



A la izquierda, parcela biosolarizada con EFO. A la derecha, testigo sin desinfectar.

La biosolarización para el control de las enfermedades del suelo de la alcachofa en el sureste español

En las comarcas hortícolas de la Región de Murcia y del sur de la Comunidad Valenciana, la alcachofa es casi un monocultivo, al repetirse con mucha frecuencia en el mismo suelo desde hace más de dos décadas. *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani* y la fatiga del suelo, relacionada con la microbiota, son los problemas fitosanitarios del suelo de mayor incidencia en el cultivo.

Durante varias campañas se ha evaluado la eficacia de la desinfección del suelo mediante biosolarización con varias enmiendas orgánicas, así como los efectos sobre la incidencia de las enfermedades, sobre la vegetación y sobre la producción comercial.

Los resultados muestran que, tras la desinfección: i) Se reducen drásticamente las poblaciones de *V. dahliae* en el suelo y, en consecuencia, de la verticilosis, con todas las enmiendas; ii) La reducción de las poblaciones de *R. solani* es menos consistente que la de *V. dahliae*; iii) Hay un aumento muy notable en el índice de vegetación de las plantas y de la cosecha comercial, que trasciende al segundo año del cultivo. Adicionalmente, se produce una mejora en las características físicas y químicas del suelo.

A. Lacasa

Dr. Ingeniero
Agrónomo.
alacasaplasencia@
gmail.com

M.M. Guerrero, C.M. Lacasa, V. Martínez y M.C. Martínez

Protección de Cultivos.
IMIDA. La Alberca
(Murcia)

P. Fernández

Servicio de Formación
y Transferencia
Tecnológica OCA "Vega
Alta". Cieza (Murcia)

B. Ramírez

S.A.T. Nº 9890 OLÉ. San
Bartolomé- Orihuela
(Alicante)



Fotos 1 y 2. Hojas exteriores secas (izquierda) y cilindro cortical de la base del tallo afectado por *Rhizoctonia solani*.

En la Región de Murcia y en el sur de la provincia de Alicante la alcachofa es un cultivo tradicional. Al inicio de la década de los años setenta del pasado siglo se ubicaba, mayoritariamente, en las vegas de los ríos Segura y Guadalentín. Pocos años antes de la llegada de las aguas del trasvase Tajo-Segura se fue extendiendo por el Campo de Cartagena. Entre 1979 y 1989, la superficie en la Región de Murcia se multiplicó por diez, llegando a 11.398 ha en 1989. La dispersión del virus del bronceado del tomate (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV), al amparo del trips *Frankliniella occidentalis*, en las principales comarcas alcachoferas provocó una reducción paulatina de la superficie a partir de 1990, que en 2001 era de la mitad. Tras los cambios y ajustes en los sistemas de cultivo, realizados para paliar los efectos de la virosis, la superficie ha ido oscilando hasta estabilizarse, en los últimos cinco años, alrededor de las 7.200 ha en la Región de Murcia y unas 2.000 ha en la provincia de Alicante.

Los ajustes en los sistemas generales de producción de hortalizas han llevado a que la alcachofa sea, en la actualidad, un cultivo bianual o anual, dependiendo de la incidencia de la virosis y de la disminución de cosecha, relacionada con la fatiga de los suelos reiteradamente ocupados por este cultivo. Siguiendo la tradición, se utilizan mayoritariamente zuecas, pero en los últimos años está aumentando progresivamente el uso de plantas de semilla, tanto de varie-

dades como de híbridos.

La alcachofa se integra en áreas de producción intensiva de hortalizas, alternándose con el brócoli, melón, lechuga o patata en rotaciones de dos a cuatro años. El cuasi monocultivo de alcachofa o la alternancia con hortalizas susceptibles a los mismos patógenos del suelo aboca a que aparezcan fenómenos de fatiga o cansancio del suelo, por aumento de los organismos causantes de enfermedades o de aquellos componentes de la microbiota con efectos competitivos con la planta, o de microorganismos que se muestren como patógenos subclínicos.

Los problemas fitosanitarios del suelo

Rhizoctonia solani

Desde los inicios del cultivo en el levante y sureste español, *Rhizoctonia solani* ha estado mayoritariamente presente en los alcachofares, provocando marras en la plantación o muerte de plantas durante todo el ciclo del cultivo (García-Moya y col., 1978; Tello, 1984). En la actualidad sigue siendo el patógeno del suelo prevalente en las principales comarcas alcachoferas (Lacasa y col., 2016). Permanece en el suelo en los restos de los cultivos (la mayor parte de los cultivos que forman parte de las rotaciones con alcachofa son susceptibles y multiplicadores), y en la materia orgánica. Lo hace en forma activa o como estructuras de

conservación capaces de soportar condiciones adversas. La incidencia en los cultivos se ha mantenido alta a lo largo de los años (Lacasa y col., 2016; Guerrero y col., 2019), siendo mayor en el otoño y en el invierno.

