

Técnica relativamente reciente descrita como un método para controlar los microorganismos patógenos del suelo.

Solarización

VICENT CEBOLLA

Departamento de Protección Vegetal y Biotecnología del IVIA.
cebolla_vicros@ivia.gva.es



Enterrando los dos borde juntos para después desplegar "tipo libro"

La agricultura tradicional ya propugnaba desde tiempos antiguos la rotación de cultivos evitando la repetición de especies cultivadas en periodos largos de al menos 4 años para reducir los efectos que hacen que los suelos se fatiguen y reduzcan su productividad. Posteriormente se supo que esta fatiga estaba producida por algunos factores edáficos, químicos y biológicos que se podían corregir con la desinfección del suelo lo que permitía reducir el periodo entre repeticiones del mismo cultivo o incluso llegar al monocultivo.

Actualmente ya quedan pocos agricultores y técnicos, relaciona-

dos con la horticultura, que desconozcan el término solarización, como un método de desinfección del suelo que permite evitar el aumento de microorganismos patógenos de las plantas en un suelo, cuando se repite el cultivo.

Origen de la técnica

La solarización del suelo es un técnica relativamente reciente que fue descrita por primera vez por Katan *et al.* (1976) como un método para controlar hongos patógenos. Más tarde se encontraron otros efectos de esta técnica no menos importantes. Realmente los primeros experimentos estuvieron

diseñados para controlar un patógeno *Verticillium dahliae* en berenjena, tomate y cultivos de algodón.

Bien pronto se observó que el sistema era interesante para controlar también malas hierbas. En los años siguientes la lista de organismos afectados fue ampliada a una gran variedad de hongos, nematodos, fanerógamas parásitas (malas hierbas) o plagas de artrópodos, enfermedades bacterianas, complejos de enfermedades, microorganismos asociados a estados de debilidad, y otros agentes perjudiciales de carácter biótico o abiótico. Como consecuencia de

todo ello aumenta la cosecha y mejora la calidad de los cultivos cuando se ha aplicado la solarización.

Actividad biológica y modo de acción

La actividad biológica de la solarización se debe principalmente a la inactivación térmica de los microorganismos patógenos debido a las altas temperaturas que se alcanzan (DeVay y Katan, 1991) en el suelo. Las plantas vasculares tienen una temperatura límite de unos 45 °C mientras que los hongos resisten unos 60 °C y las bacterias de 70 a 100 °C. Pero el efecto sobre los organismos vivos es función del resultado del producto temperatura x tiempo de exposición. De acuerdo con Pullman *et al.* (1981) la temperatura necesaria para matar el 90 % (LD90) de las estructuras de *R. solani* es de 1 h a 47 °C o unas 120 h a 39 °C y unos pocos minutos a 50 °C, mientras que *V. dahliae* necesita 2 h a 47 °C, 100 h a 39 °C y unos 30 min a 50 °C.

La temperatura alcanzada en el suelo varía, disminuyendo con la profundidad del suelo, la humedad, la temperatura del aire y la radiación solar. También varía a lo largo del día, alcanzando la temperatura más alta después del mediodía y la más baja de madrugada, antes de la salida del sol (Cebolla *et al.*, 1991).

Aunque el papel de la inactivación de proteínas en la supervivencia de microorganismos u otras células vivas durante la solarización parece ser importante, uno de los efectos más importantes de la solarización es el debilitamiento de propágulos fúngicos por temperaturas subletales, que aunque no llegan a destruir totalmente los patógenos, estos pasan a ser más sensibles al ataque de microorganismos antagonistas.

Otros efectos derivados de la solarización

En campos sin problemas patológicos se ha observado una estimulación del crecimiento de las

Desplegando el plástico para solarizar, con ayuda mecanizada



plantas e incluso aumento en rendimientos. Para explicar esta estimulación se han barajado varias hipótesis como el aumento de macro y micronutrientes en la solución del suelo, liberación de fitoreguladores, destrucción de materias fitotóxicas acumuladas en el suelo, eliminación de parásitos no identificados o estimulación de micorrizas (Nair *et al.*, 1990) y otros microorganismos beneficiosos (Kaewruang *et al.*, 1989; Hasan, 1989; Tjamos y Paplomatas, 1987), sin embargo la liberación de sustancias fitoregulatoras no se ha podido comprobar con certeza.

Uno de los efectos más importantes de la solarización es el debilitamiento de propágulos fúngicos por temperaturas subletales, que aunque no llegan a destruir totalmente los patógenos, estos pasan a ser más sensibles al ataque de microorganismos antagonistas

La relativa baja permeabilidad del polietileno a la mayoría de gases hace que el CO₂ se acumule hasta concentraciones 35 veces mayores que en suelos no cubiertos (Rubin y Benjamin, 1981). También es posible que algunas sustancias volátiles acumuladas y calentadas bajo el plástico puedan afectar negativamente los patógenos, ya que intervienen en procesos clave como la fungistasis y el control biológico.

Se ha observado un aumento de concentraciones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, Cl⁻, K⁺, Na⁺ en suelos solarizados (Chen y Katan, 1980) y también NO₃⁻, NH₄⁺ y PO₄³⁻ (Kaewruang *et al.*, 1989; Cartia, 1989).

El amonio parece favorecer la supresión de *Fusarium* spp. después de enmiendas con harina de oleaginosas, y la supresión de *Aphanomyces* spp. está relacionada con los compuestos del azufre. Además el Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ intervienen en la resistencia de las plantas a algunos patógenos del suelo (Wood, 1967).

Chen y Katan (1980) Kaewruang (1989) observaron aumentos de materia orgánica solu-

ble y minerales; el mayor aumento corresponde a NO_3^- y también a NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl^- . No se aprecian cambios en pH, M.O. total, CO_3Na y P asimilable o son mucho pequeños. Sin embargo Stapleton *et al.* (1985) no encuentran variaciones en K^+ , Zn^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , Fe^{+++} y Cl^- en suelos solarizados y tampoco encuentra en el pH, y M.O. total.

Con respecto a los micronutrientes se supone que también pueden aumentar su contenido en la solución del suelo, ya que en suelos solarizados se observa un incremento de compuestos orgánicos solubles que actúan como quelantes de metales pesados (Schnitzer, 1978).

