

LA SOLARIZACION, UN METODO NO QUIMICO DE CONTROL DE ENFERMEDADES Y PLAGAS DEL SUELO

Dr. JAIME AUGER S.
Depto. Sanidad Vegetal

Introducción

La solarización del suelo es un método de desinfección relativamente nuevo utilizado para controlar patógenos del suelo, y malezas. La primera publicación referente al tema apareció en 1976, y desde entonces se han publicado más de 60 artículos, y se ha realizado, o se están llevando a cabo, investigaciones en solarización del suelo en a lo menos 14 países: Israel, Estados Unidos, Grecia, Jordania, Italia, Australia, Egipto, Irak, Portugal, Inglaterra, Sud África, Japón, Marruecos y Pakistán; esto indica que existe un gran interés y una necesidad en desarrollar nuevos métodos para controlar los patógenos del suelo.

Tradicionalmente, las dos formas de desinfección de suelo usadas, han sido: el método físico, que consiste en el calentamiento artificial mediante vapor de agua y, el método químico, en el cual se utiliza la fumigación con CS₂, cloropícrina, o bromuro de metilo.

La solarización del suelo es una nueva forma de desinfección basado en el uso de la energía solar como fuente de calor. El método consiste en cubrir el suelo con polietileno transparente (0,10 mm de espesor), durante los meses de mayor calor; en el hemisferio Sur ello corresponde del 15 de diciembre al 15 de febrero. El terreno a cubrir debe estar bien mullido y con una humedad superior a capacidad de campo.

La cubierta de polietileno sirve como trampa para recoger y almacenar energía solar. Esta idea nació en Israel de las observaciones realizadas por agricultores del Valle del Jordán que cultivaban algunas especies con cubierta de polietileno. Posteriormente fue desarrollada en diversos centros de investigación como método de control de patógenos.

Principios de la solarización

Este método puede ser usado con efectividad sólo en regiones con clima apropiado. La reducción efectiva de la población de los patógenos hasta una profundidad adecuada o suficiente en el suelo, y consecuentemente el control de la enfermedad respectiva, se puede lograr bajo las siguientes condiciones:

- a) el cubrimiento del suelo debe realizarse durante el período de altas temperaturas e intensa radiación solar,
- b) se debe usar plástico transparente, pues, transmite más radiación solar,
- c) mantener húmedo el suelo, para aumentar la sensibilidad termal de las estructuras resistentes y mejorar la conducción del calor,
- d) la película de polietileno debe ser lo más delgada posible, por ser más efectiva en el calentamiento y, más barata,

e) el período de tratamiento debe ser lo suficientemente largo para que el calor penetre hasta las capas más profundas del suelo haciendo así más efectivo el control. Se recomiendan 4 semanas o más. Se ha comprobado que 5 días son suficientes para eliminar el 100% de esclerocios de *Verticillium dahliae* a una profundidad de 5 cm; en cambio a 25 cm sólo se logra una leve disminución de la población, para después de 8 días se logra un control de 100%.

La solarización se basa en el mismo principio que el calentamiento artificial del suelo por medio de vapor, el cual se realiza entre 60° y 100°C. Sin embargo, hay importantes diferencias biológicas y tecnológicas entre los dos métodos: La solarización se realiza directamente en el campo sin tener que transportar una fuente de energía para el proceso; el calentamiento solar se realiza a temperaturas relativamente bajas comparadas con el artificial, por lo cual sus efectos en la parte física y biológica de los componentes del suelo serán menos drásticos; además, no se ha observado fitotoxicidad como ocurre en los suelos tratados con vapor en forma artificial, donde es común la liberación de productos tóxicos como el manganeso.

Al comparar un suelo cubierto con polietileno con uno descubierto (testigo), se observó que en la capa superior, hasta 5 cm de profundidad, la diferencia de temperatura entre ambos fue de 90°C en beneficio de la cubierta de plástico. Estudios realizados en Israel con radiación global de 600-650 Ly/24 hrs, mostraron que los suelos descubiertos presentaban, en la capa comprendida hasta los 5 cm de profundidad, temperaturas de 25 a 26°C. Otras mediciones realizadas en California y Jordania, presentaron respectivamente, 25 y 60°C en las primeras capas del suelo.