Produce podredumbres secas en la base de las hojas exteriores de las plántulas de semilla o de las plantas adultas, o en los brotes tiernos de las zuecas (Calot y Vigliola, 1975; Tello, 1984). Las hojas afectadas amarillean, se marchitan y terminan secándose (Foto 1). El cilindro cortical de la base del tallo tiene color marrón, alcanzando la podredumbre y la coloración oscura a la médula (Foto 2).

Verticillium dahliae

En las primeras prospecciones fitosanitarias realizadas en los alcachofares del sureste hace treinta años, *Verticillium dahliae* era menos frecuente y se aislaba en menos parcelas que *Rhizoctonia* (García Moya y col., 1978). Era también mucho menos abundante que en los cultivos del Levante (Tello, 1984). Pero, en la actualidad, se halla ampliamente extendido (Lacasa y col., 2016; Guerrero y col., 2017), siendo también mayor la repercusión y trascendencia en comarcas de intenso monocultivo de alcachofa. La intensidad de los daños es variable según las comarcas (Guerrero y col., 2017) y la prevalencia parece estar relacionada con la forma de realizar el cultivo, las prácticas culturales y con las condiciones ambientales de cada zona.



Fotos 3 y 4. Hojas exteriores amarillas y reducción del desarrollo (izquierda) y sistema vascular de color marrón por *Verticillium dahliae*.



Fotos 5 y 6. Agallas de *Meloidogyne* spp. en raíces de plántulas (izquierda) y plantas adultas (derecha) de semilla.

Se conserva en el suelo en forma de microsclerocios que soportan bien las condiciones adversas. El inóculo permanece viable e infectivo a lo largo de varios años. Como *Rhizoctonia solani*, es polífago, y entre cultivos de alcachofa puede multiplicarse en otros hospedantes (herbáceos o leñosos) e incluso en malas hierbas.

Produce amarillos en las hojas exteriores, marchitamiento, reducción del desarrollo de los brotes y oscurecimiento parcial y discontinuo del sistema vascular (Fotos 3 y 4). Los vasos xilemáticos, por los que se desplazan los conidios y crece el micelio, son taponados con gomas por la propia planta como reacción a la colonización por el hongo y, en consecuencia, el vaso se oxida, tomando coloración marrón. La infección puede ser unilateral, afectando solo a un sector de los vasos, manifestan-

do síntomas solo en una parte de la planta, tanto de la raíz como de la parte aérea.

***Meloidogyne* spp.**

En los últimos años han sido cada vez más frecuentes los daños de *Meloidogyne* spp. (*javanica* e *incognita*) en plantaciones del litoral, siendo más relevantes en cultivos de plantas de cepellón que en los de zueca. La reiteración del cultivo en el mismo suelo o en suelos donde se rota con cultivos susceptibles a los nematodos, junto con los cambios climáticos, parece facilitar las infestaciones tempranas. En consecuencia, el crecimiento de las poblaciones en el suelo se prolonga durante más tiempo, lo que se traduce en un aumento de los daños, tanto a nivel de la planta como a nivel del cultivo.

La presencia de agallas o nódulos en

las raíces es el síntoma más característico. Las hojas exteriores de las plantas afectadas presentan decoloraciones o amarillos más o menos acentuados, acordes a los daños que se hayan producido en las raíces. En plantas jóvenes, las hojas exteriores, decoloradas o no, tienen curvados los bordes hacia el envés. Tanto en los brotes jóvenes como en los desarrollados aparecen zonas decoloradas en la base del limbo, que llegan a necrosarse con el paso del tiempo. La regeneración de raíces, según el momento del ciclo vegetativo, proporciona ligeras recuperaciones de las plantas, que son más importantes en los periodos frescos del año.

Las poblaciones permanecen en el suelo en formas resistentes (huevos) durante largos periodos de tiempo. El humedecimiento del suelo y la presencia de raíces inducen a la eclo-

sión de los huevos y la emergencia de los juveniles infectivos, que se instalan en las raíces hasta completar el ciclo biológico. Las dos especies son polífagas, se pueden multiplicar en numerosos cultivos, en algunas de las malas hierbas asociadas a estos o en las que permanecen en los barbechos entre dos cultivos consecutivos.

Los medios de control

Medidas preventivas

Como norma general, se procura realizar las plantaciones en suelos no contaminados, aunque no siempre se consigue, dada la amplitud de hospedantes en los que *Rhizoctonia* y *Verticillium* se pueden multiplicar y lo extendidos que están ambos patógenos en los suelos cultivados.

El empleo de plantas no portadoras de uno u otro patógeno parece asequible, y debería ser seguro, en el caso de que se establezcan las plantaciones con plantas de semillas. Más complejo resulta conseguir zuecas totalmente exentas de ambos patógenos (Lacasa y col., 2016). Con frecuencia, las zuecas van acompañadas de suelo que, en algunos casos, está contaminado. En ocasiones, también la zueca (el esqueje sin restos de suelo) está contaminada y acarrea la enfermedad a la parcela de implantación del cultivo.