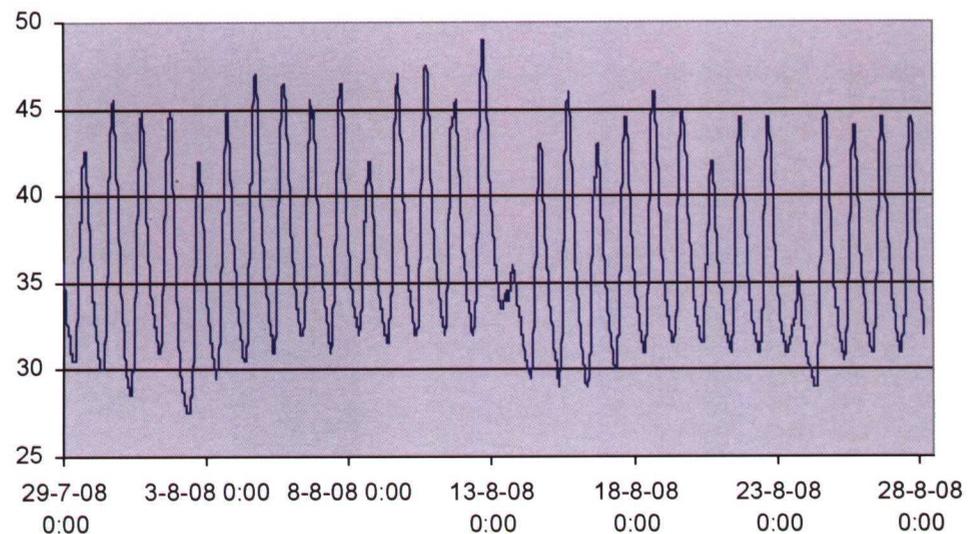
Los efectos estimulantes sobre el cultivo no se aprecian solamente en el cultivo que sigue al tratamiento si no también a los posteriores (Katan *et al.*, 1983; Pullman *et al.*, 1981). Sin embargo se ha visto que los efectos de la solarización sobre la mayor cantidad de nutrientes disponibles no se prolonga en el tiempo por lo que Stapleton y De Vay (1985) consideran que los estímulos de crecimiento observados en las plantas a corto plazo después de la solarización, se deben tanto a la eliminación de factores limitantes biológicos como a una mayor disponibilidad de nutrientes, excepto cuando estos son el factor limitante. En cambio los efectos sobre los cultivos posteriores son más atribuibles a los efectos biológicos, reductores de microorganismos patógenos, insectos y hierbas infestantes, que a los efectos químicos.

Impacto ambiental

Cuando la solarización no llega a temperaturas superiores a los 50 °C, cosa que ocurre a una cierta profundidad, el efecto no es tan fuerte como la desinfección con vapor (entre 80 y 100 °C) y respeta parte de los microorganismos del suelo. Como resultado, la reinfestación de suelos solarizados, por los patógenos a niveles perjudiciales para los cultivos, sufre un retraso comparado con otros

Figura 1:

Temperatura de solarización del suelo a 10 cm de profundidad.



sistemas, como el vapor o el BM. Los patógenos generalmente no son tan competitivos (DeVay y Katan, 1991) como los hongos y las bacterias saprofitas, con parte de sus poblaciones aún establecidas en los suelos solarizados.

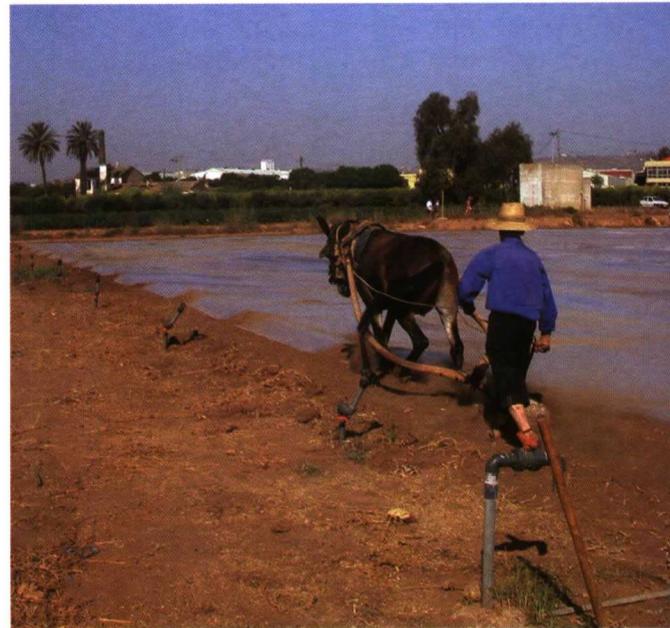
A pesar de eso también algunas bacterias como *Pseudomonas* spp. y *Bacillus* spp. implicados en los suelos supresivos son afectadas por la solarización.

• Modo de aplicación

Para la solarización del suelo se debe aprovechar la mayor radiación y temperatura de los meses del verano (junio, julio y agosto) pues la eficacia disminuye en otoño y primavera y es nula en invierno.

La preparación del terreno debe ser muy esmerada, evitando terrones, pinchos, alambres, cañas, o tallos secos que puedan rasgar o pinchar el plástico.

El método general descrito en Israel (Katan *et al.*, 1976), con suelos generalmente arenosos, recomienda un riego preliminar antes de poner el plástico transparente, de manera que la tierra tenga una buena sazón. El motivo es que la tierra húmeda tiene mejor conductividad térmica y las temperaturas altas llegan a más profundidad.



Tapando el plástico con tracción animal o mecanizada.

La superficie cubierta por el plástico debe cubrir totalmente la parcela a desinfectar, cosa muy difícil de conseguir con la maquinaria actual, pues los sistemas de pegado de las lonas, para mantenerlas herméticamente unidas, no resisten bien los vientos que sufrimos tan a menudo en nuestras comarcas.

