

El cultivo de brásicas para biosolarización reduce las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en los invernaderos de pimiento del Sudeste de España

C. Ros, F. Sánchez, V. Martínez, C.M. Lacasa, A. Hernández, J. Torres, M.M. Guerrero y A. Lacasa*

Bioteología y Protección de Cultivos, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), C/ Mayor s/n 30150 La Alberca. Murcia

Resumen

Meloidogyne incognita es un problema emergente en los cultivos de pimiento de los invernaderos del Campo de Cartagena (Murcia) tras la eliminación de bromuro de metilo. El cultivo de brásicas en los invernaderos tiene interés para la rotación de los cultivos y como una enmienda verde para la solarización con enmiendas orgánicas ó biosolarización. Algunas especies de brásicas son multiplicadoras de *M. incognita*. Es preciso hacer el balance entre la multiplicación del nematodo durante el cultivo y el efecto sobre las poblaciones durante la biosolarización. En un invernadero contaminado de *M. incognita* se evaluaron, en dos campañas consecutivas, los cultivares 'Boss', 'Carwoodi', 'Karakter' y 'Eexta' de *Raphanus sativus* L., 'Scala' de *Brassica juncea* L. y 'Ludique' de *Sinapis alba* L. Se midió la población de juveniles (J2) en el suelo, el índice de agallas, el número de masas de huevos y el porcentaje de plantas infestadas durante el cultivo de las brásicas y del cultivo de pimiento realizado a continuación de la biosolarización. Los cultivares 'Eexta' y 'Karakter' de *R. sativus* se comportaron como pobres hospedantes y los 'Boss' y 'Carwoodi' como no hospedantes, reduciendo el número de masas de huevos en un 93% a 99% en relación a *Brassica juncea*, a *Sinapis alba* o a las especies arvenses (mayoritariamente *Amaranthus blitoides*) del testigo. La biosolarización con las brásicas verdes redujo la población de juveniles en el suelo. Los efectos no multiplicadores de las brásicas y los de la biosolarización redujeron los daños en las raíces del cultivo de pimiento durante los primeros meses, lo que se tradujo en una mejora de la producción en relación al testigo.

Palabras clave: *Raphanus sativus*, *Brassica juncea*, *Sinapis alba*, nematodos, desinfección de suelos.

Abstract

Brassica crops for biosolarisation reduces the populations of *Meloidogyne incognita* in pepper greenhouses in Southeast of Spain

The root-knot nematode *Meloidogyne incognita* is an emerging problem in pepper crops grown in greenhouses in Campo de Cartagena (Murcia), caused by the banning of methyl bromide. Greenhouse-grown brassica has interest as an excellent rotation crop and as green amendment during the process of biosolarization. Since some species of brassica are multipliers of *M. incognita*, the balance between nematode multiplication during brassica culture and the effect on population reduction during biosolarization should be evaluated. The cultivars 'Boss', 'Carwoodi', 'Eexta' and 'Karakter' (*Raphanus*

* Autor para correspondencia: Alfredo.lacasa@carm.es

<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2016.008>

sativus), 'Scala' (*Brassica juncea*) and 'Ludique' (*Sinapis alba*) were evaluated in a greenhouse naturally contaminated with *M. incognita* during two consecutive years. The J2 population, the gall index, the number of egg masses per plant, and the percentage of affected plants of brassica and pepper were measured during the cultivation period after biosolarization. 'Karakter' and 'Eexta' were considered as poorly hosts to *M. incognita* and 'Carwoodi' and 'Boss' as non-hosts, since they reduced the number of egg masses on a 93-99% compared to cultivars of *Brassica juncea* and *Sinapis alba* and weeds of *Amaranthus blitoides*. The biosolarización with green brassicas reduced the population of juveniles. Non multiplier effects of brassica and biosolarization reduced the galls in pepper roots during the first months of growing, resulting in a better yield compared to the control.

Key words: *Raphanus sativus*, *Brassica juncea*, *Sinapis alba*, nematodes, soil disinfestation.

Introducción

El pimiento es un monocultivo ininterrumpido desde hace más de 20 años en más del 90% de los invernaderos del Campo de Cartagena (Murcia) (Lacasa y Guirao, 1997). La reiteración del cultivo en el mismo invernadero ha supuesto la reducción progresiva de la producción, por la acumulación de patógenos fúngicos específicos (*Phytophthora capsici* Leonian) o generalistas (*Phytophthora nicotianae* Breda de Haan) (Tello y Lacasa, 1997; Blaya et al., 2015) y por el efecto de la fatiga específica, de naturaleza microbiológica (Martínez et al., 2011; Guerrero et al., 2014a).

Meloidogyne incognita (Kofoid y White, 1919) Chitwood 1949 es un nematodo polífago, ampliamente extendido en los suelos de las regiones cálidas. Ocasiona daños y pérdidas en gran número de cultivos hortícolas (Collange et al., 2011; Rudolph et al., 2015). El pimiento es uno de los más afectados en las condiciones de los invernaderos del sureste peninsular (Ros et al., 2008 y 2014; Guerrero et al., 2013). Desde que en 2005 se dejó de desinfectar el suelo con bromuro de metilo, *M. incognita* es un problema emergente en las hortalizas y en las áreas de cultivo en las que se utilizó el fumigante. De las alternativas químicas al bromuro de metilo, la mezcla de 1,3-dicloropropeno y cloropicrina ha sido la más utilizada en el Campo de Cartagena,

por el amplio espectro de acción y por la eficacia frente a los patógenos predominantes (Guerrero et al., 2013).

En la actualidad el uso del 1,3-dicloropropeno y la cloropicrina se encuentran en fase de revisión, en base a las disposiciones de la Directiva Europea 91/414/EEC (Reglamento 1107/2009). Los otros desinfectantes químicos disponibles (generadores de metil-isotiocianato) tienen actividad general y eficacia parcial. La desinfección del suelo con estos productos necesita de medidas complementarias, para mantener niveles adecuados de control de los patógenos en cultivos de larga duración como el pimiento (8-9 meses es el ciclo habitual en los invernaderos del Campo de Cartagena). Las medidas complementarias suelen consistir en la aplicación de compuestos químicos o de agentes de biocontrol, con actividad específica sobre los patógenos principales, durante el desarrollo del cultivo.

Fuera del ámbito de los desinfectantes químicos, la reducción de las poblaciones de los patógenos antes de la plantación se ha intentado mediante biosolarización (solarización con enmiendas orgánicas). Se han obtenido resultados aceptables cuando se lleva a cabo en el periodo de mayor radiación (Núñez-Zofío et al. 2013; Guerrero et al., 2013), pero no en periodos de baja radiación (Guerrero et al., 2013 y 2014b) o con tiempo nublado. Los efectos de la biosolarización se deben a: i) la

acción de la temperatura ii) el efecto de los gases procedentes de la biodescomposición de la enmienda orgánica (Butler et al., 2012), iii) el efecto de anaerobiosis por déficit de oxígeno en el suelo cubierto de plástico (Messiha et al., 2007; Bonanomi et al., 2007 y 2010) y iv) el efecto supresivo de la enmienda, al favorecer el desarrollo de microorganismos que ejercen acciones antagonistas sobre los patógenos (Gamliel y Stapleton 1993; Mazzola et al., 2001 y 2007).