El tratamiento de las zuecas con fungicidas específicos es una práctica habitual cuyo objetivo es reducir el inóculo que puedan portar. Los resultados son parciales y con cierta frecuencia poco satisfactorios. El tratamiento también sirve para proteger a la zueca del inóculo que haya en el terreno de asiento en las primeras fases del desarrollo.

Las rotaciones con cultivos no susceptibles son deseables en cualquier circunstancia. Las limitaciones de esta práctica surgen en base a los planteamientos productivos o comerciales, dado que no siempre se encuentran cultivos alternativos que resulten atractivos o que se adapten a los esquemas comerciales de los productores de una determinada zona.

Cuando se pretende realizar el ciclo del cultivo (o por lo menos la mayor parte de su ciclo vegetativo) en épo-

cas poco propicias para el desarrollo de las enfermedades, los condicionantes surgen de las imposiciones comerciales o productivas.

La desinfección del suelo en pre-plantación, con el objeto de reducir el inóculo inicial, requiere que se extremen las medidas de sanidad del material vegetal utilizado en la plantación. Se trata de evitar instalar los patógenos con el material vegetal de plantación en el suelo desinfectado.

La utilización de desinfectantes químicos de amplio espectro de acción y de efectos totales (cloropicrina, por ejemplo) proporciona buenos niveles de control de los patógenos fúngicos (Cebolla y col., 2003), reduciendo además de forma drástica el inóculo de la microbiota fúngica involucrada en los fenómenos de fatiga del suelo. Sin embargo, los resultados de la desinfección con desinfectantes generales de efectos parciales (metam sodio, metam potasio o dazomet) mostraron algunas deficiencias (Cebolla y col., 2003), si bien se usan en casos de altos niveles de infestación de los suelos.

La biosolarización, una forma de desinfección del suelo

El fundamento

La biosolarización es la combinación de la biofumigación y la solarización; es decir, una solarización con la adición al suelo de restos orgánicos que se incorporan antes de iniciarse el proceso hidrotérmico de calentamiento del suelo humedecido y de cubrirlo con plástico.

La biofumigación se fundamenta en los efectos que sobre los organismos productores de enfermedades tienen los gases generados durante la biodescomposición de las enmiendas orgánicas y de restos vegetales. En 1993 se denominó *biological fumigation* y, posteriormente, *biofumigation* (Kirkegaard y col., 1993; Kirkegaard, 2014). Poco después se refirió la biofumigación a la acción de las plantas de la familia Brassicaceae sobre los organismos del suelo, bien por cultivarlas en rotación con otros cultivos o bien por utilizarlas como abonos verdes. En la actualidad se han descrito actividades biofumi-

gantes, similares a los de las brásicas, por la descomposición de otros vegetales, de estiércoles de origen animal o urbano, restos de cultivos, subproductos agroindustriales, etc., tanto sólidos como líquidos.

La solarización se define como el proceso de calentamiento del suelo humedecido y cubierto con plástico por la radiación solar y los efectos que el calentamiento tiene sobre los organismos fitoparásitos y patógenos (Katan y col., 1976; Katan, 1981). La eficacia de la solarización depende mucho de las condiciones climáticas (temperatura ambiente o estado del cielo). La cantidad de radiación incidente sobre el suelo bajo el plástico delimita las temperaturas que se alcanzan en el perfil arado del suelo, en el que se hallan instalados los patógenos.

La combinación de la solarización y la biofumigación muestra los efectos complementarios de los dos métodos aplicados por separado. Así, el sellado del suelo con el plástico durante el proceso de biosolarización, no solo contribuye a calentar más el suelo sino que retiene los gases de la descomposición de los aportes orgánicos. Además, el aumento de la temperatura facilita y acelera la descomposición de las enmiendas orgánicas y la inmediata liberación de los gases.

Pero si el humedecimiento del suelo realizado para la biosolarización alcanza niveles de saturación, en el proceso de descomposición de la enmienda orgánica, además de los gases liberados se produce una situación de anoxia que afecta a los patógenos, eliminándolos o reduciendo sus poblaciones. La anaerobiosis que se produce cuando no se llega al estado de saturación, se acentúa cuando se utilizan plásticos impermeables a los gases (*Virtually impermeable film*, VIF o *Total impermeable film*, TIF) para sellar el suelo. A esta forma de desinfección basada en la anaerobiosis se la denomina 'desinfección biológica de suelos' (*biological soil disinfection*, BSD; Block y col., 2000) o 'desinfección anaeróbica del suelo' (*anaerobic soil disinfection*, ASD; Momma y col., 2006; Messiha y col., 2007; Butler y col., 2012, Serrano y col., 2017).