La utilización de cintas de plástico, de algunos metros de an-



más conveniente, cuando se pone manualmente, para cubrir totalmente una parcela y así disminuir el efecto borde. El sellado de las lonas debe ser profundo para evitar su arranque por el efecto del viento para lo cual tanto para la apertura de surcos como para el cerrado posterior se recomienda usar maquinaria. A mano nunca se consigue soterrar el plástico lo suficiente para resistir una ventada.

El plástico resulta muy atractivo para muchos animales salvajes o incluso perros que creyendo que aquello es agua tratan de beber y destruyen las lonas. Si hay riesgo de animales sueltos es conveniente disponer algún tipo de protección como vallas o corralitos de hilos o malla para disuadir a los animales de su entrada, o utilizar plásticos de mayor galga que resistan las pisadas de animales.

Un sistema muy empleado en el País Valenciano consiste en po-

■ **Para la solarización del suelo se debe aprovechar la mayor radiación y temperatura de los meses del verano (junio, julio y agosto) pues la eficacia disminuye en otoño y primavera y es nula en invierno**

chura, dejando pasillos en medio no es tan eficaz como la cobertura completa, a causa del efecto borde, el cual se describe más adelante.

El sistema de cobertura en libro, consistente en soterrar dos bordes de plástico, de lonas contiguas juntas para después extenderlas de manera continua, parece el

Bordes punteados con tierra y dispuestos para tapar

ner el plástico en seco y después regar por debajo de la lona, en riego a manta dejando una apertura al extremo contrario a la boquera de entrada, o poniendo las líneas de goteros antes que el plástico en riego localizado. Este sistema permite adaptarse mejor a nuestros tipos de suelo, generalmente más

agrotek

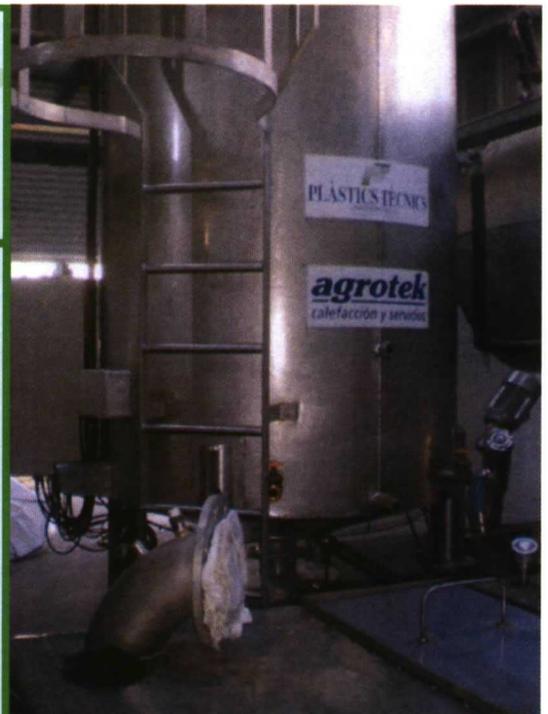
Calderas de condensación por BIOMASA

Plàstics Tècnics i Agrotecnologia, S.L. inició hace veinte años la comercialización de las calderas Agrotek por el sistema de condensación (humos a 40°C) y recuperación del calor de dichos humos.

Hoy presentamos las calderas Agrotek bajo el mismo principio y con Biomasa como combustible.

Al crédito obtenido por las calderas Agrotek a gas queremos añadir el nuevo principio de ignición por Biomasa con un rendimiento de 107% PCI i aprovechamiento de los humos 40°C comprobables a la salida de la chimenea.

Las calderas Agrotek de combustión Biomasa en forma automática son una realidad a vuestra disposición.



PLÀSTICS TÈCNICS I AGROTECNOLOGIA, S.L.
 Camí del Mig s/n. (Pol.Ind. Plà d'en Boet)
 Apdo. de correos 120 - 08300 MATARÓ (Barcelona)
 Tel.93 757 30 25 · Fax 93 757 21 83
 e-mail: info@plasticstecnicos.com
 web: www.plasticstecnicos.com



Máquina repartiendo estiércol.

arcillosos, al tiempo que facilita la posibilidad de combinar la solarización con fumigantes a baja dosis aplicada con la agua del riego, sellando ambos extremos al acabar la aplicación (Cebolla *et al.* 1995).

La solarización en España

El litoral Valenciano y muchas zonas meridionales españolas gozan de un clima suave, con una radiación solar importante en verano, lo que las convierte en lugares convenientes para la solarización.

Los primeros experimentos en solarización del suelo empezaron hacia el año 1980, con resultados contradictorios, sea por un mal uso de la técnica, o por las frecuentes tormentas que aparecen a mediados de agosto y septiembre, que producen un descenso temporal de la radiación solar.

Hay dos razones para el hecho que los labradores no aceptaran fácilmente la nueva técnica; una es el largo tiempo de exposición que hace falta, la otra es el hecho de que en verano muchos de los cultivos están aún en período de cosecha.

La agricultura ecológica acepta fácilmente la solarización como medio para desinfectar el suelo incluso con un largo período de desinfección, porque es una técnica no contaminante. Para los labradores que no practican la agricultura ecológica se hace ne-

cesario acortar el tiempo de solarización para adaptarla a su rotación de cultivos.

a) Sobre la investigación en solarización desarrollada en España

Los equipos de investigación de todas las regiones mediterráneas, Cataluña, Valencia, Murcia y Andalucía han estudiado la solarización, también Las islas Canarias y Aragón, Castilla y Extremadura han contribuido al estudio y extensión de esta técnica.

Muchos de los trabajos tienden a comparar la solarización con técnicas estándar como la fumigación con bromuro de metilo, metam-Na, o 1,3-dicloropropeno. También la combinación con herbicidas para mejorar los resultados ha sido ensayada. Por otra parte se han analizado los efectos del tiempo de exposición desde 15 días a 2 meses en la supervivencia de los patógenos.

b) Temperatura

Algunos estudios permiten

predecir el tiempo necesario para controlar las enfermedades, basándose en la predicción de temperaturas por análisis de Fourier (Cabello y Verdú, 1995), (Cenís, 1989) (López Cosme, *et al.*, 1996) así como prever la eficacia en la mortalidad de larvas de *M. javanica* (Cenís y Argemi, 1988). De esta manera es posible calcular el número de días de solarización necesario para alcanzar un nivel concreto de población de nematodos.

