

# APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



# Capítulo 5

## Alternativas para el manejo de patógenos de suelos en los sistemas hortícolas

Leticia Rubio, Roberto Bernal, Jorge Arboleya y Diego Maeso

### 1. Introducción

La horticultura es una actividad intensiva en el uso de recursos y especializada. En general, se realiza más de un cultivo por año, o un cultivo de ciclo largo en un mismo cuadro o invernáculo, lo que implica varias labores de preparación del suelo, una alta extracción de nutrientes y pérdida de materia orgánica, necesidad de riego, entre otras medidas de manejo. Este manejo conduce al deterioro del recurso suelo y consecuentemente, al aumento de patógenos que limitan la productividad de los cultivos.

La producción hortícola de Uruguay se realiza en las zonas sur (Canelones, Montevideo y San José) y en el norte del país (Salto y Bella Unión), se extiende sobre 9.774 ha y ocupa 2.430 productores. El 66% de la producción se genera en la zona sur y esta es mayoritariamente proporcionada por cultivos a campo, principalmente cebolla, boniato, zanahoria y zapallo. La zona norte, con el 34% de la producción, concentra la producción protegida, con cultivos de tomate, pimiento, zapallito, frutilla y berenjena (DIEA, 2015).

En la zona sur, la producción de cultivos a campo ha utilizado ampliamente el laboreo convencional (arado de rejas, rastras y rotovador en elevado número de veces), manejo que ha contribuido a la degradación del suelo, disminuyendo sus propiedades físicas y generando procesos erosivos (Arboleya *et al.*, 2010). En este sentido, a partir del año 2000 se han desarrollado numerosas investigaciones tendientes a implementar distintas prácticas tecnológicas para revertir los procesos de degradación del suelo, tales como la inclusión de abonos verdes, el laboreo reducido y

el uso de enmiendas orgánicas. Los problemas sanitarios, fundamentalmente de malezas en etapa de almácigos, han constituido otra limitante para los cultivos del sur y han requerido de la implementación de nuevas técnicas para la desinfección de suelos.

En la zona norte, la horticultura protegida tuvo sus primeras experiencias en la década de 1970; paulatinamente, se fue incrementando y se generalizó en la de 1990. Esta tecnología permitió extender la temporada de cultivos, producir en contra-estación y mejorar la calidad de las hortalizas comercializadas. Actualmente, hay unas 400 ha de invernaderos en los alrededores de Salto y Bella Unión y 300 ha en el sur del país (DIEA, 2015), en las que se cultiva esencialmente tomate y morrón. Estos sistemas productivos hacen un uso intensivo del suelo pues los invernaderos son estructuras costosas que permanecen en el mismo lugar por lo menos diez años; por lo tanto, se procura tener cortos intervalos de tiempo sin cultivos. Con los años, la intensificación del uso del suelo y la estructura protegida han acentuado algunos problemas como: la degradación del suelo por exceso de sales, la disminución de la materia orgánica y el aumento de plagas y enfermedades. Algunas enfermedades de suelo se tornaron complejas de manejar y causaron importantes pérdidas y los nematodos se convirtieron en un gran problema. Con la aparición del bromuro de metilo, fumigante utilizado para la desinfección de suelos, las limitantes sanitarias fueron controladas durante varios años. Se trataba de un producto de rápida acción, amplio espectro y fácil aplicación. Las ventajas de manejo y su eficiencia para control de nematodos, malezas y algunos hongos de suelo, determinaron que muchos productores lo adoptaran y fueran dependientes de su uso. No obstante, al constatar que el bromuro de metilo, además de ser peligroso para la salud y de ser un biocida no selectivo, era perjudicial para la capa de ozono, se firmaron acuerdos para disminuir progresivamente su aplicación hasta la prohibición total de su utilización. En este contexto, fue necesario recurrir a la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes para la desinfección de suelos hortícolas. En el año 1999 se comenzó un proyecto demostrativo (INIA-ONUDI-DINAMA) de tecnologías alternativas al bromuro de metilo en Salto y Bella Unión, donde se instalaron diferentes manejos químicos, físicos, biológicos y combinaciones de ellos, con el objetivo del control de plagas de suelos en una forma sustentable.