En el suelo sellado, humedecido y

transferencia tecnológica

| hortícolas |

con enmiendas orgánicas en descomposición se producen procesos químicos de oxo-reducción, por lo que algunos autores han denominado a este método de desinfección 'esterilización reductiva del suelo' (*soil reductive sterilization*, SRS; Yossen y col., 2008) o 'desinfección reductiva del suelo' (*reductive soil disinfestation*, RSD; Katase y col., 2009).

De la descomposición de la enmienda orgánica se generan compuestos que inciden sobre patógenos fúngicos o nematodos fitoparásitos (similar a otros compuestos químicos utilizados en la desinfección química) y se aportan nutrientes al suelo, que son aprovechados por los microorganismos saprófitos y por las plantas. El organismo internacional de las Naciones Unidas MBTOC (Methyl Bromide Technical Options Committee) propuso en 2006 encuadrar las anteriores variantes de desinfección de suelos bajo la denominación de 'biodesinfección' (*biodesinfección*) (MBTOC, 2007).

Se tiene constancia que la modificación en la componente microbiológica del suelo afecta, no solo a los organismos patógenos o nocivos para los cultivos (elementos diana de la actuación), sino que implica alteraciones cualitativas y cuantitativas en la otra parte de la microbiota. Una parte de esta microbiota que se ve favorecida por la incorporación de la materia orgánica (una vez que ha sobrevivido a la acción de la biodesinfección, Wang y col., 2014) puede actuar como antagonista de los patógenos o parásitos del suelo, favoreciendo la supresividad del suelo para la manifestación de las enfermedades o alteraciones que éstos producen en los cultivos.

Tales efectos supresivos se han puesto de manifiesto tanto en cultivos arbóreos (por ejemplo, en manzano, Mazzola y col., 2001, 2007) como en cultivos herbáceos (en pimiento, Nuñez-Zofío y col., 2013). En ambos casos, los efectos supresivos generales suelen presentarse en primera instancia; es decir, en los primeros años de la biosolarización. Los efectos supresivos específicos (patógenos concretos) se manifiestan en una segunda fase, a más largo plazo, y la eficacia depende del tipo de suelo

y de determinadas condiciones ambientales (Larregla y col., 2015).

La forma de aplicación

Se ha de arar el terreno de forma que el suelo quede bien desterronado en todo el perfil del cultivo (25-30 cm). Inmediatamente después de esparcir la enmienda orgánica se entierra, procurando que quede bien distribuida y mezclada y que la superficie quede lisa.

El humedecimiento del suelo se puede hacer: i) Colocando las mangueras de riego por goteo en una sola posición, cubriendo con el plástico y a continuación regando hasta que los bulbos húmedos se solapen, al menos en profundidad. ii) Colocando las mangueras en una posición intermedia entre las líneas en las que se enterrarán los bordes del plástico. Se riega durante el tiempo necesario (dependiendo del grado de humedad que tenga el suelo) para que se humedezca una banda continua a cada lado de la manguera. Se cambian las mangueras a una de posición próxima a los lados donde se enterrarán los plásticos. Luego se coloca el plástico y se riega el tiempo necesario para que se humedezca el suelo en una banda a los lados de la manguera.

En cada postura, conviene repartir el tiempo de riego total en dos días sucesivos para facilitar el movimiento del agua en todas las direcciones.

El plástico de cobertura (polietileno o plástico de baja permeabilidad a los gases) ha de quedar bien estirado, enterrado en los bordes (al menos, en el perímetro de la parcela) y, si se solapan láminas, se han de enrollar bien los bordes y se han de grapar de forma que se minimicen las aberturas que causen pérdidas de las emisiones de gases.

Experiencias de aplicación de la biosolarización en los cultivos de alcachofa del sureste

Metodología de los ensayos

Los ensayos se llevaron a cabo como actividades de proyectos de investigación en el ámbito nacional (INIA RTA 2013- C05) o regional (IMIDA PO07-049 y FEDER 2014-20), con la

colaboración imprescindible del sector productor.

La biosolarización se planteó como una parte de las estrategias integradas orientadas a reducir la incidencia de las enfermedades del suelo y a mejorar los rendimientos productivos. En el marco de las rotaciones de la alcachofa con otros cultivos hortícolas, se pretendía aprovechar los restos del cultivo precedente a la alcachofa, en particular del brócoli, como enmienda orgánica biofumigante.

Los ensayos se realizaron entre 2014 y 2017 en parcelas cultivadas reiteradamente de alcachofa y con antecedentes de plantas afectadas por rizoctoniosis y verticilosis. La biosolarización se inició en la tercera decena de junio y se mantuvo el plástico durante seis semanas. Una vez retirado el plástico, se plantaron zuecas de la variedad Blanca de Tudela a finales de agosto, sin labrar el suelo después de la desinfección, al marco de 1,5 m x 0,8 m.