Las temperaturas alcanzadas varían de acuerdo con los autores y metodologías empleadas tal como se muestra en la Tabla 1.

c) Control de hongos

La mayoría de equipos españoles que trabajan con hongos del suelo han investigado la solarización como práctica de desinfección. De acuerdo con Melero *et al.* (1995), la solarización reduce el marchitamiento producido por *Fusarium oxysporum* f. sp. *Niveum* en sandía a niveles muy bajos y las enfermedades de las plantas pueden ser controladas por lo menos un año. En otras investigaciones la solarización durante dos meses controló también el marchitamiento de la sandía (González Torres *et al.*, 1993) y dio una producción de fruta de casi 5 veces la de las plantas en suelos sin solarizar.

La solarización con una duración de un mes reducía el desarrollo de la enfermedad pero sólo daba un poco más del doble que el suelo no desinfectado. La fumigación con metam-Na retrasaba el desarrollo de la enfermedad y triplicaba la cosecha. El estado de las plantas fue mejor en los suelos solarizados durante dos meses que en los suelos que no lo estaban, sugiriendo que hay otros efectos beneficiosos de este tratamiento aparte del control del marchitamiento. La reducción de la población de *Fusarium oxysporum* se ha observado en patata, (Bello *et al.*, 1993). Los estudios en poblaciones de *F. oxysporum* f. sp. *dianthi* (Cebolla *et al.*, 1995) y los efectos en clavel (Cebolla *et al.*, 1993) en inoculación artificial demuestran el interés de la solarización para el

El litoral valenciano y muchas zonas meridionales españolas gozan de un clima suave, con una radiación solar importante en verano, lo que las convierte en lugares convenientes para la solarización

Tabla 1:

Temperaturas °C alcanzadas a diferentes honduras (cm) en regiones Españolas.

Regiones y Autores	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
Aragón (López García et al., 1991)	60		48				42
Andalucía (González Torres, 1993)			48			42	
Andalucía (López Herrera et al, 1994)		46.8		40.3	36.4		
Valencia (Busto del, et al, 1989)*	60						
Valencia (Cebolla et al, 1995)**		47			43		
Murcia (Cenís, 1989)			+2.2	+1.3	+1.4		

+ significa un incremento de temperatura en °C comparada con el suelo no solarizado.

* Valor máximo absoluto alcanzado.

** temperaturas mantenidas por periodos de tiempo de más de una hora bajo doble cubierta plástica (túnel).

control de esta enfermedad. También se mejora el estado sanitario de las plantas y la cosecha de flores. La solarización con la adición de dosis pequeñas de fumigantes permite un cultivo normal hasta el verano siguiente.

La podredumbre blanca *Sclerotium cepivorum* en ajo (Melero

et al., 1989) es controlado, (Basallote Ureba y Melero Vara, 1993.) por la solarización durante el verano. Eso provee un método conveniente y fiable para controlar la podredumbre blanca del ajo (Vasallote et al., 1994), la población de este patógeno se redujo hasta niveles despreciables y se consiguió un

alto control según estos autores.

Para otros autores la solarización no reducía el número de esclerocios (López Rivera et al., 1996) de *Sclerotium rolfsii* en remolacha, sin embargo los esclerocios eran menos activos y producían menos secundarios al germinar.

El marchitamiento por *Verticillium* en algodón (Melero et al., 1989) es controlado por la solarización (Gil Ortega et al., 1990). Los resultados muestran que esta técnica controla las infecciones de *V. dahliae* y aumenta la precocidad, la cosecha total y el peso medio del fruto, (Melero Vara et al., 1995). Por otra parte la incidencia final del marchitamiento por *Verticillium* en cultivos de algodón después de la solarización era más reducida en parcelas solarizadas (González Torres et al., 1993). También se ha observado buen control en suelos infestados de *V.*



LA GAMA LIDER DEL MERCADO

EXELSO

Alta tolerancia a subida a flor, excelente equilibrio raíz-hoja.

MAESTRO

Excelente calidad de raíz y adaptación a mecanización.



SOPRANO



BOLERO



TEXTO



www.vilmorin.com

■ Vilmorin Iberica S.A. - C/. Joaquín Orozco, 17 bajo
03006 ALICANTE - ESPAÑA
tel: 902 19 34 36 - fax: 96 592 20 44
E-mail: ibericalicante@vilmorin.es

■ Eliseo TOMAS (Sureste) : 659 75 85 27
Pedro PESQUERA (Noroeste) : 649 47 33 78
Juan Antonio BENITEZ (Andalucía/Centro de España) : 649 47 33 77

JUNTOS INNOVAMOS PARA VOSOTROS

A u b u r a l / RCS B 349 728 410 / MANTES - ilustraciones Horacio - Reproducción aunque sea parcial, prohibida. Documento no controlado. ©2009

Figura 2:**Distancia al borde del plástico.**

dahliae de manera natural en benjena (Cenís *et al.*, 1988).

La solarización producía la pérdida total de viabilidad (López Herrera *et al.*, 1996) de *Phytophthora cinnamomi* y *Dematophora necatrix*. También el inóculo de *Phytophthora parasitica*, *P. cactorum*, (Cebolla *et al.*, 1995) *Pythium* spp y *Rhizoctonia solani* fue reducido por la solarización. Otros resultados en experimentos en cultivo de zanahoria muestran buen control de *Pythium* spp. Pero la combinación con dosis reducidas de bromuro de metilo (7 g/m²) aumenta drásticamente la cosecha sana y disminuye el porcentaje de rechazo en la cosecha.

Uno de los estudios iniciales en solarización se hizo en un campo infestado por *R. solani* (Cebolla y García, 1984); la solarización aumentó la cosecha de fresa pero la combinación con fumigantes metam-Na y bromuro de metilo a dosis baja dio el mismo control que la desinfestación con BM a la dosis normal. Otras investigaciones (Cebolla *et al.*, 1995) con inóculo artificial confirmaron los resultados. Sin embargo (Cenís *et al.*, 1988) no encontraron diferencias en cultivos de habas.