## 2. Métodos de desinfección de suelos

Las alternativas para la desinfección de suelos pueden clasificarse en:

- **Químicas:** en general son productos fumigantes de amplio espectro, que ofrecen una solución rápida y eficiente, pero cuestionados por sus efectos ambientales adversos. Entre ellos se encuentran los principios activos: 1,3 dicloropropeno/cloropicrina, metam sodio, yoduro de metilo, algunos fosforados y abamectina.
- **Físicas**
  - Solarización y colector solar, que utilizan la energía solar para calentar el suelo o sustrato y desinfectarlo.
  - Vapor de agua: se utiliza un flujo de vapor que pasa a través del suelo o sustrato, elevando su temperatura para desinfectarlo.
- **Biológicas**
  - Biofumigación: combina la solarización y la descomposición de materia orgánica incorporada al suelo.
  - Microorganismos, tales como *Trichoderma* y *Azospirillum*, aplicados al suelo para combatir patógenos.

## 3. Alternativas físicas y biológicas utilizadas para la desinfección de suelos hortícolas en Uruguay

### 3.1. Solarización

Esta técnica se basa en el calentamiento del suelo a una temperatura de entre 36 y 50 °C en los primeros 30 cm, mediante la radiación solar, con la finalidad de controlar organismos patógenos. Este incremento de la temperatura resulta letal para muchos patógenos, semillas y nematodos (Pullman *et al.*, 1981). Además, la solarización provoca cambios favorables en las poblaciones y actividades microbianas, y en las propiedades físicas y químicas del suelo, mejorando el desarrollo, el crecimiento y la productividad de los cultivos (De Vay y Katan, 1991).

La técnica consiste en cubrir un suelo, que debe permanecer húmedo, con un polietileno fino y transparente, quedando expuesto a la luz solar durante los meses con mayor radiación solar (Figura1). La efectividad del método depende de la duración del día, la intensidad solar, las características del plástico y del tipo de suelo (Bernal, 2005; Casanello, 2003).

Las temperaturas en el suelo solarizado son 5-15 °C mayores comparadas con las del suelo no solarizado (Katan y Gamliel, 2012). En suelos

solarizados donde se ha logrado buen control de malezas y enfermedades, las temperaturas máximas obtenidas se sitúan en torno de 45 a 50 °C y 38 a 45 °C a profundidades de 10 a 20 cm, respectivamente.

## ¿Cómo se realiza la solarización?

Es importante una buena preparación del suelo (no debe quedar compactado y no debe haber terrones), de forma de lograr una buena colocación del polietileno y un calentamiento homogéneo. El polietileno debe colocarse bien tensado y sellado para evitar la presencia de espacios de aire entre él y el suelo, pues estos espacios se tornan en una capa aislante que reduce la absorción de radiación y el calentamiento del suelo, lo cual reduce el efecto de solarización (Figura 2). En el caso de invernaderos, es recomendable que cubra toda la superficie y no solo los canteros, de modo de evitar que queden zonas desprotegidas y con potencial presencia de inóculo (efecto borde). Es aconsejable utilizar polietileno ultravioleta (UV) transparente de 35-40 micrones de espesor. Se debe mantener el suelo húmedo, en al menos 50 cm de profundidad, durante todo el tratamiento, ya que la humedad aumenta la conductividad del calor en el suelo. Cuando la técnica se realiza en invernaderos, estos deben permanecer cerrados y sin roturas.

### 3.1. Biosolarización y biofumigación

La **biofumigación** consiste en suprimir patógenos de suelo mediante sustancias químicas volátiles liberadas por la descomposición de residuos orgánicos (Mitidieri, 2005). Existe una amplia lista de residuos orgánicos que se pueden usar con tal fin como estiércoles, abonos verdes (sorgo y maíz), brásicas y restos de cultivos. La técnica en sí consiste en enterrar la materia orgánica fresca, a razón de 5-10 kg/m<sup>2</sup>, a una profundidad de unos 25 cm (Figura 3). Posteriormente, se riega y se mantiene la humedad para retener los gases que la materia orgánica desprende en su descomposición.