Mecanismo del control de enfermedades

La reducción de la incidencia de las enfermedades en suelos solarizados, o con otro tipo de tratamiento, es el resultado de la interacción de 3 componentes: hospedero, patógeno y microorganismos circundantes; se considera también el medio ambiente químico y físico en el cual se desarrolla el proceso. El mayor efecto del cubrimiento de polietileno es de orden físico al incrementar la temperatura del suelo durante muchas horas en el día. Además es importante señalar la ocurrencia de otros procesos como cambios en la población microbiana, cambios en la composición química y en la estructura física del suelo, y si se mantienen altos niveles de humedad hay cambios en la composición de los gases del suelo.

Los cambios en la densidad del inóculo a varias profundidades en suelos solarizados y otros no tratados, pueden servir para lograr una simple y rápida estimación del potencial del calor solar en el control de las enfermedades y de los patógenos. Si esta aproximación es llevada a cabo y evaluada adecuadamente, es una buena manera de dar una idea de la efectividad de la solarización en nuevas regiones con distintas condiciones ambientales y en varios tipos de suelo.

Inactividad térmica de patógenos: efectos físicos

Cuando los organismos están sometidos a calor húmedo y temperaturas que exceden el máximo necesario para su crecimiento, su viabilidad se reduce. La tasa de mortalidad por calor de una población de organismos depende del nivel de temperatura y del tiempo de exposición, los cuales están inversamente relacionados. Dada una temperatura y un tiempo de exposición, la tasa de mortalidad está determinada por la sensibilidad de cada organismo al calor y por las condiciones ambientales pre-va-lientes.

Se han desarrollado muchos métodos para cuantificar la muerte termal de microorganismos y definir la relación tiempo-temperatura, con el objeto de predecir las tasas de mortalidad a distintas combinaciones de temperaturas y tiempo de exposición, pudiendo establecerse así criterios para determinar la sensibilidad específica al calor de cada organismo, puesto que los procesos metabólicos se relacionan habitualmente con las temperaturas del medio ambiente. Algunas informaciones sobre muerte termal de hongos patógenos se indican en el Cuadro 1.

Fusarium oxysporum fs. *lycopersici* y *Verticillium dahliae* al calor húmedo durante 1 hora a la temperatura de 50°C, se produjo la erradicación del 95% de la primera especie, y del 100% de la segunda. Ahora bien, al ser calentado este mismo inóculo en suelo seco, el control fue menos efectivo, siendo, por ejemplo, la viabilidad de *Verticillium dahliae*, al ser expuesto a la temperatura de 55°C durante una hora, sólo parcialmente afectada.

En la práctica, las poblaciones de hongos patógenos del suelo, en general se reducen considerablemente a temperaturas de 40 a 50°C; y el tiempo de exposición para que ello ocurra puede variar desde minutos a horas en el caso de las temperaturas altas, en tanto que para las temperaturas bajas se requiere de varios días y hasta más de un mes (Cuadro 1).

En una serie de experimentos de solarización se ha encontrado que en los primeros 30 cm. o algo más de profundidad del suelo, el rango de temperaturas de 40 a 50°C resulta efectivo para un buen control de los patógenos. Sin embargo, hay excepciones, como por ejemplo los casos de *Synchytrium lagenariae* y *Synchytrium trycosensthis*, que son especies termo resistentes.

La respuesta de una población de microorganismos a elevadas temperaturas depende de su condición fisiológica, tipo de propágulo, edad, y factores del medio ambiente como pH, presencia de iones y agentes protectores. El nivel de humedad es un factor crucial, pues existen diversos organismos que son mucho más resistentes en condiciones de humedad baja. El efecto de la humedad puede explicarse por el hecho que en su presencia se requiere menos energía para romper las cadenas de pépti-

CUADRO 1

ESPECIE	Muerte termal de hongos patógenos	
	MUERTE TERMAL	
	Suelo sin cubierta LD ₉₀ * a 37°C (días)	Suelo solarizado LD ₉₀ a 50°C (minutos)
<i>Verticillium dahliae</i> (92 casos).	28,8 - 25,8	23 - 27
<i>Pythium ultimum</i>	17,9	33
<i>Thielaviopsis bacicola</i>	33,5	68

FUENTE: Pullman, G., DeVay, J. and Garber, R. 1981.

