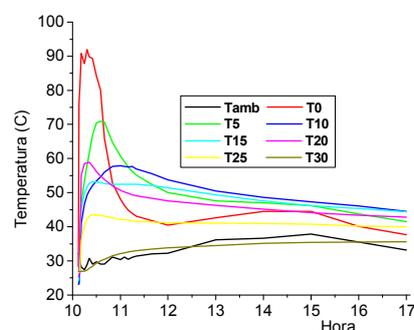


Gráfico 4: Temperaturas de suelo. Total periodo medido

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
9:00	6,93
11:00	9,49
12:00	8,74
14:00	8,93
15:00	9,07
17:00	7,73

Este tratamiento fue realizado a escasa distancia del anterior variando la velocidad de arrastre del equipo a dos metros de distancia de los sensores. Se repiten las condiciones de suelo del ensayo anterior.

En general se observa una caída más rápida de la temperatura entre 0 y 20 cm. Los valores máximos obtenidos en los distintos niveles son inferiores a los obtenidos en el ensayo anterior (0,5 m/min.).

A 10 cm. de profundidad no se logra superar los 60C aunque la curva sigue ascendente luego de destapar la zona tratada. (Gráficos 3 y 4)

A 15 y 20 cm las curvas comienzan a declinar antes de destapado a diferencia del tratamiento anterior que a la misma profundidad continúan en ascenso.

Tratamiento 3: (0,5 m/min.-14% humedad)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
8:45	13,87
10:20	15,34
11:20	15,94
13:40	17,79
15:00	20,76

El mismo sector de invernadero utilizado fue vuelto a regar quedando los sensores ubicados en el lugar para repetir ambos ensayos al día siguiente.

El riego produjo una mayor humectación hasta 10 cm sin penetrar a mayor profundidad.

Los datos de humedad reflejan un valor promedio.

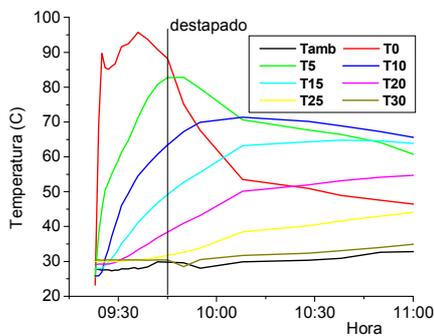


Gráfico 5: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 90 min

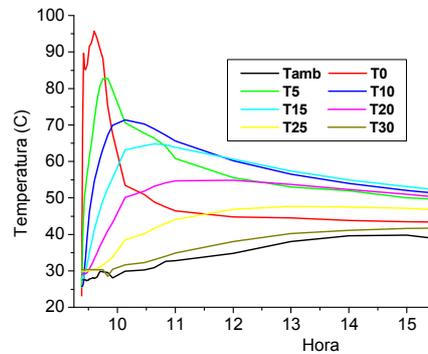


Gráfico 6: Temperaturas de suelo. Total periodo medido

En general, se observa un comportamiento similar al tratamiento realizado a igual velocidad. (Gráficos 5 y 6)

Hay una notoria mejoría en las curvas de 10, 15 y 20 cm relacionada con una mayor conductividad por efecto del riego.

Tratamiento 4: (1 m/min.-14% humedad)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
8:45	13,87
11:00	12,91
12:20	13,85
13:40	14,54
15:00	11,64

Las condiciones iniciales son las mismas que las del tratamiento 3 realizado el mismo día.

La temperatura superficial llega a 80 C cayendo rápidamente a menos de 60 antes de retirar a cobertura de lona.

Las temperaturas registradas hasta los 15 cm. apenas superan los 60 C durante un corto tiempo. (Gráfico 7)

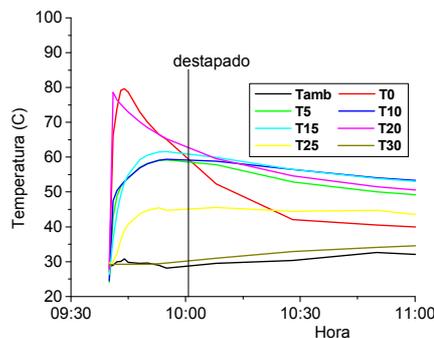


Gráfico 7: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 90 min.