El efecto en *Botrytis cinerea* (López Herrera *et al.*, 1994) induce la pérdida completa de viabilidad del micelio a profundidades

de 5-25 cm, al igual que el de esclerocios enterrados a 5 cm efecto que fue observado, dos días después, en suelos solarizados. La viabilidad de los esclerocios a los 15 y 25 cm de profundidad se reducía linealmente con el producto temperatura x tiempo (°C x h).

El efecto sobre *Olpidium radicale* (Gómez *et al.*, 1993) en melón y *Polymyxa betae* (López y García, 1991) en remolacha ha sido estudiada como vectores de transmisión de virus. En ambos casos la población fúngica fue reducida pero la enfermedad no fue eliminada.

d) Control de hierbas infestantes

La solarización puede ser considerada un buen tratamiento para eliminar hierbas en algunos cultivos, al menos desde el punto de vista agronómico. Pero la combinación con fumigantes asegura un control excelente (Cebolla *et al.*, 1990, 1991, 1995, 1996). Las malas hierbas como *Solanum nigrum* L., *Sonchus asper* Allioni, *Lolium multiflorum* Lamark, *Plantago lanceolata* L., *Asphodelus fistulosus* L., *Euphorbia exigua* L., *Euphorbia prostrata* Aiton., *Malva silvestris* L., *Medicago arábica* Allioni (Cebolla *et al.*, 1995) *Portulaca oleracea* L., *Euphorbia prostrata* Aiton, *Urtica dioica* L., *Sonchus tenerrimus* L., *Chenopodium álbum* L., *Poa annua* L.,

Estiercol distribuido uniformemente, antes de incorporar al suelo y solarizar.

Convolvulus arvensis L., *Oxalis pes-caprae* L., *Amarantus retroflexus* L., *Lamium amplexicaulo* L., *Mercurialis annua* L., *Amaranthus blitoides* Watson, *Setaria verticillata* (L.) P.B., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scopoli, *Erodium malacoides* (L.) EL Her., *Cirsium arvense* Scopoli, *Fumaria officinalis* L., *Papaver rhoeas* L., *Misopates orontium* (L.) Rafin. se controlan bien, *Conyza canadensis* L. se reproduce rápidamente porque las semillas son diseminadas fácilmente por el viento.

La solarización del suelo es capaz de eliminar la mayoría de las hierbas de verano excepto *Cy-*

■ Dos ecuaciones fueron usadas con un programa de ordenador para calcular el número de larvas supervivientes a intervalos de una hora tomando como base la temperatura obtenida cada hora para calcular el número de días de solarización necesario para alcanzar un nivel dado de población de nematodos

perus rotundus L. (López García, *et al.*, 1991). Esta planta infestante sólo se controla parcialmente pero los tubérculos que permanecen vivos están debilitados, lo que hace que sean sensibles a una dosis baja de glifosato (López Cosme *et al.*, 1995). Aunque la solarización sola fallaba al controlar *C. rotundus*, se comprobó que solarizando durante 2.5 meses, seguidos de 0.72 kg glifosato/ha conducía a una rápida disminución de la población de *C. rotundus* el verano siguiente. Otros

autores (González-Torres *et al.*, 1992) probaron que la solarización del suelo reducía con un factor de 3 y 6 el número de tubérculos después de una plantación inicial, combinada con glifosato. No se encontraron diferencias significativas entre 6 y 10 semanas de solarización. Ambos redujeron sustancialmente las cantidades de *C. rotundus*.

e) Control de nematodos

Nematodos como *Ditylenchus dipsaci*, *Nacobbus aberrans*, *Rothylechulus reniformis*, (Bello y González, 1994) se controlan bien. Otros géneros como *Globodera rostochiensis*, *G. pallida* no se controlan completamente pero se reduce su población.

La posibilidad de prever las proporciones de mortalidad de larvas de *Meloidogyne javanica* a las temperaturas del suelo típicas de la solarización (30 a 48 °C) (Cenís *et al.*, 1988) se expresaron en 2 ecuaciones. Estas fueron usadas con un programa de ordenador para calcular el número de larvas supervivientes a intervalos de una hora tomando como base la temperatura obtenida cada hora. Así era posible calcular el número de días de solarización necesario para alcanzar un nivel dado de población de nematodos.

La solarización bajo invernadero también conseguía una reducción sustancial del número de larvas de *M. incognita* (Mejías Guisado *et al.*, 1993) a un nivel en que lechugas y melones podían ser cultivados con un daño mínimo. La solarización también resultó efectiva en el control de *M. incognita* (Mejías *et al.*, 1995)

La solarización y 1.3-dicloropropeno fueron comparadas en una investigación con *Heterodera schachtii* (López y García, 1991) en la que ambos tratamientos redujeron las poblaciones en remolacha pero no eliminaron el problema.

f) Control de virus

El control de la transmisión de virus controlando sus vectores es una idea general que ha sido ensayada para el control de Melon



Plástico levantado para facilitar la entrada del agua de riego bajo el plástico.

Necrotic Spot Virus MNSV (Gómez *et al.*, 1993.) transmitido por *Olpidium radicale*. Sin embargo, aunque la población del vector fue reducida, la solarización no menguó la severidad de la enfermedad como ha sido mencionado. Otra enfermedad investigada fue el Beat Necrótico Yellow Vein Virus BN-YVV (Lopez, y García, 1991) pero ninguno de los tratamientos comparados, solarización o D-D, eliminaran el problema.

· Otros resultados interesantes

La solarización del suelo fue tan efectiva como la fumigación en el control de la enfermedad de replantación del rosal (Basallote *et al.*, 1994). Se sugiere que la solarización podría ser integrada con el uso de cultivares de algodón resistentes. Otros resultados muestran una reducción de *Agrotis* spp. (Gil Ortega, *et al.*, 1990) por la solarización.

La solarización evitaba los movimientos ascendentes de la solución del suelo, por capilaridad, en capas freáticas salinas, y su concentración por evaporación en la superficie. Como consecuencia, la conductividad eléctrica en las parcelas solarizadas fue una cuarta parte de las que no lo fueron (López Cosme y González Torres, 1995.)

La mayoría de autores encuentran el coste del tratamiento

de solarización más barato que la de la fumigación con bromuro de metilo o metam-Na, pero eso depende de la forma de aplicación empleada.