Varias especies de brásicas contienen glucosinolatos en los tejidos (Kirkegaard y Sarwar, 1998; Hansen y Keinath, 2013). Al hidrolizarse los glucosinolatos, por la acción de la enzima endógena mirosinasa, se producen varios isotiocianatos (ITC) volátiles (Bending y Lincoln, 1999; Matthiessen y Kirkegaard 2006; Antoniou et al., 2014) que tienen efectos tóxicos o nocivos para los organismos del suelo. El efecto fumigante de los compuestos liberados al incorporar al suelo las brásicas en verde se ha aprovechado para la desinfección de los suelos y para el control de insectos, hongos, nematodos y especies arvenses (Morra y Kirkegaard 2002; Kirkegaard, 2014).

El efecto tóxico de los isotiocianatos para una variada gama de hongos del suelo es ampliamente conocido desde hace más de dos décadas (Manici et al., 1997 y 2000, Larkin y Griffin, 2006, Smolinska et al., 2003, Pikerton et al., 2000). El efecto biofumigante y la eficacia en el control de los patógenos depende de la especie de brásica, de la cantidad de biomasa que se genera durante su cultivo, del estado fenológico de las plantas en el momento de la incorporación al suelo, de la temperatura del suelo durante el periodo de descomposición de la biomasa, de la permeabilidad y del tipo de plástico cuando se usa con solarización, y del patógeno (Hansen y Keinath, 2013).

También se han puesto de manifiesto efectos de las brásicas sobre las poblaciones de distintos grupos de nematodos del suelo (Pi-

kerton et al., 2000, Ploeg y Stapleton, 2001, Lazzeri et al., 2004, Butler et al., 2012, Graven, 2014). Ploeg y Stapleton (2001) señalan que la eficacia en el control de *M. incognita* y *M. javanica* en melón mejora al incorporar restos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) al suelo antes de iniciar la solarización. La reducción de los daños en las raíces a temperaturas de 25 a 35°C es más drástica que a temperatura del suelo inferior o igual a 20°C. Con los restos de la extracción de aceite de semillas de varias especies de brásicas se redujeron las poblaciones de *M. incognita* y la incidencia del nematodo en tomates (Curto et al., 2014) y de *Meloidogyne hapla* en zanahoria (Graven, 2014). En este último caso la eficacia en la reducción de las poblaciones mejora al combinar las brásicas con la solarización, no siendo tan clara la reducción de los daños en las plantas de zanahoria. Por el contrario, Pikerton et al. (2000) señalan que la reducción de las poblaciones de *Pratylenchus penetrans* es mayor cuando se biosolariza el suelo con restos verdes de *Brassica napus* que cuando se biofumiga (incorporación de las plantas sin cubrir el suelo con plástico) con los restos de la misma especie.

Al evaluar estrategias de manejo de *M. incognita* en varios cultivos hortícolas ecológicos se han obtenido buenos resultados biosolarizando el suelo con plantas de *Eruca sativa* y con pellets de *Brassica carinata*, pero no cuando se utilizó *B. juncea* (Mosso et al., 2014). La variabilidad entre las especies de brásica en los efectos de la biofumigación y biosolarización sobre una especie de nematodo se relaciona con los glucosinolatos específicos generados, con su nivel en la planta en el momento de enterrarla y con la forma de manifestación de los efectos (toxicidad, supresividad, anaerobiosis, etc.). Así, para especies como *S. alba*, *B. juncea* o *Eruca sativa* se reconocen efectos directos de los gases liberados en la descomposición y efectos supresivos, mientras que este último efecto no se da para *B. napus* (Kruger et al., 2014).

El cultivo de brásicas previo a la implantación de una hortaliza puede servir: i) Como cultivo de plantas trampas para atraer a los nematodos a las raíces y una vez instalados destruir las plantas antes de que haya completado el ciclo vital de multiplicación o desarrollo. ii) Como rotación de cultivos para paliar los efectos de la fatiga en suelos con monocultivos reiterados, al impedir la selección de patógenos subclínicos competidores con las plantas del monocultivo. iii) Para aprovechar la biomasa producida como enmienda verde biofumigante. Las especies o cultivares a utilizar para los dos últimos fines es deseable que, durante el ciclo de cultivo, no multipliquen el nematodo que se pretende controlar. Este requisito es particularmente importante en el caso de las especies de *Meloidogyne* en áreas de cultivo con clima cálido (McLeod et al., 2001; Stirling y Stirling, 2003).

En los invernaderos de pimiento en el Campo de Cartagena el cultivo de brásicas, entre dos cultivos de pimiento, tienen singular interés en agricultura ecológica. Puede ser una rotación cultural y pueden ser utilizadas como enmienda biofumigante verde. En ensayos previos, en los que se evaluaba el efecto de la biosolarización con distintas especies de brásicas como *S. alba*, *B. juncea* y varios cultivares de *Raphanus sativus*, tratando de complementar la baja eficacia de la solarización iniciada en noviembre, se puso de manifiesto que algunas especies como *Sinapis alba* o *B. juncea* se infestaban de *M. incognita* más que las variedades de *R. sativus*. Esto permitía el desarrollo del nematodo en las plantas durante el ciclo de cultivo, antes de ser enterradas como enmiendas biofumigantes. En esas condiciones, el control del nematodo en el posterior cultivo de pimiento no resultó totalmente satisfactorio (Martínez et al., 2010), aunque no se originaron pérdidas de producción.

Estos resultados nos indujeron a plantear un ensayo en el que se evaluara la capacidad multiplicadora de *M. incognita* de varias especies

de brásicas (posibles hospedantes del mismo), y la eficacia de la biosolarización con las plantas verdes para el control de *M. incognita* en el siguiente cultivo de pimiento. Los resultados permitirían hacer el balance entre la capacidad multiplicadora de la brásica y la reducción posterior de las poblaciones del nematodo obtenida tras la biosolarización así como la repercusión en el cultivo de pimiento.

Material y métodos

Características del invernadero

Los ensayos se han realizado en un invernadero de la finca experimental Torreblanca del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), situada en la comarca del Campo de Cartagena (Murcia) (X: 685178; Y: 4183226), durante las campañas 2012-2013 (Ensayo 1) y 2013-2014 (Ensayo 2). El suelo es franco arcilloso, con pH 7,8, con el 2,2% de materia orgánica, contaminado con altas poblaciones de *M. incognita*, con monocultivo de pimiento desde hace 16 años. El invernadero es de tipo parral, de 400 m², orientación este-oeste, con cubierta de plástico tricapa de larga duración y 0,2 mm de espesor, en el primer año de utilización, al iniciar el ensayo.