Se ha comprobado que esta técnica mejora la estructura del suelo, promueve el crecimiento radicular del cultivo y estimula la actividad de los microorganismos benéficos. Sus efectos son duraderos y pueden servir para más de un cultivo, siendo acumulativos a largo plazo. La efectividad de las enmiendas depende de su composición (en general tienen baja relación carbono (C)/nitrógeno (N), menor a 20), del estado de hidrata-

ción de los residuos antes de su incorporación al suelo, de su concentración y del tiempo de exposición.

La **biosolarización** es la acción combinada de la solarización y la biofumigación, o sea, es la incorporación al suelo de diferentes materiales orgánicos (estiércoles, abonos verdes, restos de cultivos, etc.) y su posterior cobertura con polietileno transparente de 35-40 micrones.

**FIGURA 1.** SOLARIZACIÓN EN INVERNÁCULO (IZQUIERDA), SOLARIZACIÓN EN CANTEROS PARA CEBOLLA O FRUTILLA (DERECHA)



*Fuente: Elaboración propia.*

**FIGURA 2.** COLOCACIÓN DEL POLIETILENO EN LOS CANTEROS A SOLARIZAR



*Fuente: E. Vicente y J. Arboleya.*

**FIGURA 3.** CULTIVOS DE SORGO Y COLZA UTILIZADOS PARA REALIZAR BIOSOLARIZACIÓN.



*Fuente: E. Vicente.*

## **Experiencias de solarización y biosolarización para la desinfección de suelos hortícolas en Uruguay**

### ***Zona norte***

En la década de 1980, Bernal hizo las primeras experiencias de solarización en la Estación Experimental Litoral Norte, Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Luego, ambas técnicas fueron evaluadas por INIA a través de distintos proyectos como métodos de desinfección de suelos en sistemas protegidos de Salto y Bella Unión, entre 1999 y 2005.

Se evaluó el efecto de la solarización y de la solarización más la incorporación de distintas fuentes de materia orgánica (maíz, sorgo, brócoli, compost, restos de tomate y pimiento, gallinaza y cáscara de arroz) sobre el control de nematodos y otros patógenos, el rendimiento del cultivo y la presencia de microorganismos benéficos.

Los periodos de solarización fueron de 3 a 5 semanas. La efectividad de estos tratamientos fue evaluada a través de la contabilización del número de nematodos, raíces con presencia de agallas, población de bacterias benéficas, presencia de enfermedades y rendimiento comercial (número y peso de fruta).

Los resultados demostraron que la solarización por sí sola fue una medida efectiva para el control de nematodos y otros patógenos, alcanzando temperaturas de hasta 65 °C en los primeros 5 cm del suelo. Sin embargo, la incorporación de algunas enmiendas orgánicas, como el maíz y la gallinaza, permitió aumentar la temperatura del suelo con respecto a la solarización por sí misma, por lo que en años en que las con-

diciones no son buenas para la solarización (baja radiación), el agregado de enmiendas tiene un efecto positivo. Además, se observó que todas las enmiendas utilizadas mejoraron las propiedades físicas del suelo y contribuyeron a un mayor desarrollo radicular. El compost y la cáscara de arroz no controlaron satisfactoriamente a los nematodos; sin embargo, los rendimientos del cultivo fueron similares a los logrados con los tratamientos con fumigantes, quizás, porque estos tratamientos contribuyeron seguramente a una mayor exploración radicular. En cuanto a las enmiendas evaluadas, la biosolarización con brócoli y con restos de maíz (5-10 kg/m<sup>2</sup>) tuvo igual o mejor control de nematodos y rendimiento comercial que los fumigantes (Tabla 1), por lo que son manejos altamente recomendados. Finalmente, las incorporaciones sucesivas de enmiendas orgánicas con solarización aumentaron la población de bacterias benéficas y mejoraron las propiedades físicas del suelo.

Estos trabajos permitieron concluir que la solarización y la biosolarización son métodos efectivos para la desinfección de suelos hortícolas en el norte del país. Para maximizar su eficiencia deben realizarse desde mediados de diciembre y hasta fines de enero, y por un periodo de al menos 30 días (Bernal *et al.*, 2003). Actualmente, aproximadamente el 90% de los productores de cultivos protegidos del norte del país aplica la solarización.