Tratamiento 5: (1 m/min.-14% humedad. Con cobertura)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
8:45	13,87
12:00	15,94
13:40	12,87
15:00	17,01

Este tratamiento fue realizado en otro sector del mismo invernadero donde las condiciones de humedad eran más homogéneas en el perfil pero igualmente insuficientes para el tratamiento con vapor.

A diferencia de los tratamientos anteriores, la lona permaneció sobre el suelo tratado algo más de tres horas.

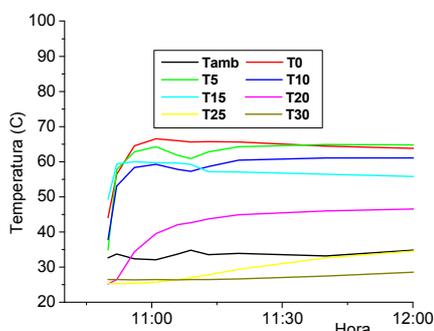


Gráfico 8: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 90 min.

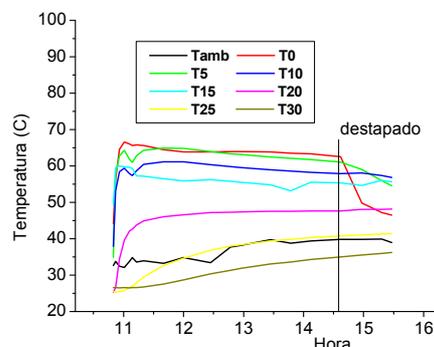


Gráfico 9: Temperaturas de suelo. Total periodo medido

Si bien las temperaturas logradas no fueron muy altas por deficiencia de humedad en el suelo, se observa que la cubierta disminuye las pérdidas de calor por conducción y radiación evitando la caída brusca de temperatura en la zona superficial y acercando las curvas entre 0 y 15 cm. (Gráficos 8 y 9)

Tratamiento 6: (0,6 m/min.-14% humedad)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
16,31	13,88
16:40	18,77

Este tratamiento fue realizado en otro invernadero cuyo suelo fue preparado para el tratamiento de igual manera que los anteriores excepto que el riego fue realizado con anterioridad y en forma más abundante lo cual redundó en una buena humedad hasta los 25 cm y una granulometría homogénea.

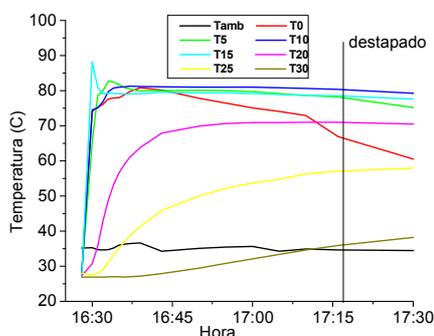


Gráfico 10: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 60 min.

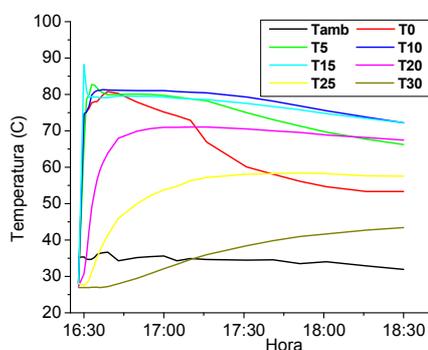


Gráfico 11: Temperaturas de suelo. Total periodo medido

Las condiciones óptimas de humedad para el tratamiento quedan demostradas en los valores de temperatura obtenidos hasta los 25 cm y la similitud de las curvas entre 0 y 15 cm.

Aún a 25 cm se logran temperaturas altas con una persistencia muy importante en el tiempo.

A diferencia de los tratamientos anteriores, las mejores condiciones físicas y humedad óptima del suelo, hacen que no se produzcan picos de altas temperaturas en las capas superiores en los primeros minutos luego de la vaporización sino un comportamiento más homogéneo entre 0 y 15cm.