Planteamiento del ensayo

Se evaluaron cuatro cultivares de *R. sativus* ('Boss' de P H Petersen; 'Carwoodi' 'Eexta' y 'Karakter' de Intersemillas S.A.), un cultivar de *B. juncea* ('Scala' de Intersemillas S.A.) y otro de *S. alba* ('Ludique' de Intersemillas S.A.). En el Ensayo 2 (2013-2014) no se evaluó *S. alba* por deficiente germinación de las semillas. Las brásicas se cultivaron entre mediados de agosto y mediados de octubre. Luego se enterraron y se biosolarizó durante 4 semanas, cubriendo el suelo con plástico de po-

lietileno transparente (Sotrafa S.A.) de 0,05 mm de espesor. La incorporación al suelo de la biomasa verde se realizó triturando las plantas con una labor superficial de rotovator y luego se enterraron con una segunda labor profunda de rotovator. Las mismas labores se realizaron en el suelo sin enmiendas. Antes del triturado e incorporación de las plantas al suelo se evaluó la biomasa aérea fresca y seca, recolectando las plantas de 1 m² en tres puntos de cada parcela elemental, sólo en 2012-2013 (Ensayo 1), ya que en 2013-2014 (Ensayo 2) la germinación de las semillas fue baja. Debido a que el terreno mantiene humedad en el momento de enterrar la enmienda verde y a la humedad aportada por la propia brásica no se consideró necesario el aportar agua de riego.

Para evaluar el efecto de la biosolarización y así poder hacer balance entre el efecto multiplicador de la brásica y la reducción de población ocasionada por la biosolarización, se estableció un cultivo de pimiento (cultivar 'Utiel', De Ruiters Seeds) a continuación. Se plantó entre principios y mediados de diciembre, según el ensayo, con un marco de plantación de 1,0 x 0,40 m que suponen 25.000 plantas/ha, finalizando el cultivo la primera semana de agosto. Las fechas de

siembra de las brásicas, de la biosolarización y del establecimiento del cultivo de pimiento se ajustan a las habituales de los productores de pimiento ecológico en los invernaderos del Campo de Cartagena (Tabla 1). Las dosis de siembra fueron las recomendadas, para esas fechas de siembra, por las empresas de semillas (15 kg/ha para *R. sativus* y 10 kg/ha para *S. alba* y *B. juncea*).

El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones por tratamiento y parcelas elementales de 18 m², en las que se plantaron tres filas con 13 plantas de pimiento cada una. Los tratamientos fueron: testigo sin brásicas ni biosolarización, biosolarización con *R. sativus* 'Boss'; biosolarización con *R. sativus* 'Carwoodi'; biosolarización con *R. sativus* 'Eexta'; biosolarización con *R. sativus* 'Karakter'; biosolarización con *S. alba* 'Ludique'; biosolarización *B. juncea* 'Scala'.

Parámetros medidos

Biomasa fresca y seca de las brásicas

La materia fresca se pesó *in situ* y, de cada metro cuadrado, se tomó una alícuota de unos 2 kg y se desecó en estufa a 75 °C durante 24 horas, hasta peso constante.

Tabla 1. Fechas de siembra de las brásicas, de biosolarización del suelo y de plantación del pimiento
Table 1. Dates of brassica seeding, soil biosolarization and pepper plantation

Fechas	Ensayo 1 (2012-2013)	Ensayo 2 (2013-2014)
Siembra brásicas	16 agosto 2012	12 agosto 2013
Final cultivo brásicas	20 octubre 2012	10 octubre 2013
Inicio biosolarización	30 octubre 2012	15 octubre 2013
Final biosolarización	3 diciembre 2012	20 noviembre 2013
Plantación pimiento	18 diciembre 2012	4 diciembre 2013
Final cultivo del pimiento	8 agosto 2013	10 agosto 2014

Poblaciones de juveniles en el suelo

En cada parcela elemental se tomó una muestra (suelo de 5 puntos a 5-20 cm de profundidad) al final del cultivo de pimiento precedente, durante y al final del cultivo de las brásicas, antes y después de la biosolarización, durante y al final del cultivo de pimiento. Los juveniles J2 se extrajeron de las muestras de suelo utilizando el método descrito por Barker (1985).

Agallas y masas de huevos de Meliodogyne en brásicas y pimiento

En tres fechas en 2012 (a los 40, 70 y 83 días de la siembra) y en dos en 2013 (a los 30 y 40 días de la siembra) se arrancaron 5 plantas de las brásicas en cada parcela elemental y de *Amaranthus blitoides* (especie arvense predominante) en las parcelas testigo. Se examinaron las raíces y se anotó el índice de agallas según la escala de Bridge y Page (1980) (0 = raíces sin agallas, 10 = raíces totalmente ocupadas por agallas) y el número de masas de huevos. Al final del cultivo de las brásicas se repitió el muestreo del suelo, antes de triturar las plantas.

Durante el cultivo del pimiento se hicieron evaluaciones mensuales de los daños en las raíces (índice de agallas). En cada fecha se descubrió una parte del sistema radicular de 3 plantas, tomadas al azar, en cada parcela, y se anotó el índice de agallas según la escala de Bridge y Page (1980). Al final del cultivo se repitió el muestreo arrancando 5 plantas en una fila de cada parcela elemental.

Producción de pimiento

En cada recolección se clasificaron los frutos, pesando los de cada categoría comercial por separado (extra, primera, segunda, tercera y destrío). La producción comercial se consideró la suma de las cuatro primeras categorías y la total la suma de la comercial y el destrío.

Análisis de datos

Los resultados se expresan como tanto por ciento de plantas con agallas, índice medio de agallas y como número de masas de huevos/planta. La comparación entre tratamientos se realizó mediante el ANOVA y el test LSD al 95%. Para normalizar los datos se empleó la transformación Arcsen (\sqrt{x}), siendo x el porcentaje de plantas con agallas.

Los datos de producción se expresaron en kg/m². Para normalizar los datos se empleó la transformación Log₁₀(x+1), donde x es la producción. Se realizó el análisis de varianza ANOVA de los datos y se realizó la comparación de las medias mediante el test de comparaciones múltiples LSD al 95%.

Resultados

Biomasa fresca y seca de las brásicas

No se encontraron diferencias entre especies y cultivares ni en la biomasa fresca ni en la seca (Tabla 2).