Se evaluaron varias enmiendas orgánicas a base de estiércol fresco de ovino (EFO) a 4, 3 y 1,5 kg/m²; mezcla de EFO y bagazo de cerveza (BG) (1:1 en volumen) a 4 y 3 kg/m²; mezcla de EFO y restos de cultivo de brócoli (BR) (1:1 en peso) a 4 y 3 kg/m²; mezcla de EFO y cascarilla de arroz (CA) (1:1 en volumen) a 4 kg/m².

Tras retirar los restos del cultivo precedente se dio una labor profunda, se extendieron las enmiendas y se enterraron con una labor de rotovator.

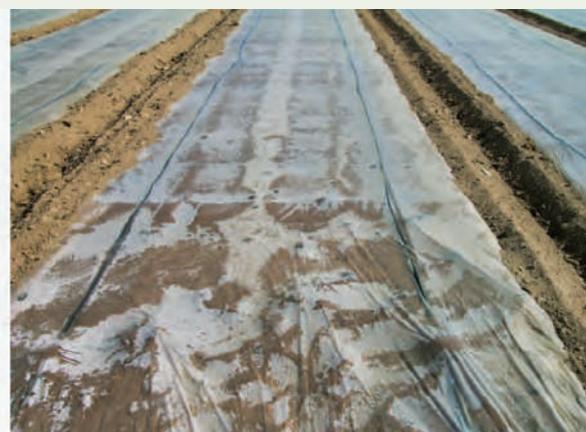
El humedecimiento del suelo se realizó de dos formas: i) Se extendieron las mangueras de riego por goteo (goteros de 3 L/h a 0,40 m), colocándolas en el centro de la banda que cubría cada lona de plástico (el ancho de cada parcela elemental fue de 2,20 m e incluía dos filas de plantas), se regó varias horas seguidas durante dos días consecutivos hasta humedecer una banda de unos 0,70-0,80 m. Luego se cambiaron las mangueras a las proximidades del borde de la parcela, donde se enterraría la lámina de plástico. Se cubrió la parcela con el plástico (polietileno de 0,05 mm de espesor) y se regó en la nueva postura de las mangueras varias horas seguidas en dos días consecutivos. En total, se regó durante cuatro días ii) Se



Fotos 7 y 8. Distribución de las enmiendas en las parcelas experimentales.



Fotos 9 y 10. Humedecimiento del suelo con dos mangueras en cultivos comerciales (izquierda) y con tres mangueras, después de poner el plástico, en parcelas experimentales (derecha).



Fotos 11 y 12. Humedecimiento del suelo con dos mangueras en dos posturas. Una en el centro antes de poner el plástico y otra en los lados después de poner el plástico, en cultivos comerciales (izquierda) y en parcelas experimentales.

transferencia tecnológica

| hortícolas |

extendieron las mangueras (tres por parcela), se cubrió la parcela con el plástico y se regó durante varias horas seguidas en dos días consecutivos.

Efecto sobre los patógenos

Para evaluar la eficacia desinfectante se enterraron, a 15 y 30 cm de profundidad, sondas biológicas de suelo esterilizado inoculado con *V. dahliae* o con *R. solani*, antes de iniciar la desinfección. Al finalizar se extrajeron y se midió el inóculo superviviente y la capacidad infectiva en bioensayos de laboratorio.

La biosolarización con EFO, EFO+BR o EFO+BC redujo totalmente la supervivencia y la infectividad del inóculo de *V. dahliae* a las dos profundidades. En el caso de *R. solani* la infectividad del inóculo superviviente se redujo entre el 60% para EFO+BC y el 100% para EFO a 15 cm y entre el 67% para EFO+BR y el 100% para EFO a 30cm.

El inóculo natural (propio del suelo) de *V. dahliae* se redujo totalmente tras la biosolarización con tres enmiendas (EFO, EFO+BR o EFO+BC) en dos campañas consecutivas.

En definitiva, los resultados indican que la biosolarización cumple las exigencias de la desinfección al reducir eficientemente el inóculo de los patógenos.

Efectos sobre la incidencia de las enfermedades

La reducción del inóculo natural de ambos patógenos tuvo repercusión en la incidencia de las enfermedades de forma distinta. La cuantía de la reducción de la incidencia de la verticilosis varió con las enmiendas, siempre en niveles de plantas infectadas asequibles y aceptables (Tabla 1). Los resultados fueron bastante homogéneos en todos los ensayos.