Ensayo Placa Vaporizadora

Tratamiento 7 (7% humedad)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
9:00	6,93
11:00	9,49
12:00	8,74
14:00	8,93
15:00	9,07
17:00	7,73

Las condiciones del suelo son las mismas que para los tratamientos 1 y 2 realizados con el equipo "Movil-Vap"

Las recomendaciones de uso para esta placa, indican que el suelo debe estar bien humectado por lo cual puede considerarse que este ensayo no fue realizado en condiciones óptimas.

Se observa un rápido calentamiento de la capa superficial durante la aplicación del vapor que decae al finalizar la misma. Los valores de temperatura se mantienen por encima de 60 C hasta el momento de retirar la cobertura plástica.

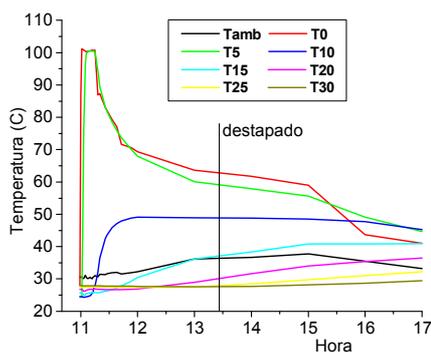


Gráfico 12: Temperaturas de suelo. Total período medido

Se observa un rápido calentamiento de la capa superficial durante la aplicación del vapor que decae al finalizar la misma. Los valores de temperatura se mantienen por encima de 60 C hasta el momento de retirar la cobertura plástica.

A 10 cm se observa una elevación de la temperatura coincidente con el final de la aplicación y llegando a valores próximos a 50 C que se mantienen prácticamente constantes por más de cuatro horas.

A mayor profundidad no se observa respuesta al tratamiento debido al escaso contenido de humedad.

Tratamiento 8: (14% humedad)

Humedad promedio del suelo	
Hora	Humedad (%)
8:45	13,87
13:40	15,36
15:00	15,88

Este tratamiento se realizó a pocos metros del lugar que se utilizó para el ensayo con cubierta permanente (equipo Movil-Vap).

Este sector del invernadero presentaba mejores condiciones de humedad pero aún insuficientes para las necesidades de esta técnica. En este caso la cobertura plástica se mantuvo durante 3,5 horas.

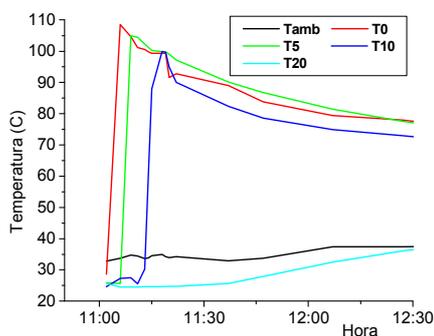


Gráfico 13: Temperaturas de suelo desde aplicación hasta 90 min.

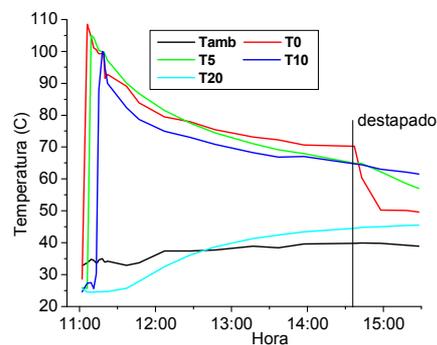


Gráfico 14: Temperaturas de suelo. Total período medido

Se observa en superficie (T0 y T5) un comportamiento muy similar de las curvas. A 10 cm se produce un retardo de escasos minutos para llegar al pico máximo y luego una declinación similar a la superficial.

No se dispone de datos a 15 cm por falla del sensor pero cabe suponer que la curva de temperaturas puede ubicarse por encima de la de 20 cm (T20) con un comportamiento similar, es decir un aumento progresivo debido a la transmisión del calor desde las capas superiores.

Recuento de población de *Fusarium*

Para corroborar la efectividad de los tratamientos se efectuó un recuento de unidades formadoras de colonias de *Fusarium* a partir de muestras de suelo tomadas antes y después de los tratamientos con ambos sistemas.