Evolución de las poblaciones de juveniles de *Meloidogyne* en el suelo

Las poblaciones de juveniles de segundo estadio (J2) en las muestras de suelo aumentaron al desarrollarse el cultivo de las brásicas (Tabla 3) en el Ensayo 1. El incremento de las poblaciones de juveniles J2 fue mayor en las parcelas de *B. juncea* y *S. alba* que en las de los *Raphanus*. Después de la biosolarización las poblaciones remanentes en el suelo fueron menores en los cultivares de *R. sativus* que en las otras brásicas. Las poblaciones de juveniles J2 más bajas se obtuvieron para 'Karakter' y 'Carwoodii'. A los 108 días las poblaciones de juveniles J2 en las muestras de suelo fueron muy bajas, encontrándose diferencias entre tratamientos ($P < 0,05$). En *B.*

Tabla 2. Peso de la materia fresca y seca (media \pm error estándar) de las brásicas en el Ensayo 1 (2012-2013)
 Table 2. Brassica biomass. Fresh and dry weight (average \pm standard error) of the brassicas in Trial 1 (2012-2013)

Tratamientos	Peso fresco (kg/ha)	Peso seco (kg/ha)
<i>R. sativus</i> Boss	50.890 \pm 1090,6	6.634 \pm 143
<i>R. sativus</i> Carwoodi	51.900 \pm 1719,7	6.841 \pm 227
<i>R. sativus</i> Eexta	51.340 \pm 924,6	6.723 \pm 123
<i>R. sativus</i> Karakter	52.020 \pm 937,4	6.802 \pm 121
<i>B. juncea</i> Scala	46.820 \pm 1281,3	7.074 \pm 193
<i>S. alba</i> Ludique	47.350 \pm 1261,9	7.159 \pm 191
significación	ns	ns

Tabla 3. Poblaciones de juveniles (J2/100 ml de suelo) de *Meloidoyne incognita* durante el periodo de cultivo de las brásicas, después de la biosolarización, durante el cultivo de pimiento y al final del cultivo del pimiento en el Ensayo 1 (2012-2013)

Table 3. Populations of *Meloidoyne incognita* (juveniles J2 / 100 mL soil) during the growing period of brassicas, after biosolarization, during the pepper crop and end of growing peppers in Trial 1 (2012-2013)

	40 días cultivo de brásicas	70 días cultivo de brásicas	Después biosolarización	108 días cultivo de pimiento	Final cultivo de pimiento
Tratamiento	27-09-2012	27-10-2012	10-12-2012	05-04-2013	26-07-2013
<i>R. sativus</i> Boss	3,0ab	13,3b	2,3ab	0,7ab	1.360,7a
<i>R. sativus</i> Carwoodi	1,7ab	10,7b	1,0ab	1,7ab	1.704,7a
<i>R. sativus</i> Eexta	0,0a	1,0a	7,0b	0,0a	8.114,0b
<i>R. sativus</i> Karakter	0,7ab	12,0b	0,3a	0,0a	2.833,0ab
<i>S. alba</i> Ludique	10,7c	133,7c	26,7c	0,0a	4.558,7ab
<i>B. juncea</i> Scala	12,7c	421,7c	20,3c	2,7b	2.277,7ab
Testigo	4,7bc	1,3ab	1,0ab	0,0a	2.479,0ab

Dentro de una columna, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

juncea fueron mayores que en el testigo, que en *S. alba*, y que en los cultivares 'Eexta' y 'Karakter' de *R. sativus*. En la última mitad del ciclo de cultivo (entre el 5 de abril y el 26 de julio) de pimiento las poblaciones se multiplicaron por más de 840 en las parcelas de *B. juncea* o por más de 8000 en las de *R. sativus* 'Eexta', no guardando relación con las

densidades encontradas en muestreos precedentes (Tabla 3).

En el Ensayo 2, después del cultivo de las brásicas, la población de juveniles en el suelo de las parcelas de *R. sativus* fue entre 3 y 24 veces menor que en las de *B. juncea* y que en las del testigo, y menor en *R. sativus* 'Carwoodi' que en *R. sativus* 'Eexta' (Tabla 4).

Tabla 4. Poblaciones de juveniles (J2/100 mL de suelo) de *Meloidogyne incognita* antes y después del cultivo de las brásicas en el Ensayo 2 (2013-2014)

Table 4. Populations of *Meloidogyne incognita* (J2/100 mL soil) before and after the growing period of brassica in Trial 2 (2013-2014)

Tratamiento	Antes cultivo (08-08-2013)*	Después cultivo (10-10-2013)
<i>R. sativus</i> 'Boss'	173	10,0ab
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	173	5,0a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	173	42,7b
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	173	11,3ab
<i>B. juncea</i> 'Scala'	173	123,5c
Testigo	173	122,0c

* media de 4 muestras (144, 296, 212 y 40 J2/100ml suelo) tomadas en los tres bloques: cada muestra con suelo de 12 puntos (4 en cada bloque).

En una columna, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

Incidencia de *Meloidogyne incognita*

Agallas en las raíces de las brásicas y presencia de masas de huevos

En el Ensayo 1, se observaron diferencias en el poder multiplicador del nematodo entre brásicas y en la intensidad de los daños en las raíces (índice de agallas) (Tabla 5). Las diferencias están en consonancia con las poblaciones de juveniles J2 que quedaron en el suelo de las parcelas. Los cultivares de *Raphanus* fueron menos multiplicadores que los de *S. alba* y *B. juncea*. Éstos al final del cul-

tivo multiplicaron tanto el nematodo como la especie arvense predominante (*Amaranthus blitoides*) en el testigo.

Los resultados del ensayo 2 (Tabla 6) fueron similares a los del Ensayo 1. Al final del cultivo se encontraron diferencias entre cultivares de *R. sativus* y entre estos y los de *B. juncea* y la especie arvense (*A. blitoides*) predominante en el testigo, tanto en el índice de agallas como en el número de masas de huevos. *Amaranthus* es considerado por Noling y Gilreath (2002) como buen hospedante de *M. incognita*.

Tabla 5. Índice de agallas, masas de huevos en las agallas y porcentaje de plantas infestadas, a lo largo del periodo de cultivo de las brásicas en el Ensayo 1 (2012-2013)
 Table 5. Galls index, average of number of egg masses/plant and percentage infested plants during the growing period of brassica in Trial 1 (2012-2013)

Brásica	Índice de agallas	Masas de huevos	% plantas infestadas
12/09/2012			
<i>R. sativus</i> 'Boss'	1,3ab	0,9a	66,7a
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	0,5a	0,1a	40,0a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	0,8a	2,9a	40,0a
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	0,8a	1,4a	60,0a
<i>S. alba</i> 'Ludique'	0,6a	0,7a	46,7a
<i>B. juncea</i> 'Scala'	2,1b	0,6a	80,0a
Testigo	ne	ne	ne
27/09/2012			
<i>R. sativus</i> 'Boss'	1,6bc	0,0a	60,0b
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	0,2a	0,0a	13,3a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	0,9ab	5,7ab	46,7b
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	0,5ab	0,0a	33,3ab
<i>S. alba</i> 'Ludique'	2,8d	13,5b	100,0c
<i>B. juncea</i> 'Scala'	1,3bc	1,8a	73,3b
Testigo	2,8d	32,3b	100,0c
27/10/2012			
<i>R. sativus</i> 'Boss'	1,6bc	5,1a	73,3ab
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	0,5a	0,4a	40,00a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	2,0bc	6,5a	93,3b
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	1,3ab	7,5a	66,7ab
<i>S. alba</i> 'Ludique'	4,1d	84,7b	100,0b
<i>B. juncea</i> 'Scala'	3,5cd	98,1b	100,0b
Testigo	3,8d	79,4b	100,0b

ne = no evaluado.