Técnicas de aplicación y cubiertas plásticas

El tipo de plástico empleado es la lámina de polietileno con un espesor de 25 a 100 micras. Esta lámina está considerada la más conveniente como material de cobertura, por su precio, resistencia a la tensión y transparencia a las radiaciones. Para elegir el espesor de la lámina se deben considerar cuestiones como el riesgo de viento fuerte en la zona de aplicación, o si es para dentro o fuera del invernadero. También el riesgo de rasgaduras por parte de animales

La solarización puede ser considerada un buen tratamiento para eliminar hierbas en algunos cultivos, al menos desde el punto de vista agronómico. Pero la combinación con fumigantes asegura un control excelente

como perros, garzas, jabalíes y otros animales.

a) Otros tipos de plástico

El polietileno (PE) de baja densidad, transparente parece ser el mejor plástico para solarizar. Existen otros plásticos llamados térmicos, que son menos transparentes a las radiaciones infrarrojas y teóricamente pueden incrementar la temperatura de solarización, o los plásticos VIF que son más estancos a los gases y permiten una mayor concentración de gases tóxicos producidos durante la solarización. Los de PE de mayor grosor también tienen mejor efecto térmico y además son más resistentes a las pisadas o agresiones

de animales. Sin embargo todos ellos son más caros que el PE.

• Preparación del suelo

El suelo debe estar bien arado, pasado de ganchos y rotocultivado para deshacer terrones y dejarlo bien mullido y esponjoso y así evitar la presencia de cualquier material como cañas, raíces o alambres que puedan rasgar el plástico en el momento de la puesta sobre el terreno. Estas prácticas permiten una penetración profunda y uniforme del agua para mantener el suelo húmedo a lo largo del período de solarización. La humedad mejora la conductividad térmica del suelo y aumenta la sensibilidad de los microorganismos a la temperatura elevada como ha sido mencionado.

Mecanización de la solarización

La colocación manual del plástico de solarización resulta muy costosa, es por ello que se han ideado sistemas para la mecanización de esta tarea. En parcelas de gran tamaño existe la posibilidad de cubrir el suelo en tempero con un tractor al que se acopla un sistema que levanta la tierra mediante una vertedera, aprieta el borde del plástico mediante una rueda y vuelve a cubrir con un disco, de manera que cubre el suelo formando tiras tan anchas como lo permita el apero. Este sistema, sin embargo deja mucho "efecto borde" entre dos tiras consecutivas. Algunos cultivos se adaptan bien a este sistema. Se podría pensar en evitar el efecto borde pegando a soldando uno de los bordes del plástico con el contiguo, sin embargo este sistema no soporta los fuertes vientos y las altas temperaturas que se alcanzan y por tanto no aporta suficiente garantía de mantener la estanqueidad durante todo el periodo de solarización.

En pequeñas parcelas se puede mecanizar parcialmente, ayudándose de fuerza motriz animal o mecánica en las operaciones de extender el plástico, abrir los surcos y posteriormente taparlos, que son las operaciones más pesadas.

Pero la colocación juntando los bordes y punteando con tierra para fijar el plástico hay que realizarlas a mano.

Mejora de la técnica

Hay algunos métodos que permiten mejorar la eficacia de la solarización:

a) Una es la cobertura doble la cual es usada para alcanzar temperaturas más altas en la superficie del suelo y así transmitirla en profundidad. La doble cubierta se puede hacer o colocando el plástico dentro de un túnel o dentro de un invernadero (Cebolla *et al.*, 1991, 1995; López y García, 1991). En este caso hay un inconveniente para el labrador, porque la duración del plástico del invernadero se acorta debido a las altas temperaturas alcanzadas en el interior del invernadero sellado.

b) La combinación con cultivos tolerantes se probó en algodón (Melero Vara *et al.*, 1995) como medio de asegurar el control de la enfermedad.

c) La combinación con productos químicos a bajas dosis para mejorar la solarización ha sido probada con fumigantes como metam-Na, (Cebolla y García, 1984) con resultados tan buenos como la fumigación estándar con BM. Las técnicas de combinación usando BM (Busto, del, 1989, 1990; Cebolla *et al.*, 1995, 1996) y metam-Na (Jiménez Díaz, *et al.*, 1991) permiten acortar el período de solarización con una garantía muy alta de control de las enfermedades.

La irrigación antes de poner el plástico es la manera normal para la solarización estándar. Pero debido al tipo de suelo presente en la mayoría de las tierras españolas,



Máquina para abrir surcos y después tapar bordes como ayuda a la colocación del plástico de solarización.

las cuales son fuertes, francas, más o menos ricas en limo y arcilla, la humedad permanece mucho tiempo, y cuando la capa superior está seca, en profundidad aún hay humedad. En la solarización combinada con metam-Na el fumigante se añade al agua de irrigación, tanto si se hace por inundación o por riego localizado, por debajo del plástico. Cuando se combinaba con el BM, el fumigante se aplicaba con las condiciones del suelo convenientes y tres días después se regaba bajo del plástico, en ambos casos la lona se deja abierta al final de la parcela, durante el riego, para dejar salida y evitar las bolsas de aire que levantan el plástico e impiden un buen contacto de la lona con la tierra, cosa muy importante para una buena eficacia desinfectante de la solarización.

■ **La mayoría de autores encuentran el coste del tratamiento de solarización más barato que la de la fumigación con bromuro de metilo o metam-Na, pero eso depende de la forma de aplicación empleada**



La mejor época para iniciar la solarización es a primeros de junio con lo que se obtienen los máximos niveles de radiación lumínica, esta época se adapta especialmente al cultivo de cebolla en l'horta pero no a otros cultivos que aún siguen en plena cosecha.

En el Pilar de la Horadada la solarización se puede practicar

Solarización dejando pasillos sin solarizar. con posibles problemas por efecto borde.