**TABLA 1.** EFECTO DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS SOBRE EL RENDIMIENTO, LA NODULACIÓN DE RAÍCES, Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (MO) Y NITRATOS

Tratamiento	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )	Índice de nodulación*	M.O. %**	Nitratos
Maíz + Solarización	8.5 a	0.3 b	1,64	33
Cáscara de arroz	7.5 b	5.4 a	1,99	18
Bromuro de metilo	7.0 bc	0.6 b	1,21	18
Metam sodio + Solarización	6.8 bc	5.5 a	1,55	18
Testigo	6.0 c	7.0 a	1,39	17

Notas:

\* Nodulación de raíces por nematodos, según escala de Bridge y Page (1980).

\*\* Porcentaje de materia orgánica.

Los tratamientos seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes, LSD al 5%.

Fuente: Bernal *et al.* (2005).



### Zona sur

En la zona sur del país, la solarización se implementó en la década de 2000, para el control de enfermedades y malezas en canteros para almácigos de cebolla. Se logró una reducción muy significativa en el número de malezas en canteros solarizados (Tabla 2), efecto que se mantuvo en los 100 días posteriores a levantar el polietileno de los almácigos. Los tratamientos solarizados alcanzaron, en los primeros 5 cm de suelo, temperaturas superiores a 60 °C (Figura 4), mayores a las que se citan como necesarias para afectar la germinación de las malezas. Se concluyó, además, que el periodo de solarización de 30 días es adecuado y reduce significativamente el banco de semillas de malezas, siendo más efectivo si se realiza antes de que finalice el mes de enero (Arboleya, 2018).

**TABLA 2.** NÚMERO DE MALEZAS POR METRO CUADRADO DE CANTERO SOLARIZADO Y NO SOLARIZADO EN ALMÁCIGOS DE CEBOLLA

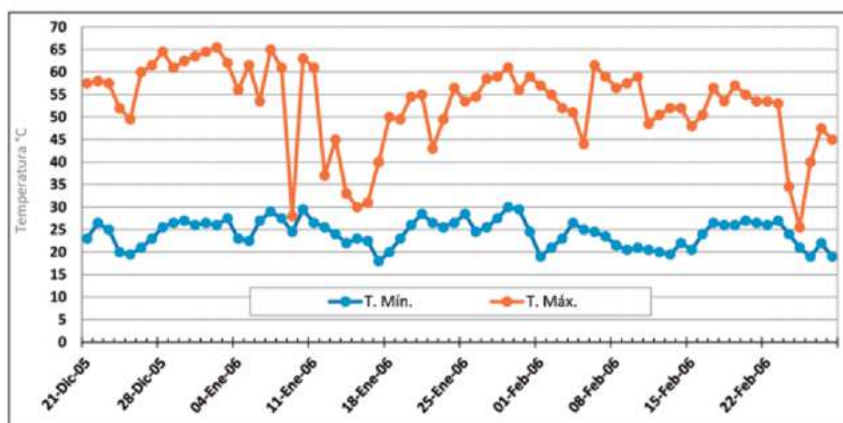
Tratamiento	N° de malezas/m <sup>2</sup>		
	sitio 1	sitio 2	sitio 3
Sin solarización	760	350*	6934
Solarización + Riego	3	6	0
Solarización, sin riego	0	25	118

Notas:

\* Con 3 aplicaciones de glifosato.

Fuente: Arboleya (2018).

**FIGURA 4.** TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA A 5 CM DE PROFUNDIDAD EN SUELO SOLARIZADO



Fuente: Arboleya (2018).

En cuanto al efecto de la solarización para el control del nematodo del tallo (*Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filip.) en los almácigos de cebolla, la técnica no fue 100% efectiva; sin embargo, redujo significativamente la enfermedad. Si bien la solarización reduce los problemas de este nematodo, debe complementarse con alguna otra medida, como puede ser la rotación con otras especies no hospederas, para mejorar su control.