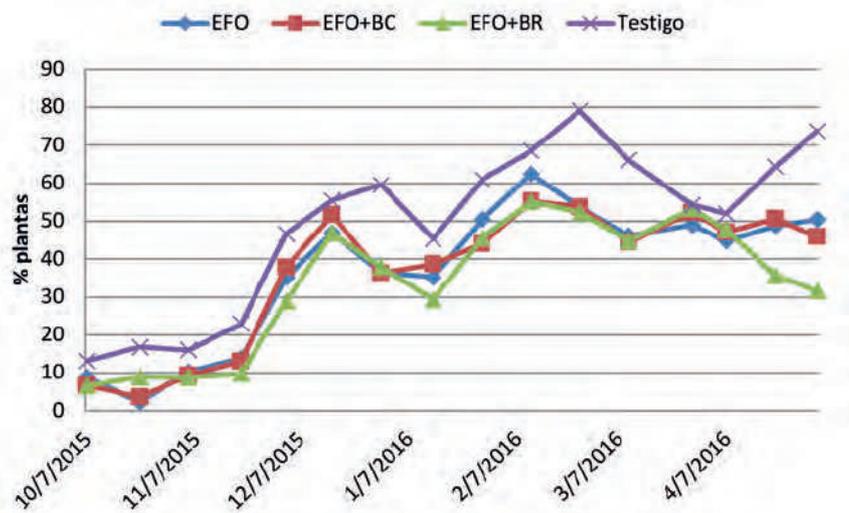
Por el contrario, los resultados de la incidencia de la rizoctoniosis fueron poco consistentes. Variaron mucho en un mismo ensayo y también entre ensayos de las mismas características (Tabla 1).

Tras la desinfección, había quedado inóculo de *R. solani* que, siendo un hongo de crecimiento rápido, colonizó los espacios dejados por otros hongos en el suelo. Esto hizo que se encontraran plantas afectadas desde

Enmiendas	Dosis (kg/m ²)	Nº de ensayos	<i>V. dahliae</i>		<i>R. solani</i>	
			Rango de reducción (%)	Reducción media (%)	Rango de reducción (%)	Reducción media (%)
EFO	4	4	93,6 a 100	98,4	0,0 a 43,2	19,4
EFO	3	1	100,0	-----	91,8	-----
EFO	1,5	1	100,0	-----	86,3	-----
EFO+BC	4	3	93,4 a 100,0	97,2	0,0 a 53,9	33,0
EFO+BC	2	1	89,6	-----	0,0	-----
EFO+BR	4	3	100,0 a 100,0	100,0	0,0 a 41,7	16,5
EFO+BR	3	1	90,6	-----	73,4	-----
EFO+CA	4	1	74,8	-----	0,0	-----

EFO= estiércol fresco de ovino; BC= bagazo de cerveza; BR= restos cultivo brócoli; CA= cascarilla de arroz

Tabla 1. Reducción de la incidencia (variación entre ensayos y media) de *V. dahliae* y de *R. solani* en el cultivo de alcachofa en relación al testigo no desinfectado.



Gráfica 1. Evolución del porcentaje de plantas con síntomas de *R. solani* a lo largo del cultivo en una de las parcelas experimentales. (EFO= estiércol fresco de ovino; BC= bagazo de cerveza; BR= restos cultivo brócoli).

el inicio del cultivo. Sin embargo, la carga de inóculo medio a la que las plantas se vieron sometidas a lo largo del cultivo en los suelos biosolarizados fue menor que en las parcelas no desinfectadas. En consecuencia, la incidencia disminuyó durante gran parte del ciclo del cultivo y la repercusión en la vegetación y en la cosecha pudo ser menor.

Los datos de la Tabla 1 corresponden a la valoración realizada al finalizar el cultivo. En general, el efecto

de la desinfección sobre el inóculo se mantuvo y se tradujo a lo largo del ciclo de cultivo en una menor incidencia de la rizoctoniosis en las parcelas biosolarizadas (Gráfica 1). Sin embargo, los niveles de plantas afectadas fueron poco satisfactorios en la mayoría de las parcelas experimentales.

Sobre el desarrollo de las plantas

La evaluación del desarrollo de las plantas a lo largo del ciclo del cul-

transferencia tecnológica

| hortícolas |

tivo se realizó mediante un índice de vegetación (escala 0,5 a 5). En cada fecha de evaluación se le dio un valor de 5 a la 'mejor' planta, en base a la masa foliar, el número de tallos florales, el número de capítulos y a las características comerciales de los mismos. A partir de ese nivel se asignaron las puntuaciones (0 correspondería a planta muerta) a cada planta de cada parcela experimental. La reducción del inóculo de ambos patógenos en el suelo y la disminución de la incidencia de las enfermedades, junto a los efectos de las enmiendas orgánicas sobre las características físicas y químicas del suelo, proporcionaron aumentos muy notables del índice de vegetación medio (Tabla 2), incluso para las dosis más bajas de enmienda. Las mejoras en la vegetación se mantuvieron en el segundo año de cultivo para todas las enmiendas, entendiendo que la supresión de la fatiga acumulada en los cultivos precedentes se palio con tan solo un tratamiento de biosolarización. En el segundo año, la diferencia entre el índice medio de vegetación de las parcelas no desinfectadas y las biosolarizadas fue mayor que en el primer año de cultivo tras la desinfección (Foto portada).