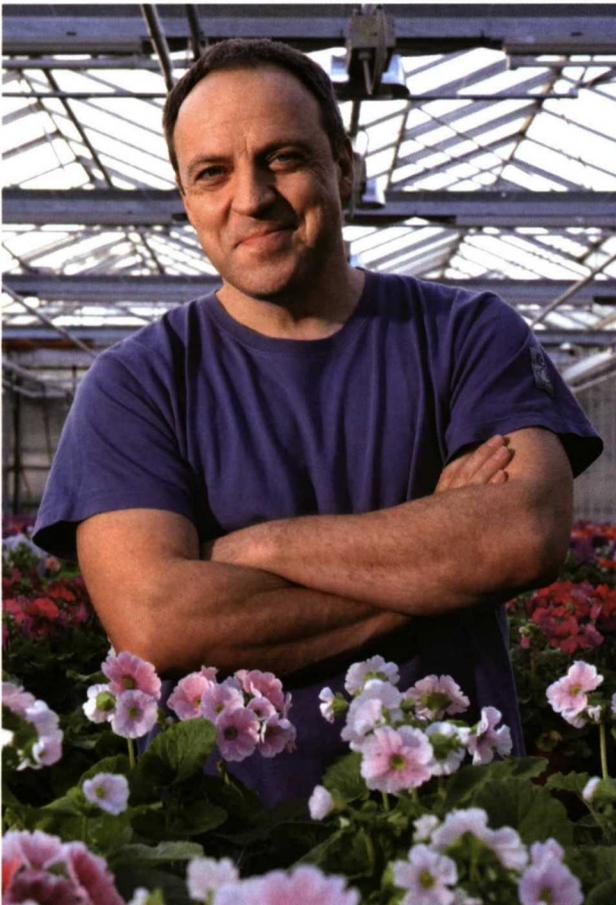
con éxito bajo invernadero y con aportaciones de estiércol o fumigantes durante el mes de septiembre permitiendo así aprovechar gran parte de la cosecha de verano.

En el caso de usar metam-Na resulta de gran utilidad solarizar con un riego y 15 días más tarde aportar el fumigante con un segundo riego con lo que se consiguen excelentes rendimientos. Este efecto se explica por que los microorganismos que han sobrevivido a los primeros días de solarización, bajo condiciones de humedad y temperatura se hacen más vulnerables a los agentes químicos, especialmente a los fumigantes.

La solarización mejora sustancialmente su eficacia después de una aportación de gallinaza (Gamliel, Stapleton, 1993a.) así como tras la aportación de una mezcla de estiércol de oveja y gallinaza (Cebolla *et al.*, 2002), el efecto biocida del amonio aporta-

do al suelo ha sido también demostrado por Lazarovitz *et al.* (1997) al usar purines de cerdo no solo como aportación de nitrógeno si no como desinfectante contra *Verticillium dahliae* del suelo, patógeno de plantas.

Un efecto biocida importante fue descubierto por Angus *et al.* (1994) al estudiar la incorporación de restos de brassicas como las coles, dando luz al concepto de biofumigación por la descomposición de glucosinolatos, presentes en este tipo de plantas, dando origen a tiocianatos, gases de tóxicos, con efectos fungicida, herbicida nematocida e insecticida. La solarización después de la incorporación al suelo de crucíferas mejora su eficacia (Gamliel y Stapleton, 1993b, 1995, 1997) por el desprendimiento de tóxicos volátiles como alil y phenil isotiocianatos, aldehidos volátiles, formaldehido, acetaldehído, etanol, metanotiol, o



Todo por amor ... y cálculo.

**Su pasión es nuestra vocación –
nuevos sustratos profesionales
nacidos de nuestra experiencia**

Tres novedades en el mercado y buenos motivos para lograr el éxito:

- **Flora-Instant Plus** – el PLUS de abastecimiento de agua para sus plantas
– más volumen de ventas gracias a un mayor rendimiento
- **Flora-Protect®** – solución biológica contra la mosquilla negra
– minimiza el esfuerzo necesario para proteger sus plantas
- **Flora-Expert** – 3.000 ejemplos de experiencia en fórmulas, para usted in situ
– el mayor archivo de fórmulas conocido en todo el mundo

Encontrará más información sobre la ofensiva de crecimiento de Floragard en:
www.floragard.de
Tel. +49 441-2092-0

Flora  **gard®**

Dar lo mejor. ¡Desde hace 90 años!



Riego localizado para solarización. líneas de goteros bien tensadas para evitar una mala distribución del agua.

Alternativas químicas y no convencionales al bromuro de metilo en cultivo de la huerta

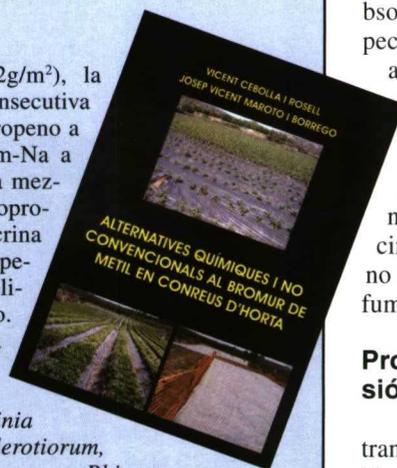
Vicent Cebolla i Rosell
Josep Vicent Maroto i Borrego

Este libro editado por el Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA), ha sido escrito por Vicent Cebolla del Departamento de Protección Vegetal y Biotecnología del IVIA y Josep Vicent Maroto, Catedrático del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Valencia.

El bromuro de metilo (BM) fue prohibido el primero de enero de 2005, para todos aquellos usos que no sean declarados críticos, lo que hace necesario encontrar alternativas que mantengan la producción y la calidad, controlando los problemas patológicos y de fatiga del suelo. Se acometieron varios experimentos a corto y a largo plazo en el cultivo de fresón a 3 y 4 años, y en una rotación de cultivos de huerta con sistemas de aplicación de fumigantes químicos (1,3-dicloropropeno, cloropirrina, metam-Na, dazomet); reducción de dosis de BM a 30g/m² por utilización de plástico VIF o formulación al 50% con cloropirrina a 50g/m²; la solarización combinada con metam-Na a baja dosis o con estiércol. Se emplearon sistemas de aplicación manual y mecanizada, en aplicación al suelo plano o en mesetas o lomos ya preparados para el siguiente cultivo de fresón. Los experimentos a corto plazo otorgan características comparables al BM a la solarización con estiércol (5kg/m² de una mezcla 75% de oveja y 25% de gallinaza) y con metam-