En una columna y fecha, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

Tabla 6. Índice de agallas, masas de huevos en las agallas y porcentaje de plantas infestadas a lo largo del periodo de cultivo de las brásicas en el Ensayo 2 (2013-2014)
 Table 6. Galls index, average of number of egg masses/plant and percentage of infested plants during the growing period of brassica in Trial 2 (2013-2014)

Brásica	Índice de agallas	Masas de huevos	% plantas infestadas
11/09/2013			
<i>R. sativus</i> 'Boss'	1,9b	9,5bc	100
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	1,1a	1,3a	80
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	2,9c	5,3bc	100
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	1,3a	3,2ab	80
<i>B. juncea</i> 'Scala'	2,3bc	6,9bc	100
Testigo	2,4bc	10,1c	100
30/09/2013			
<i>R. sativus</i> 'Boss'	1,3a	6,8b	100
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	1,0a	2,1a	73,3
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	2,1b	9,3bc	100
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	2,8bc	23,4c	100
<i>B. juncea</i> 'Scala'	4,1d	40,5d	100
Testigo	3,3cd	40,9d	100

En una columna y fecha, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

Agallas en las raíces del pimiento

En el Ensayo 1, hasta junio se encontraron diferencias entre cultivares de *R. sativus*, tanto en el porcentaje de plantas de pimiento infestadas como en el índice de agallas, y entre cultivares de *R. sativus* y los de las otras brásicas y del testigo (Tabla 7). Las diferencias entre los tratamientos fueron más patentes a medida que avanzó el ciclo del cultivo. En el momento de finalizar el cultivo, las diferencias entre tratamientos se disiparon, indicando que el efecto de la biosolarización no pro-

porcionó una protección del cultivo satisfactoria, al infestarse todas las plantas de todos los tratamientos, con similar índice de agallas.

En el Ensayo 2 se encontraron diferencias entre cultivares de *R. sativus* y el testigo no biosolarizado en los primeros meses de cultivo del pimiento, tanto en el porcentaje de plantas con agallas como en el índice de agallas en las raíces (Tabla 8). Las diferencias se disiparon a partir de abril. Desde ese momento fueron similares el índice de agallas y el porcentaje de plantas infestadas en todos los tratamientos.

Tabla 7. Índice de agallas en las raíces y porcentaje de plantas de pimiento infestadas en las parcelas biosolarizadas con las diferentes brásicas en el Ensayo 1 (2013)
 Table 7. Gall index and percentage of infested plants of pepper in biosolarized plots with different cultivars of brassica in Trial 1 (2013)

Tratamiento	06/02/13	12/03/13	30/04/13	11/06/13	26/07/13
Índice de agallas					
<i>R. sativus</i> 'Boss'	0,4ab	1,1abc	1,1ab	1,9bcd	4,0a
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	0,0a	0,5a	0,5a	1,0a	4,0a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	0,3ab	1,5c	1,6bc	1,8bc	4,0a
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	0,0a	0,7ab	1,4bc	1,5ab	4,1a
<i>S. alba</i> 'Ludique'	0,3ab	1,2bc	2,1c	2,9d	4,3a
<i>B. juncea</i> 'Scala'	0,6b	1,3bc	2,1c	2,8cd	4,1a
Testigo	0,6b	1,3bc	1,4bc	2,1bcd	4,3a
Plantas de pimiento infestadas, %					
<i>R. sativus</i> 'Boss'	26,7bc	80,0ab	80,0b	93,3b	100,0a
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	0,0a	53,3a	46,7a	60,0a	100,0a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	20,0ab	100,0b	100,0c	100,0b	100,0a
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	0,0a	60,0a	80,0b	86,7b	100,0a
<i>S. alba</i> 'Ludique'	33,3abc	86,7ab	100,0c	100,0b	100,0a
<i>B. juncea</i> 'Scala'	60,0c	86,7ab	100,0c	100,0b	100,0a
Testigo	46,7bc	100,0b	100,0c	100,0b	100,0a

En una columna, parámetro y fecha, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

Producciones

En el Ensayo 1, no se encontraron diferencias entre especies de brásicas ni entre cultivares de *R. sativus*, ni en la producción comercial precoz ni en la comercial final (Tabla 9), ni en la comercial acumulada por fechas de recolección. Se encontraron diferencias entre tratamientos en algunas categorías comerciales, siendo mayor la cantidad de cosecha de la ca-

tegoría extra en *S. alba*, *B. juncea* y *R. sativus* 'Eexta' que en el resto. Todos los cultivares de *R. sativus* y el de *S. alba* produjeron más que el testigo no biosolarizado.

En el Ensayo 2, *R. sativus* 'Carwoodi' y 'Karakter' produjeron más cosecha comercial precoz que el testigo no biosolarizado. Al final del cultivo, todas las brásicas produjeron más que el testigo (Tabla 9).

Tabla 8. Índice de agallas en las raíces y porcentaje de plantas de pimiento infestadas en las parcelas biosolarizadas con las diferentes brásicas en el Ensayo 2 (2014)
 Table 8. Gall index and percentage of infested plants of pepper in biosolarized plots with different cultivars of brassica in Trial 2 (2014)

Tratamiento	13/01/14	12/03/14	14/04/14	27/05/14	17/7/14
Índice de agallas					
<i>R. sativus</i> 'Boss'	0,7ab	0,6a	0,8a	1,3a	3,1a
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	0,6ab	0,9ab	1,6ab	1,5a	3,7a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	0,6ab	1,1bc	1,4ab	1,4a	3,5a
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	0,3a	0,7ab	1,2ab	1,6a	3,7a
<i>B. juncea</i> 'Scala'	0,7ab	1,1bc	1,4ab	1,3a	3,6a
Testigo	0,8b	1,4c	1,7b	1,9a	3,9a
Plantas de pimiento infestadas, %					
<i>R. sativus</i> 'Boss'	66,7a	55,6a	44,4a	75,0a	100,0a
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	55,6a	77,8a	77,8b	75,0a	100,0a
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	55,6a	77,8a	77,8b	75,0a	100,0a
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	33,3a	66,7a	77,8b	75,0a	100,0a
<i>B. juncea</i> 'Scala'	66,7a	100,0a	77,8b	75,0a	100,0a
Testigo	75,0a	100,0c	100,0b	100,0a	100,0a

En una columna y para cada parámetro, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

Tabla 9. Producciones comerciales (kg/m^2) en los dos ensayos realizados
 Table 9. Pepper marketable yield (kg/m^2) in two growing seasons

Tratamientos	Ensayo 1 (2012- 2013)		Ensayo 2 (2013-2014)	
	Precoz	Total	Precoz	Total
<i>R. sativus</i> 'Boss'	5,3b	9,6b	4,6ab	8,9b
<i>R. sativus</i> 'Carwoodi'	5,0b	8,8 b	4,7b	9,0b
<i>R. sativus</i> 'Eexta'	3,8b	7,8b	4,4ab	8,8b
<i>R. sativus</i> 'Karakter'	4,4b	7,8b	4,7b	9,0b
<i>S. alba</i> 'Ludique'	3,6ab	7,9 b	4,4ab	8,8b
<i>B. juncea</i> 'Scala'	4,2b	7,5ab	—	—
Testigo	2,2a	5,8a	3,6 a	6,7a

En una columna, las medias con la misma letra no son diferentes ($P < 0,05$).