Población de <i>Fusarium</i> (expresada en unidades formadoras de colonias)				
Tratamiento	-10 cm		-25cm	
	Pre Trat.	Post Trat	Pre Trat.	Post Trat
Movil - Vap	2566	140	3800	242
Placa	2737	0	2125	1580

CONCLUSIONES

Tratamientos con "Móvil Vap".

En las condiciones del ensayo, los factores incidentes más destacados son:

- 1 Contenido y distribución de humedad en el suelo ya que incide directamente en la conductividad térmica.
- 2 Condiciones físicas del suelo. Incide directamente en la distribución de vapor
- 3 Velocidad de arrastre del equipo. Incide sobre la cantidad de vapor aplicado por unidad de superficie.
- 3 Tiempo de permanencia de la cobertura. Incide sobre las pérdidas de calor que se producen especialmente en la zona superficial.

Sería de suma importancia realizar un ensayo similar durante el invierno ya que las bajas temperaturas de suelo y aire tendrán una influencia significativa en el resultado.

Tratamiento con Placa vaporizadora

Queda demostrada la necesidad de contar con buena humedad en todo el perfil para lograr calentar las capas mas profundas debido a que el vapor eleva la temperatura superficial y desde allí se trasmite hacia abajo en presencia de agua. Por la misma razón es importante la presencia de una cubierta superficial luego del tratamiento para disminuir las pérdidas de calor hacia el ambiente y mejorar el proceso de calentamiento de las capas inferiores.

Si bien la eficacia de ambos sistemas, en las condiciones del ensayo, queda demostrada con los resultados del recuento de *Fusarium*, quedan varios interrogantes abiertos en cuanto a su eficiencia desde el punto de vista energético y agronómico.

No caben dudas que frente a lo que significa la liberación de Bromuro de metilo a la atmósfera, la aplicación de vapor resulta una alternativa superadora en lo que hace al cuidado del medio ambiente y la salud humana.

Desde el punto de vista agronómico, sin embargo, el tipo de intervención que se realiza no sigue un criterio conservacionista ya que las altas temperaturas afectan a toda la microflora y microfauna del suelo y además, la tracción del equipo móvil y la difusión del vapor requieren una roturación que incide drásticamente sobre la estructura del suelo.

Esta técnica es un avance importante como alternativa al uso de bromuro de metilo dentro del modelo agrícola intensivo caracterizado por el uso masivo de agroquímicos, la producción bajo cubierta y alto consumo de energía.

Agradecimientos

Al señor Edgardo Lalic y al personal de su establecimiento por hacer posible la realización del ensayo.
A los Ing. Agr. Mario Morandi y Rodolfo Grasso por su iniciativa, aportes y colaboración.

REFERENCIAS

- (1)Szczesny A.; Valerio A (2002). Sobre el bromuro de metilo y su eliminación. Visión Rural, Año X N° 46
- (2) Establecimiento florícola de Edgardo Lalic. Rosario. Telefax: (0341) 4563670. E-mail: info@movilvap.com.ar

BIBLIOGRAFÍA

- Katan J.; Fishler G. y Grinstein A. (1983). Short and long-term effects of soil solarization and crop sequence on *Fusarium* kilt and yield off cotton in israel. Phitopathology 73, 1215-1219.
- Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria (INTA), Oficina del Programa Ozono de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (1998) Proyecto PROZONO.
- Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria (INTA), Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Industria (ONUUDI) (2000). Proyecto Tierra Sana

ABSTRACT: Substitution of methyl Bromide in soil treatments generated the need to promote or develop alternative techniques based on specific policies. Present work presents the monitoring of soil temperature during the application of vapor with two different devices, one static and the other mobile, for the control of pathogens. Both systems were compared in a greenhouse, under the same climatic and soil conditions. The mobile equipment, which allows a deeper vapor application, showed a better distribution of the soil temperature profile. The static unit, which applies vapor on the soil surface, is very effective in the upper layers, being strongly dependent of the soil physical properties and moisture content. For both systems, the use of a cover, decreases the rate of temperature decay after the vapor application. Pathogen count showed that both systems are effective for soil treatment, to within the soil depth that each one can reach

Keywords:soils, Methyl Bromide, vapor, pathogens