Na a 35 ó 72g/m²), la aplicación consecutiva de 1,3-dicloropropeno a 18g/m² y metam-Na a 72-144g/m² y la mezcla 1,3-dicloropropeno y cloropirrina a 50g/m², especialmente en aplicación al lomo. El control de la fatiga del suelo y de patógenos como *Sclerotinia minor*, *S. Sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani* es factible con muchos de los tratamientos estudiados. A largo plazo los tratamientos de solarización con estiércol no mantienen la eficacia al nivel de producción y calidad del BM, posiblemente por causas atribuibles a las características y cantidades del estiércol empleado. La solarización con metam-Na tampoco mantiene la eficacia. La mezcla 1,3-dicloropropeno y cloropirrina se aproxima al comportamiento del BM. Dazonet y la secuencia 1,3-cicloropropeno y metam-Na también se acerca, pero sólo los tratamientos con BM a dosis reducida mantienen la producción y la calidad al mismo nivel que el BM a la dosis normal.

La edición se hizo por parte del IVIA y su distribución es gratuita. Para petición de ejemplar dirigirse a Vicent Cebolla i Rosell.



a. acético, hasta niveles comparables a la desinfección con bromuro de metilo (Cebolla y Maroto, 2005) después de un cultivo de col, coliflor o brocoli.

Efecto borde

En los tratamientos de solarización, hay un gradiente de temperaturas entre el centro del tratamiento (temperatura más alta) y la parte exterior del margen de la superficie cubierta (temperatura normal) que hace que desde un metro del borde hasta el límite, la temperatura decrece progresivamente (Gristein *et al.*, 1989). En esta zona marginal hay una pérdida de eficacia que se debe evitar por una parte uniando las cubiertas en forma de libro y por otra despreciando las plantas del borde que son menos productivas. El efecto en la solarización fue descrito por Jacobsohn *et al.* (1980) por lo que respecta a las malas hierbas, pero afecta en general (Grinstein, 1989) a la eficacia en la desinfección del suelo.

El escape de gases por los bordes (Grinstein y Hetzroni, 1991) también puede producir una falta de eficacia, a veces no tan visible, en tratamientos con fumigantes químicos.

Problemas para la extensión de la solarización

Desde el punto de vista de la transferencia de tecnología los problemas que se encuentran están resumidos en los siguientes puntos:

- Tiempo de exposición muy largo para alcanzar bastante eficacia (de 1 a 2 meses).
- Dificultad para la adaptación a las rotaciones de cultivo tradicionales de los labradores.
- Necesidad de solarizar durante el verano y no en otras épocas del año.
- Las láminas de plástico están expuestas al viento, tormentas, perros y otros animales.
- Falta de seguridad debida la falta de radiación durante la tormentas frecuentes en algunos veranos.
- Se necesario un cierto entusiasmo o convencimiento del la-



brador para empezar con esta técnica aunque observar a los vecinos que lo han hecho puede ayudar.

- Falta de promoción como la que tienen otras técnicas que dan incentivos o primas comerciales o cobran regalías como la mayoría de los fumigantes.

Situación actual

La solarización se ha extendido los últimos años en las comarcas de l'Horta de Valencia con la cebolla como principal cultivo, en la Canal de Navarrés con el pimiento de verano al aire libre como cultivo principal, solarizando el verano anterior y dentro de una rotación de cultivos y en el Bajo Segura (Alicante) y el Campo de Cartagena para el cultivo de pimiento de invernadero, especialmente en cultivo ecológico y producción integrada a los que se adapta muy bien.

La comarca de l'Horta Sud fue probablemente la primera que

Incorporación de metam-Na al riego para solarización combinada.

Bolsas se aire formadas al colocar el plástico con viento. las bolsas provocan pérdida de eficacia.



usó la solarización después de la promoción de la conselleria iniciada hacia el año 1987 a la que nos hemos referido anteriormente. Especialmente entre los cultivadores de cebolla, cultivo para el cual la eliminación de hierbas representa un costo importante por la cantidad de mano de obra requerida.

Desde 1997 esta técnica se ha extendido en l'Horta Nord también especialmente en el cultivo de cebolla.

La modalidad más ampliamente utilizada utiliza una enmienda previa con estiércol de oveja, de gallina o sus mezclas, o se combina con algún fumigante a bajas dosis o también después de un cultivo de coles o otras brasicas, triturando los restos antes de solarizar.

Hay que advertir el uso de cantidades excesivas de materia orgánica de diversa índole (gallinaza, oveja, conejo), ha producido ocasionalmente daños por salinización de suelos especialmente cuando concurre la existencia de horizontes del suelo con problemas de permeabilidad

La cantidad de estiércol utilizada suele ser de unos 5 kg/ m² de una mezcla 75% oveja, 25% gallinaza). No hay que olvidar que el abuso de estiércol además de causar graves problemas de salinización del suelo (Cebolla y Maroto, 2002) puede contravenir la Direc-

tiva 91/676/CEE del Consejo de la Unión Europea, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Esta directiva, de obligado cumplimiento en todos los países de la UE establece que la cantidad máxima de estiércol a aplicar por hectárea es la que corresponde a 170 kg de N lo que equivale a unos 2 ó 2.5 kg/ m² de estiércol de oveja y algo menos de 1 kg de gallinaza.

Aunque inicialmente se prefería el uso de estiércol tierno, recién sacado del establo, para aprovechar su mayor potencial de fermentación, los riesgos de infecciones por bacterias entéricas (*Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica*) o por pulgas presentes en el estiércol fresco, lo hacen desaconsejable. Este tipo de estiércol no se puede usar en agricultura ecológica ni en la mayoría de protocolos de producción integrada.

■ **La solarización después de la incorporación al suelo de crucíferas mejora su eficacia por el desprendimiento de tóxicos volátiles hasta niveles comparables a la desinfección con bromuro de metilo después de un cultivo de col, coliflor o brocoli**

Para saber más...

Para obtener más información y toda la bibliografía referente a este artículo, puede visitar la página web en la Plataforma Horticom:

www.horticom.com?72668