Discusión

Los resultados muestran que las especies de brásicas evaluadas son hospedadores de *M. incognita*. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre especies en el poder multiplicativo del nematodo y en los efectos de la biosolarización al utilizarlas como enmiendas orgánicas para el control de *M. incognita* en invernaderos de pimiento. Mientras los cultivares de *S. alba* y *B. juncea* se muestran buenos hospedadores, los cultivares de *R. sativus* se muestran pobres o no hospedantes, en particular, 'Boss', 'Carwoodi' y 'Karakter' en los que se producen, dependiendo del año, entre 200 y 20 veces menos masas de huevos. Similares consideraciones se desprenden del trabajo de Curto et al. (2005) en el que se indica que los cultivares de *B. juncea* son buenos hospedantes de *M. incognita* y que el cultivar 'Boss' de *R. sativus* se puede considerar como no hospedador. Por su parte, Edwards y Ploeg (2014), en ensayos realizados en condiciones controladas, encuentran similares resultados a los nuestros para el cultivar 'Boss' de *R. sativus* y consideran a los cultivares de *B. juncea* como los mejores hospedadores de las brásicas estudiadas, por los mayores índices de agallas que presentan, próximos a los del cultivar 'UC82' de *Solanum lycopersicum*, utilizado como referencia.

Los niveles de infestación y multiplicación pueden depender de las fechas de siembra y del tiempo de desarrollo del cultivo, además del cultivar de cada especie. En nuestro caso no se han encontrado diferencias entre el cultivar 'Scala' de *B. juncea* y el cultivar 'Ludique' de *S. alba*. Sin embargo, otros cultivares de *S. alba* como 'Abraham' y 'Accent' se han comportado como hospedantes medios, multiplicando menos de 2 a 8 veces el nematodo que los cultivares 'ISCI99', 'Menfix' o 'Pacific Golden' de *B. juncea* (Edwards y Ploeg, 2014). Según Curto et al. (2005), sólo la selección 'ISI 15' de *Rapistrum rugosum* se

comportaría como no hospedador total, al no conseguir el nematodo colonizar las raíces después de 15 semanas de exposición lo que hace sea un cultivar interesante para enmienda biofumigante. Entre esta última especie y cultivar y los mencionados cultivares de *R. sativus* hay una amplia variación de capacidades multiplicadoras (evaluadas en número de agallas en las raíces y poblaciones de juveniles J2 en el suelo donde se desarrollan las brásicas) según especies y cultivares dentro de una especie. Así, algunos cultivares de *S. alba*, *Eruca sativa*, *B. napus* y *B. oleracea* muestran comportamientos similares a los del cultivar 'Boss' de *R. sativus*, que parece presentarse como un no hospedador o pobre hospedador-multiplicador de *M. incognita* (Edwards y Ploeg, 2014).

En este trabajo se ha evaluado el número de masas de huevos sobre las raíces como indicador complementario del índice de agallas y de la población de juveniles J2 encontrada en el suelo en dos momentos (a los 40 y 60 ó 70 días de la siembra) de desarrollo del cultivo de las brásicas. Las amplias variaciones en las poblacionales encontradas en las muestras de los suelos proporcionan una estima de la capacidad multiplicadora del hospedador, pero en ensayos de invernadero, en suelo natural, es difícil evitar la presencia de malas hierbas que puedan ser también hospedadores y multiplicadores del nematodo, por lo que el número de masas de huevos representaría mejor el carácter hospedador y multiplicador del cultivar que se evalúa, que la población de juveniles J2 en las muestras de suelo.

Sería preciso considerar que la capacidad multiplicadora no estaría representada sólo por la habilidad del nematodo para instalarse en las raíces de las brásicas, desarrollarse las hembras y de que éstas produzcan masas de huevos, ya que una parte de los huevos podrían no ser viables y los juveniles producidos no ser capaces de infestar las raíces del pimiento, como señalan Curto et al (2005), Me-

lakerberhan et al. (2006) y Edwards y Ploeg (2014). Este mecanismo de resistencia indicaría que el mejor uso de las brásicas sería como plantas trampa en la rotación de cultivos, más que como enmienda biofumigante.

En este estudio se incluye el uso de la biomasa producida por el cultivo de las brásicas como enmienda biofumigante en el proceso de biosolarización del suelo, y su repercusión en el control de *M. incognita* en el subsiguiente cultivo de pimiento. La cantidad de biomasa fresca producida fue similar para todos los cultivares y del mismo orden que la obtenida por Hansen y Keinath (2013) para cultivares (5,16 kg/m² con el cultivar 'Pacific Golden' de *B. juncea*) de las mismas especies o de afines, y similares densidades de siembra.

Durante la biosolarización la temperatura del suelo a 15 y 30 cm de profundidad no alcanzó 30°C en ningún momento, por lo que la drástica reducción de las poblaciones (97,5% en *R. sativus* 'Karakter', 95,2% en *B. juncea* 'Scala', 90,0% en *R. sativus* 'Carwoodi', 82,8% en *R. sativus* 'Boss', 80,0% en *S. alba* 'Ludique') en todos los tratamientos, excepto en *R. sativus* 'Eexta', no se explicaría por el efecto térmico. Según Wang y McSorely (2008) se necesitan unas 390 horas a 38 °C para matar todos los huevos y 46 horas a la misma temperatura constante para matar los juveniles J2 de *M. incognita*. Sin embargo, Ploeg y Stapleton (2001) indican que es necesario mantener el suelo a 40 °C durante 19 días para eliminar la infestación del suelo, mejorando la eficacia al incorporar restos de brócoli al suelo durante la solarización. Tiempos acumulados de temperaturas superiores a 38 °C similares a los indicados por Wang y McSorely (2008) se obtienen en los invernaderos del Campo de Cartagena si la biosolarización se inicia en agosto, pero no si se inicia en octubre (Guerrero et al., 2013). Tras una solarización en Florida (EE.UU.) durante seis semanas, en el verano, en la que la temperatura se mantuvo por encima de 40 y 42 °C más

horas de las determinadas como letales para los juveniles J2, las poblaciones de *M. incognita* en el suelo aumentaron a lo largo del siguiente cultivo de pimiento (Wang y McSorely, 2008), como ocurrió en el invernadero del Campo de Cartagena biosolarizado en agosto (Guerrero et al., 2013).

La reducción de las poblaciones de juveniles J2 tras la biosolarización en todos los tratamientos contrasta con la alta supervivencia del nematodo en el testigo no tratado, aunque la población de juveniles J2 fuera menor. Tal reducción se debería a los efectos de los gases de la descomposición de las brásicas y está en consonancia con las obtenidas por Zasada et al. (2009) al estudiar los efectos de los aceites de las semillas de varias especies de brásicas sobre *M. incognita* y *Pratylenchus penetrans*. En la descomposición de *B. juncea* y de diferentes cultivares de *R. sativus* se producen mayoritariamente alil-isotiocianatos (Morra y Kirkegaard, 2002; Zasada et al., 2009; Hansen y Keinath, 2013), cuyos efectos nematocidas se han puesto de manifiesto para especies de *Meloidogyne* y de *Pratylenchus* (Zasada et al., 2009), y de *Tylenchulus* (Wang et al., 2009).