Sobre la producción

En cada recolección se pesó la cosecha comercial de cada parcela. En la cosecha queda reflejada la incidencia de las enfermedades, los efectos de las enmiendas como mejorantes de las características del suelo y los efectos sobre la fatiga del suelo.

El aumento de la producción comercial en las parcelas biosolarizadas en relación al testigo fue muy notable para todas las enmiendas (Tabla 2). La cosecha comercial varió entre 22.000 kg/ha y 25.000 kg/ha para el estiércol fresco de ovino, entre 22.000 kg/ha y 24.000 kg/ha para la mezcla de estiércol fresco de ovino y bagazo de cerveza o entre 22.000 kg/ha y 28.000 kg/ha para el estiércol fresco de ovino con restos de brócoli, mientras que en los testigos varió entre 13.000 kg/ha y 19.000 kg/ha.

El aumento de la cosecha comercial en el segundo año del cultivo en las parcelas biosolarizadas en relación al testigo se mantuvo, en consonancia con la mejora en el índice de la vegetación.

Enmiendas	Dosis (kg/m ²)	Nº de ensayos	Índice de vegetación		Producción comercial	
			Aumento del índice de vegetación (%)	Aumento medio (%)	Aumento de la cosecha comercial (%)	Aumento medio (%)
EFO	4	4	127,3 a 181,8	145,5	131,6 a 157,1	142,5
EFO	3	1	150,0	-----	120,0	-----
EFO	1,5	1	130,8	-----	120,0	-----
EFO+BC	4	3	133,3 a 172,7	148,1	127,8 a 169,2	142,9
EFO+BC	2	1	136,4	-----	133,3	-----
EFO+BR	4	3	132,3 a 177,3	153,7	131,5 a 169,3	152,1
EFO+BR	3	1	138,5	-----	120,0	-----
EFO+CA	4	1	126,2	-----	133,3	-----

EFO= estiércol fresco de ovino; BC= bagazo de cerveza; BR= restos cultivo brócoli; CA= cascarilla de arroz

Tabla 2. Aumento del índice de vegetación (escala 0,5 a 5) y de la producción comercial de las alcachofas en suelos biosolarizados con varias enmiendas en relación al testigo no desinfectado. Datos al final del cultivo.

En resumen

La biosolarización iniciada a finales de junio, con cualquiera de las enmiendas, redujo de forma drástica el inóculo de *Verticillium dahliae* y, en menor cuantía, el de *Rhizoctonia solani*.

En los suelos biosolarizados, la incidencia de la verticilosis se redujo casi totalmente con todas las enmiendas, mientras que la reducción de la incidencia de la rizoctoniosis fue poco consistente y los efectos de la desinfección se disiparon con el transcurso del ciclo del cultivo.

La biosolarización con cualquiera de las enmiendas proporcionó plantas con mayor índice de vegetación, que supuso un aumento de entre el 126% y el 181% en relación al de las plantas del testigo no desinfectado.

En consonancia con los efectos sobre la vegetación, también aumentó la cosecha comercial en los suelos biosolarizados con cualquiera de las enmiendas, incluso a dosis reducidas, variando entre el 120% y el 169% en relación a la cosecha del testigo no desinfectado. Los aumentos de producción reflejan los efectos sobre

los patógenos principales y sobre la fatiga del suelo.

Por las prestaciones fitosanitarias y agronómicas, por el posicionamiento de la ejecución en un momento adecuado del ciclo anual habitual del cultivo de la alcachofa, porque los efectos trascienden al segundo año de permanencia del cultivo y por las mejoras en las características del suelo, la biosolarización se presenta como una forma eficaz de control de las enfermedades edáficas y de remediación de la fatiga del suelo en los cultivos de alcachofa del sureste peninsular.

La rotación con cultivos de brásicas, en la que la alcachofa siguiera al cultivo del brócoli, permitiría aprovechar los restos del cultivo precedente como complemento a otras enmiendas biofumigantes (estiércoles frescos, semicompostados o compostados, subproductos agroindustriales, etc.), en estrategias integradas de manejo de los sistemas productivos hortícolas.