*LD₉₀: Dosis que causa el 90% de mortalidad de una población experimental sometida al tratamiento.

Como se puede ver, la diferencia de tiempo de exposición para lograr la inactividad de estas especies en las condiciones de suelo solarizado y no solarizado, es notable. En el suelo no solarizado, con una temperatura de 37°C, la inactivación se logra a través de una exposición de aproximadamente 20 a 30 días; en cambio, en condiciones de solarización, con una temperatura de 50°C, la inactivación se logra a través de una exposición de sólo 0,5 a 1 hora.

Agreguemos, a modo de ejemplo, que la completa inactivación de *Phytophthora cinnamoni* se obtiene con una exposición de 90 minutos a una temperatura de 39°C, o bien con una exposición de 4,5 min. a una temperatura de 44°C por su parte, expuesto el inóculo de

dos de las proteínas, lo cual incide en una disminución de la resistencia al calor por parte de los microorganismos; el calentamiento en suelos secos no es efectivo en el control de patógenos en ciertas zonas áridas las temperaturas existentes en las primeras estratas de suelo desnudo alcanzan valores similares a los encontrados en suelos solarizados, pero, al parecer, este calor no es efectivo en el control de las enfermedades mientras el suelo permanece seco.

Control biológico

Los procesos microbianos inducidos por la solarización pueden, en conjunto con el efecto físico del calor, contribuir al control de enfermedades. Algunas circuns-

tancias pueden ser especialmente útiles cuando el efecto acumulativo del calor no es suficiente para el control de la enfermedad, como son los casos por ejemplo de las mayores profundidades o el final de la época de calor. Al ser inducido por la solarización, el control biológico puede afectar a los patógenos por aumento de su vulnerabilidad o por el incremento de la actividad de los microorganismos termófilos no patógenos del suelo, lo cual redundará finalmente en una disminución de la incidencia de la enfermedad. El control biológico puede operar en cualquier estado de sobrevivencia del patógeno durante o después de la solarización, a través de antibiosis, parasitismo y competencia.

El mecanismo de control biológico que puede ser creado o estimulado por la solarización puede resumirse como sigue:

A. Efecto sobre la existencia de inóculo en el suelo:

- a) Reducción en la densidad del inóculo en el estado de dormancia, o durante la penetración en el hospedero, a través de:
 - muerte microbiana del patógeno alrededor de una semana después por calor subletal,
 - completa o parcial anulación de la acción fugistática y subsecuente muerte de los propágulos en germinación,
 - estímulo de la actividad de los organismos parásitos por la solarización.
- b) Reducción del potencial de inóculo a través de la antibiosis o competencia estimulada por la solarización.
- c) Disminución de la capacidad saprofitica del patógeno en la ausencia del hospedero a través de la antibiosis y la competencia.

B. Supresión del inóculo introducido al suelo después de la solarización en estratas más profundas o adyacentes no tratadas.

C. Efectos en el hospedero debido a la protección cruzada.

Cualquiera de los aspectos mencionados puede estar involucrado en el control de las enfermedades por ejemplo, el efecto fungistático de *Fusarium* y *Penicillium frequentatus* disminuye, y la población de antagonistas potenciales como *Trichoderma* aumenta; el calor subletal sobre los esclerocios de *Sclerotium rolfsii* aumenta su exudación, y la colonización por bacterias y Streptomycetes reducen su capacidad patogénica.

Volatilización y otros mecanismos

Los compuestos volátiles del suelo están involucrados en el proceso en forma importante, actuando como fungistáticos y control biológico. Las enmiendas de oleaginosas producen amoníaco que estaría involucrado en la supresión de *Fusarium*; lo mismo sucede con crucíferas en control de *Aphanomyces euteiches* con la formación de compuestos volátiles que contienen azufre; la permeabilidad del polietileno a diferentes gases es reducida, de modo tal que el CO₂ acumulado bajo el plástico aumenta 35 veces en relación a los suelos no cubiertos. Se supone que los gases acumulados en alta cantidad y calentados bajo el plástico, tendrían una acción de control de los patógenos.