En las cuatro semanas de biosolarización, además del efecto de los gases, se pudieron manifestar efectos supresivos de las brásicas sobre las poblaciones de juveniles J2. Sin embargo, en nuestro caso, la respuesta de este efecto no parece corresponderse con los resultados de Zasada et al. (2009) para *M. incognita* o Mazzola et al. (2007 y 2009) para *P. penetrans*. La torta de semillas de variedad 'Pacific Golden' de *B. juncea* se mostró más activa que la variedad 'Ida Gold' de *S. alba*, frente a *M. incognita* (Zasada et al., 2009) en ensayos de laboratorio. La reducción de población de juveniles J2 obtenida en nuestros ensayos de biosolarización es similar para las variedades de las dos enmiendas verdes (90,0% para *B. juncea* 'Scala' y 80,0% para *S. alba* 'Ludique'). La corta exposición de los

nematodos (cuatro semanas de biosolarización) a los efectos de la microbiota antagonista, que podría estar relacionada con los efectos supresivos (Oka, 2010; Collange et al., 2011), explicaría que esta componente no tuviera una marcada incidencia en la reducción de las poblaciones de juveniles J2 en nuestros ensayos, siendo la toxicidad de los gases la componente principal.

El conjunto de los efectos (habilidad multiplicadora del nematodo, toxicidad de los gases de descomposición de la enmienda verde para los juveniles J2 posibles, efectos supresivos de las enmiendas) de las brásicas se tradujeron en menores daños en las raíces del siguiente cultivo de pimiento. La disminución de los daños (índice de agallas) en las raíces del pimiento, en relación al testigo no tratado, se mantuvo durante los seis primeros meses en 2013 (Ensayo 1) y 4 meses en 2014 (Ensayo 2). Las brásicas menos multiplicadoras (*R. sativus* 'Carwoodi', *R. sativus* 'Karakter' y *R. sativus* 'Boss') tuvieron el efecto más prolongado en el tiempo de cultivo. Al final del cultivo del pimiento no se encontraron diferencias entre los tratamientos y el testigo en los niveles de daños en las raíces, como encontraron Wang y McSorely (2008) en ensayos de pimiento en Florida o como encontraron Guerrero et al. (2013) para biosolarizaciones iniciadas en octubre utilizando pellets de *Brassica carinata* como enmienda.

La carga de daños soportada durante más tiempo por las plantas de pimiento del testigo explicaría la pérdida de cosecha en relación a los tratamientos de biosolarización con la brásicas.

En conclusión, se ha puesto de manifiesto que: i) la mayor parte de los cultivares de *R. sativus* se comportaron como pobres hospedadores ('Karakter' y 'Eexta') o como no hospedadores ('Carwoodi' y 'Boss') de *M. incognita*, mientras que los cultivares de *B. juncea* y *S. alba* son buenas multiplicadoras. Los cultivares de *R. sativus*, podrían ser utilizados en

rotaciones de cultivos, como plantas trampa o como cultivos para biosolarización en verde. ii) la biosolarización con las brásicas verdes redujo la población de juveniles J2 en el suelo, incluso para las especies multiplicadoras. iii) la acción conjunta de los efectos no multiplicadores de las brásicas y de la biosolarización redujo los daños en las raíces del siguiente cultivo de pimiento durante los primeros meses, lo que se tradujo en una mejora de la producción en relación al testigo. Estos resultados son relevantes para el manejo de los suelos y los sistemas de producción de pimiento. Serán precisos ensayos en diferentes condiciones y fechas de siembra de las brásicas para poder recomendar el uso de las brásicas como cultivo para biosolarización de invernaderos de pimiento, tanto en agricultura ecológica como en producción convencional.

Agradecimientos

El trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA RTA2011-0005-C03-01 participado con fondos europeos FEDER. F. Sánchez ha disfrutado de una beca de formación de personal investigador del INIA, también participada con fondos FEDER

Bibliografía

- Antoniou PP, Tjamos EC, Giannakou JO (2014). Low-cost and effective approaches of soil disinfection of plastic house or open field crops in Greece. *Acta Horticulturae* 1044: 29-42.
- Barker KR (1985). Nematode extraction and bioassays. En: *An advanced treatise on Meloidogyne*, Vol. II. Methodology. (Eds. Barker KR, Carter CC y Sasser JN). Raleigh, NC, EE.UU, North Carolina State University Press, pp. 19-35.
- Blaya J, Lacasa CM, Lacasa A, Pascual JA (2015). Characterization of *Phytophthora nicotianae* isolates in south-east Spain and their detection

- and quantification through a real-time Taq-Man PCR. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95 (6): 1243-1251.
- Bending G, Lincoln SD (1999). Characterisation of volatile sulphur containing compounds produced during decomposition of *Brassica juncea* tissues in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 695-703.
- Bonanomi G, Antignani V, Pane C, Scala F (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology* 89: 311-324.
- Bonanomi G, Antignani V, Capodilupo M, Scala F (2010). Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 136-144.
- Bridge J, Page SLJ (1980). Estimation of root-knot infestation levels in roots using a rating chart. *Crop Pest Management* 26: 296-298.
- Butler DM, Kokalis-Burelle N, Muramoto J, Shennan C, McCollum TG, Roskopf EA (2012). Impact of anaerobic soil disinfestation combined with soil solarization on plant-parasitic nematodes and introduced inoculum of soilborne plant pathogens in raised-bed vegetable production. *Crop Protection* 39: 33-40.
- Collange B, Navarrete M, Peyre G, Mateille T, Tchamitchia M (2011). Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. *Crop Protection* 30: 1251-1262.
- Curto G, Dallavalle E, Lazzeri L (2005). Life cycle duration of *Meloidogyne incognita* and host status of Brassicaceae and Capparaceae selected for glucosinolate content. *Nematology* 7: 203-212.
- Curto G, Dallavalle E, Matteo R, Lazzeri L (2014). Biofumigant effect of defatted seed meals against the southern root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. 5th International Symposium of Biofumigation. *Aspects of Applied Biology* 126: 55-56.
- Edwards S, Ploeg A (2014). Evaluation of 31 potential biofumigant Brassicaceous plants as hosts for three *Meloidogyne* species. *Journal of Nematology* 46(3): 287-295.
- Gamliel A, Stapleton JJ (1993). Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. *Phytopathology* 83: 899-905.
- Gravsen K (2014). Use of biofumigation to control plant pathogen nematode and disease infections of carrot fields in Denmark. 5th International Symposium of Biofumigation. *Aspects of Applied Biology* 126: 57-66.
- Guerrero MM, Lacasa CM, Hernández A, Martínez V, Lacasa A (2013). Evaluation of repeated bio-disinfestation using *Brassica carinata* pellets to control *Meloidogyne incognita* in protected pepper crops. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11(2): 485-493.
- Guerrero MM, Guirao P, Martínez MC, Tello J, Lacasa A (2014a). Soil fatigue and its specificity towards pepper plants in greenhouses. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(3): 644-652.
- Guerrero MM, Lacasa CM, Hernández A, Martínez V, Martínez MC, Fernández P, Lacasa A (2014b). Biosolarization with Agroindustrial Byproduct for the Control of Soilborne Pathogens in Protected Pepper Crops in Southeast Spain. *Acta Horticulturae* 1044, 157-161.
- Hansen ZR, Keinath AP (2013). Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases. *Applied Soil Ecology* 63: 67-77.
- Kirkegaard JA, Sarwar M (1998). Biofumigation potential of brassicas I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant Soil* 201, 71-89.
- 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.
- Kruger DHM, Fourie JC, Malan AP (2014). The role of cover crops with biofumigation potential for the suppression of plant-parasitic nematodes in vineyards. 5th International Symposium of Biofumigation. *Aspects of Applied Biology* 126: 17-18.
- Lacasa A, Guirao P (1997). Investigaciones actuales sobre alternativas al uso del bromuro de me-