Bibliografía

- Block WJ, Lamers JG, Termorshuizen AJ, Bollen GJ. 2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology*, 90: 253-259.
- Butler DM, Kokalis-Burelle N, Muramoto J, Shennan C, McCollum TG, Roskopf EA. 2012. Impact of anaerobic soil disinfection combined with soil solarization on plant-parasitic nematodes and introduced inoculum of soilborne plant pathogens in raised-bed vegetable production. *Crop Prot*, 39, 33-40.
- Calot L, Vigliola M. 1975. *Rhizoctonia solani* Kuhn en cultivos de alcachofa (*Cynara cardunculus* var. *scolymus*). *Fitopatología*, 10 (2): 101-103.
- Cebolla V, Navarro C, Monfort P, Llorach S. 2003. El problema de la replantación de la alcachofa (*Verticillium dahliae* Kleb.) en la zona de Benicarló y su control. *Phytoma España*, 149:47-52.
- García-Moya J, Aliaga J, Lacasa A. 1978. Observaciones criptogámicas de los alcachofares. *Levante Agrícola*, 225: 7-17.
- Guerrero MM, Lacasa CM, Martínez V, Martínez MC., Monserrat A, Lacasa A. 2017. Enfermedades del suelo en el cultivo de alcachofa en la Región de Murcia. *Distribución y manejo. Agrícola Vergel*, 406: 390-394.
- Guerrero MM, Lacasa CM, Martínez V, Martínez MC, Larregla S, Lacasa A. 2019. Soil biosolarization for *Verticillium dahliae* and *Rhizoctonia solani* control in artichoke crops in Southeastern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Volume 17, Issue 1, e1002. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13666>.
- Katan J, Greenber A, Alon H, Grinstein A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. *Phytopathology*, 66: 683-688.
- Katan J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology*, 19: 211-236.
- Katase M, Kubo C, Ushio S, Ootsuka E, Takeuchi T, Mizukubo T. 2009. Nematicidal activity of volatile fatty acids generated from wheat bran in reductive soil disinfection. *Nematology Research* 39: 53-62.
- Kirkegaard JA, Gardner J, Desmarchelier JM, Angus JF. 1993. Biofumigation using Brassica species to control pest and diseases in horticulture and agriculture, in: Wrathier, N, Mailes RJ. (eds.), *Proceedings of 9th Australian Research Assembly on Brassicas*. Wagga Wagga (Australia), 5-7 October. *Proceedings*: 77-82.
- Kirkegaard JA. 2014. From canola roots to curbing cancer- A fascinating journey into brassica's beneficial bioactives. 5th International Symposium of Biofumigation. *Aspects of Applied Biology*, 126: 1-3.
- Lacasa A, Martínez V, Lacasa CM, Ramírez B, Guerrero MM. 2016. Las "marras" de plantación, un problema persistente en los alcachofares de la Región de Murcia. *Agrícola Vergel*, 394: 44-50. 2016.
- Larregla S, Guerrero MM, Mendarte S, Lacasa A. 2015. Biodisinfestación with organic amendments for soil fatigue and soilborne pathogens control in protected pepper crops. Chapter 21 in M.K. Meghvansi, A. Varma (eds.), *Organic Amendments and Soil Suppressiveness. Plant Disease Management, Soil Biology* 46, 437-456. 2015. Springer International Publishing Switzerland DOI 10.1007/978-3-319-23075-7_21.
- Mazzola M, Granatstein DM, Elfving DC, Mullinix K. 2001. Suppression of specific apple root pathogens by *Brassica napus* seed meal amendment regardless of glucosinolate content. *Phytopathology*, 91:673-679.
- Mazzola M, Brown J, Izzo AD, Cohen M. 2007. Mechanism of action and efficacy of seed meal-induced pathogen suppression differ in a Brassicaceae species and time-dependent manner. *Phytopathology*, 97, 454-60.
- MBTOC. 2007. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. 2006. In: Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee United Nations Environment Programme. UNEP, 453 pp.
- Messiha N, Van Diepeningen A, Wenneker M, Van Beuningen A, Janse J, Coenen T, Termorshuizen A, Van Bruggen A, Blok W. 2007. Biological soil disinfection (BSD), a new control method for potato brown rot, caused by *Ralstonia solanacearum* race 3 biovar 2. *Eur. J. Plant Path.* 117, 403-415.
- Momma N, Yamamoto K, Simandi P, Shishido M. 2006. Role of organic acids in the mechanisms of biological soil disinfection (BSD). *J. Gen. Plant Path.* 72, 247-252.
- Núñez-Zofío M, Larregla S, Garbisu C, Guerrero MM, Lacasa CM, Lacasa A. 2013. Application of sugar beet vinasse followed by solarization reduces the incidence of *Meloidogyne incognita* in pepper crops while improving soil quality. *Phytoparasitica*, 41: 181-191.
- Serrano P, Roskopf E, De Santiago A, Rodríguez MC. 2017. Anaerobiosis soil disinfection reduces survival and infectivity of *Phytophthora nicotianae* chlamydospores in pepper. *Scientia Horticulturae*, 215: 38-48.
- Yossen V, Zumelza G, Gasoni L, Kobayashi K. 2008. Effect of soil reductive sterilization on Fusarium wilt in greenhouse carnation in Cordoba, Argentina. *Australasian Plant Pathology*, 37: 520-522.
- Tello J. 1984. Enfermedades de la alcachofa (*Cynara scolymus* L.). En *Enfermedades criptogámicas en hortalizas*. Comunicaciones INIA. Serie Protección Vegetal, 22: 255-271.
- Wang Q, Ma Y, Wang G, Gu Z, Sun D, An X, Chang Z. 2014. Integration of biofumigation with antagonistic microorganism can control *Phytophthora* blight of pepper plants by regulating soil bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 61: 58-67.