De acuerdo con lo anterior, para lograr un control más eficaz, sería favorable la adición de materia orgánica

y, también el uso de plástico con menor permeabilidad a los gases.

Por otra parte los análisis químicos realizados han demostrado un significativo incremento en la concentración de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ en los suelos solarizados. Pues bien, los iones de calcio juegan un importante papel en la resistencia de las plantas y agentes patógenos. Y, en estudios similares realizados en California en relación con el nitrógeno, se comprobó un aumento considerable de este elemento en suelos sometidos a la solarización, el cual se le encontró principalmente en forma de nitratos y de nitrógeno amoniacal, cuyos valores fluctuaban entre 12 a 50 kg/ha y de 0 a 127 kg/ha, respectivamente.

Este aumento de nutrientes minerales solubles, como consecuencia de la solarización, es un beneficio económico adicional del método, aún cuando los suelos que son solarizados no mantienen los niveles altos de nutrientes solubles después del invierno siguiente.

6. Control de patógenos

a) Efecto de la solarización sobre los hongos del suelo

Mediante este método se han podido controlar satisfactoriamente los hongos causantes de marchitez de varios cultivos como son: *Verticillium* sp. y *Fusarium* sp.; así como enfermedades causadas por *Bipolaris sorokiniana*, *Didymella lycopersicii*, *Phytophthora cinnamoni*, *Plasmodiophora brassicae*, *Pyrenochaeta lycopersici*, *Pyrenochaeta terrestris*, *Pythium mycothecium*, *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium oryzae*, *Sclerotium rolfsii* y *Thielaviopsis basicola*. Sin embargo, de acuerdo con otros trabajos el resultado de la solarización no ha sido tan exitoso en el control de algunos patógenos tales como *P. brassicae*, *S. rolfsii*, *Macrophomina phaseoli*, *Pythium aphanidermatum* y *Fusarium oxysporum f. esp. pini*. No obstante, algunos hongos tales como *M. phaseoli* y *Phythium aphanidermatum* son más termo resistentes que la gran mayoría de los patógenos y por lo tanto son más resistentes a los efectos de la solarización.

La solarización post-plantación para controlar *Verticillium* en pistacho y olivos está mostrando resultados promisorios en huertos establecidos. Las infecciones de *Pythium* spp. en almendros nuevos han sido reducidas drásticamente mediante el empleo de la solarización en post-plantación. Estos tratamientos de post-plantación, hasta la fecha, no han causado daño por altas temperaturas a los árboles tratados.

b) Efecto de la solarización sobre la flora bacteriana del suelo

Algunas especies de bacterias del suelo son sensibles a la solarización; esta sensibilidad termal depende de la naturaleza de cada grupo taxonómico. Es así como se ha logrado reducir, en suelos solarizados, la densidad poblacional de *Agrobacterium* spp., pseudomonas fluorescentes, pseudomonas pectolíticas, y algunas bacterias gram positivas. Los valores de la reducción mostrados por la evaluación realizada inmediatamente después de finalizado el tratamiento, fluctuaron entre 69 y 98%.

Las pseudomonas fluorescentes recolonizan rápidamente el suelo tratado y después de 3 a 6 meses no hay diferencia entre suelos tratados y no tratados. Sin embargo, *Agrobacterium* spp. y algunas bacterias gram positivas no recolonizan completamente un suelo antes de

6 a 12 meses. La agalla del cuello de plántulas de nogal, causada por *Agrobacterium radiobacter* biovar *tumefaciens*, fueron indetectables después de una solarización y se logró un control total de la agalla del cuello en plántulas de duraznero Nemaguard.