- tilo en pimiento en invernaderos del campo de Cartagena. En: *Posibilidades de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento en invernadero* (Eds. López A, Mora JA). Jornadas 11, Publicaciones de la Consejería Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Región de Murcia (España), pp. 21-36.
- Larkin RP, Griffin TS (2006). Control of soilborne potato diseases using brassica green manures. *Crop Protection* 26: 1067-1107.
- Lazzeri L, Leoni O, Macini LM (2004). Biocidal plant dried pellets for biofumigation. *Crop Protection* 20: 59-65.
- Manici LM, Lazzeri L, Palmieri S (1997). In vitro fungitoxic activity of some glucosinolates and their enzyme-derived products toward plant pathogenic fungi. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45: 2768-2773.
- Manici LM, Lazzeri L, Baruzzi G, Leoni O, Galletti S, Palmieri S (2000). Suppressive activity of some glucosinolate enzyme degradation products on *Pythium irregulare* and *Rhizoctonia solani* in sterile soil. *Pest Management Sciences*. 56: 921-926.
- Martínez MA, Martínez MC, Bielza P, Tello J, Lacasa A (2011). Effect of biofumigation with manure amendments and repeated biosolarization on *Fusarium* density in pepper crops. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 38(10): 3-11.
- Martínez V, Ros C, Guerrero MM, Lacasa CM, Fernández P, Beltrán C, Cano A, Lacasa A (2010). Uso de brasicas verdes y pellets de *Brassica carinata* para la desinfección de suelos de pimiento. *Actas del Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Lleida, 6 al 9 de octubre, 8 (4): 1-16.
- Matthiessen JN, Kirkegaard JA (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 235-265.
- 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 MF (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.
- Mazzola M, Brown J, Zhao X, Izzo AD, Fazio G (2009). Interaction of brassicaceous seed meal and apple rootstock on recovery of *Pythium* spp. and *Pratylenchus penetrans* from roots grown in replant soils. *Plant Disease* 93: 51-57.
- McLeod RW, Kirkegaard JA, Steel CC (2001). Invasion, development, growth and egg-laying by *Meloidogyne javanica* in Brassicaceae crops. *Nematology* 3: 463-472.
- Melakeberhan H, Xu A, Kravchenko A, Mennan S, Riga E (2006). Potential use of arugula (*Eruca sativa*) as a trap crop for *Meloidogyne hapla*. *Nematology* 2006: 793-799.
- Messiha N, Van Diepeningen A, Wenneker M, Van Beuningen A, Janse J, Coenen T, Termorshuizen A, Van Bruggen A, Blok W (2007). Biological soil disinfestation (BSD), a new control method for potato brown rot, caused by *Ralstonia solanacearum* race 3 biovar 2. *European Journal of Plant Pathology* 117: 403-415.
- Morra MJ, Kirkegaard JA (2002). Isothiocyanate release from soil-incorporated *Brassica* tissues. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1683-1690.
- Mosso F, Scovazzi I, Scovazzi M, Rovaldo D, Patalano G (2014). Experiences, case studies and results about biofumigation application in the Po Valley (Italy). 5th International Symposium of Biofumigation. *Aspects of Applied Biology* 126: 27-32.
- Noling JW, Gilreath JP (2002). Weed and nematode management: simultaneous considerations. En: Gobenauf, G.L. (Ed.), *Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions* Orlando, FL (EE.UU.). Paper 14, 1-3.
- 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.

- Oka Y (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments: a review. *Applied Soil Ecology* 44: 101-115.
- Pikerton JN, Ivors KL, Miller ML, Moor LW (2000). Effect of soil solarisation and cover crops on population of selected soil borne plant pathogens in Western Oregon. *Plant Diseases* 84: 952-960.
- Ploeg AT, Stapleton JJ (2001). Glasshouse studies on the effects of time, temperature and amendment of soil with broccoli plant residues on the infestation of melon plants by *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Nematology* 3: 855-861.
- Reglamento de la Unión Europea nº 1107/2009 sobre Plant Protection Products.
- Ros M, García C, Hernández MT, Lacasa A, Fernández P, Pascual JA (2008). Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. *Biology and Fertility of Soils* 45: 37-44.
- Ros C, Robertson L, Martínez MC, Lacasa A (2014). Development of virulence to *Meloidogyne incognita* on resistant pepper rootstocks. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(1): 225-232.
- Rudolph RE, Sams C, Steiner R, Thomas SH, Walker S, Uchanski ME (2015). Biofumigation performance of four Brassica crops in a green chile pepper (*Capsicum annuum*) rotation system in southern New Mexico. *Hortscience* 50(2): 247-253.
- Smolinska U, Morra MJ, Kundsén, James L (2003). Isothiocyanates produced by brassicaceae species as inhibitors for *Fusarium oxysporum*. *Plant Diseases* 87: 407-412.
- Stirling GR, Stirling AM (2003). The potential of Brassica green manure crops for controlling root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) on horticultural crops in a subtropical environmental. *Australian Journal Experimental Agriculture* 43: 623-630.
- Tello J, Lacasa A (1997). Problemática fitosanitaria del suelo en cultivos de pimiento en el Campo de Cartagena. En: *Posibilidades de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento en invernadero* (Eds. López A, Mora JA). Jornadas 11, Publicaciones de la Consejería Medio Ambiente, Agricultura y Agua, Región de Murcia: 11-17.
- Wang KH, McSorley R (2008). Exposure time to lethal temperatures for *Meloidogyne incognita* suppression and its implication for soil solarisation. *Journal of Nematology* 40(1): 7-12.
- Wang D, Rosen C, Kinkel L, Cao A, Tharayil N, Geric J (2009). Production of methyl sulfide and dimethyl disulfide from soil-incorporated plant materials and implications for controlling soil-borne pathogens. *Plant Soil* 324: 185-197.
- Zasada IA, Meyer SLF, Morra MJ (2009). Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 41(3): 221-227.

(Aceptado para publicación el 23 de noviembre de 2015)