Otro problema sanitario de los almácigos de cebolla lo constituye la podredumbre blanca causada por el hongo *Sclerotium cepivorum* Berk., el cual produce estructuras de resistencia llamadas esclerotos, que pueden sobrevivir en el suelo y en restos de cultivo por cinco a seis años. La incidencia de podredumbre blanca y el número de esclerotos/100 g de suelo fueron evaluados tras distintos periodos de solarización. Se observó que la incidencia de la enfermedad y el número de esclerotos tuvieron una reducción significativa en las parcelas en las que se solarizó consecutivamente y que por el contrario el beneficio se pierde gradualmente al dejar de solarizar (Tabla 3).

**TABLA 3.** NÚMERO DE ESCLEROTOS/100 G DE SUELO EN EL MOMENTO DE SEMBRAR EN TRES TEMPORADAS

	Temporada de siembra		
	2012	2013	2014
No solarizado	13	36 a	29 a
Solarizado 1 año (2011)	4	14 ab	19 b
Solarizado 2 años (2011, 2012)	3	12 b	15 b
Solarizado 3 años (2011, 2012 y 2013)	4	8 b	3 c

*Nota:* Los tratamientos seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes, LSD al 5%.

*Fuente:* Arboleya (2018).

La solarización constituye una técnica eficiente y eficaz para desinfectar canteros de almácigos de cebolla, ya que controla malezas y reduce significativamente los problemas por nematodos y podredumbre blanca, por lo que es una técnica ampliamente usada.

## 4. Consideraciones finales

Actualmente, se dispone de varios métodos alternativos a los tradicionales fumigantes para el control de patógenos de suelos, estos pueden usarse solos o complementarse. La solarización y biosolarización en nuestros sistemas productivos han demostrado alta eficiencia para el control de malezas y nematodos, así como un incremento en los niveles de nutrientes y de organismos antagonistas en el suelo. Por ello, la solarización ha sido adoptada por un gran número de productores como herramienta fundamental antes de instalar un cultivo. Además de los beneficios mencionados, estas prácticas de manejo garantizan la seguridad alimentaria y el cuidado del ambiente y, aunque son procedimientos que requieren planificación y tiempo, en el mediano y largo plazo se vuelven equilibrados, sustentables y más rentables.

## Referencias

### **Arboleya, J.**

(2018), *Solarización: una técnica de manejo integrado de malezas y plagas en horticultura*, Serie técnica 245, INIA, Montevideo.

### **Arboleya, J., Gilsanz, J., Allauime, F., Leoni, C., Falero, M. y Guerra S.**

(2010), *Manejo sustentable en la producción hortícola intensiva*, Serie Actividades de Difusión 624.

### **Bernal, R.**

(2005), "Solarización: una alternativa al bromuro de metilo", *Revista INIA*, 5.

### **Bernal, R., Mendoza, Y. y Orihuela, C.**

(2003), *Alternativas al Bromuro de Metilo*, Serie Actividades de Difusión 340. Proyecto INIA, ONUDI, DINAMA.

### **Casanello, M. E.**

(2003), *Solarización*. Disponible en: <<http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/publica/Solarizacion.pdf>>.

### **De Vay, J. y Katan, J.**

(1991) *Soil Solarization*, CRC Press, Boca Ratón (Florida, EE. UU.).

### **DIEA**

(2015), *Anuario Estadístico de DIEA 2015*. Disponible en: <<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/resultados-encuesta-horticola-litoral-norte-2016>>.

### **Katan, J. y Gamliel, A.**

(2012), *Soil Solarization: Theory and Practice*, American Phytopathological Society, St. Paul (Minnesota, EE. UU.).

### **Mitidieri, M.**

(2005), "La biofumigación en el marco del manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos hortícolas", INTA, Buenos Aires. Disponible en: <[https://inta.gob.ar/sites/default/files/intasp-mitidieri\\_ms-biofumigacion-ed2005.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/intasp-mitidieri_ms-biofumigacion-ed2005.pdf)>.

### **Pullman, G., De Vay, J. y Garber, R.**

(1981), "Soil solarization and thermal death: a logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens", en *Phytopathology*, 71, pp. 959-964.