Los *Actinomycetes* y *Bacillus* spp., muchos de los cuales son termotolerantes, han sido reducidos en menor grado (entre 45% y 58%), o bien han aumentado (de 26% a 158%), después de la solarización. El aumento de las bacterias termotolerantes puede también significar un aumento de la resistencia a las enfermedades y una mejor respuesta al cultivo. En Israel se observó que *Rhizobium* spp., sobrevive a la solarización en forma tal que permite una adecuada nodulación de las raíces de los frejoles.

c) Efecto de la solarización sobre los nemátodos

La reducción de la población de nemátodos luego del tratamiento de solarización ha fluctuado entre un 42% y un 100% en especies de los géneros *Meloidogyne*, *Heterodera*, *Globodera*, *Pratylenchus*, *Ditylenchus*, *Paratrichodorus*, *Criconemella*, *Xiphinema*, *Helicotylenchus*, y *Paratylenchus*.

En Australia se ha comprobado un efectivo control de las especies *Macroposthonia xenoplax* (= *Criconemella xenoplax*), *Meloidogyne javanica*, *Pratylenchus penetrans* y *Tylenchulus semipenetrans* en suelos artificialmente infestados. Sin embargo, de acuerdo a otros estudios la solarización no ha controlado eficientemente el nemátodo del nudo (*Meloidogyne incognita*).



Cubierta de polietileno transparente (0.1 mm.) sobre un suelo mullido y previamente regado. El plástico se fija al terreno enterrando los bordes

En varios otros estudios se ha experimentado la aplicación combinada de solarización con el fumigante del suelo 1,3 dicloropropano (1,3 D). Los resultados demostraron que se lograba una mayor reducción de la población de nemátodos y un mayor crecimiento de las plantas después de la aplicación combinada que con la solarización solamente.

d) Efecto de la solarización en las malezas

Uno de los resultados más notables que se han conseguido con el uso de la solarización ha sido el control de un amplio espectro de malezas. Investigaciones realizadas en Israel y en los Estados Unidos de Norteamérica, han demostrado que las malezas de invierno son más susceptibles al control mediante la solarización que las malezas de verano, especialmente *Cyperus* spp., y *Convolvulus*

arvensis (correhuela), que son las más resistentes. En la susceptibilidad de cada especie influye además el tipo de suelo, el contenido de humedad y temperatura, el tamaño y profundidad en el suelo de la semilla u otras formas de propagación vegetativa durante el tratamiento. Estos factores influyen también, en igual forma, en la susceptibilidad de los hongos, bacterias, nemátodos e insectos.

La eliminación o control de las malezas ayuda a prevenir el incremento de las poblaciones de patógenos en malezas susceptibles durante los períodos en que el suelo está libre de cultivos.

Conclusiones

En suma, mediante la solarización se pueden controlar numerosos microorganismos patógenos (hongos, bacterias y nemátodos), y también malezas. Es un método simple, seguro y efectivo, que no contamina con residuos tóxicos y, que puede ser fácilmente usado en pequeña y gran escala. El crecimiento de las plantas y rendimiento de los cultivos es mayor en suelos solarizados, efecto que continúa más allá de una temporada de crecimiento. Es un método sencillo y de fácil transferencia a pequeños agricultores. Todo lo anterior indica que su uso potencial como práctica de control de enfermedades y plagas del suelo en nuestro país es bastante promisorio.

Bibliografía

- ASHWORTH, L. and GAONA, S. 1982. Evaluation of clear polyethylene mulch for controlling *Verticillium* wilt in established pistachio nut groves. *Phytopathology* 72, 243-246.
- KATAN, J. 1981. Solar heating of soil for control of soilborne pests. *Ann. Rev. of Phytopathology*, 10, 24-236.
- KATAN, J. 1983. Soil solarization. *Acta Horticulturae* 152, 227-236.
- KATAN, J. 1983. Short and long effects of soil solarization and crop sequence on *Fusarium* wilt and yield of cotton in Israel. *Am. Phytop. Society*, 73(8), 1215-1219.
- MIHAIL, J. and ALCORNS, S. 1984. Effects of soil solarization on *Macrophomina phaseolina* and *Sclerotium rolfsii*. *Plant Disease* 68, 156-159.
- PULLMAN, G., DE VAY, J. and GARBER, R. 1981. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. *Phytopathology* 71, 959-964.
- RAMIREZ, J. and MUNNECKE, D. 1986. Solar heating and amendments control cabbage yellows. *California Agriculture* 40(5-6), 11-13.
- STAPLETON, J. and DE VAY, J. 1986. Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection* 5(3), 190-198.