

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO PARA EL CONTROL DE *MELOIDIGYNE INCOGNITA* EN CULTIVOS DE PEPINO

J. A. López-Pérez, M. Arias, R. Sanz, y M. Escuer

Dpto. Agroecología, Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC. Serrano, 115 dpdo, 28006 Madrid.

RESUMEN

López-Pérez J. A., M. Arias, R. Sanz, y M. Escuer. 2003. Alternativas al bromuro de metilo para el control de *Meloidogyne incognita* en cultivos de pepino. *Nematropica* 33:189-196.

Se estudia la influencia de la incorporación al suelo de restos de compost de champiñón, y de la desinfección del suelo con metam sodio o bromuro de metilo sobre las poblaciones de nematodos en una rotación de pepino-acelga bajo invernadero. El tratamiento con compost mostró una eficacia en el control de nematodos fitoparásitos similar a la del metam sodio y bromuro de metilo. El compost incrementó los nematodos omnívoros y depredadores, los cuales prácticamente desaparecieron en el tratamiento con bromuro de metilo. La producción de pepino resultó similar en el tratamiento con compost y bromuro de metilo aunque el coste del tratamiento con compost era inferior al del bromuro de metilo.

Palabras clave: Cultivo protegido, compost, metam sodio, producción integrada.

ABSTRACT

López-Pérez, J. A., M. Arias, R. Sanz, and M. Escuer. 2003. Alternatives to the methyl bromide to control *Meloidogyne incognita* in cucumber crops. *Nematropica* 33:189-196.

The influence of a soil amendment consisting of fresh and spent mushroom compost, and of soil fumigation with metham sodium or methyl bromide on nematode population densities was studied in a cucumber-Swiss chard rotation in greenhouses. The compost treatment was effective against plant parasitic nematodes and provided a similar level of control to the chemicals metham sodium and methyl bromide. The compost produced an increase in omnivorous and predator nematodes, which drastically decreased in the methyl bromide plots. Cucumber production was similar in both compost and methyl bromide treatments, with lower costs for the compost application.

Key words: Greenhouse crops, compost, metham sodium, integrated production.

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas causadas por nematodos fitoparásitos en la producción de cultivos hortícolas en España se estiman en un 11%, lo que supone unos 361 millones de euros. Estos organismos patógenos limitan el cultivo de ciertas especies vegetales y hacen necesaria la utilización de nematicidas para su control o de plantas resistentes, aunque estas pueden dar lugar a la selección de poblaciones virulentas (Bello, 1998) si no se utilizan correctamente. El

bromuro de metilo (BM) ha sido uno de los fumigantes del suelo clave en el desarrollo de la agricultura moderna y muy especialmente en los cultivos hortícolas debido a su acción rápida, amplio espectro de actividad frente a patógenos, eficacia alta como fumigante del suelo para el control de enfermedades de origen edáfico, penetración rápida y efectiva en el suelo y facilidad de aplicación y eliminación después del tratamiento. Su retirada inminente (año 2005 en la UE) debido a su alta toxicidad, reducción de la biodiversidad

del suelo, contaminación, y principalmente, por su capacidad destructora del ozono de la estratosfera, hace necesaria la búsqueda de alternativas de control que proporcionen una eficacia similar al BM. La solución debe buscarse a través de criterios ecológicos que permitan diseñar sistemas de manejo integrado para regular las poblaciones de organismos parásitos a niveles que no lleguen a originar plagas o enfermedades.

Entre los métodos que se aplican para la reducción de poblaciones de nematodos fitoparásitos, la utilización de la materia orgánica como enmienda (Akhtar, 2000; Muller y Gooch, 1982; Rodríguez-Kábana, 1986), o bien, la utilización de los gases que se liberan a través de procesos de descomposición de la misma, método definido como biofumigación (Bello 1998; Bello *et al.*, 1997 y 2001), pueden ser buenas alternativas para la regulación de los patógenos del suelo. Además, la materia orgánica influye favorablemente en el resto de la nematofauna del suelo, la cual proporciona una buena información sobre la influencia de las prácticas agrícolas sobre el suelo (Bulluck *et al.*, 2002; Porazinska *et al.*, 1999)

Se llevó a cabo un estudio experimental sobre la influencia de la incorporación de materia orgánica y optimización de métodos de control químico, sobre las poblaciones de nematodos formadores de nódulos (*Meloidogyne incognita*) y la producción de pepino en rotación con acelga bajo invernadero con el fin de desarrollar un programa de manejo integrado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las parcelas experimentales se establecieron en dos invernaderos tipo túnel con suelo franco-arenoso situados en el paraje Cerro de Vacas, Villa del Prado, Madrid, España, que no habían sido fumi-

gados con BM en los últimos diez años. La superficie total de los dos invernaderos era de 742 m² (12 × 52 = 74) donde se realizaba la rotación habitual en la zona; pepino (*Cucumis sativus* L.) - acelga (*Beta vulgaris*), y presentaban problemas graves causados por *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. En febrero de 1997, se determinó el estado fitonematológico mediante el análisis de un total de 75 muestras de suelo de procedentes de ambos invernaderos. Las muestras se tomaron al azar entre 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. Cada muestra era el resultado de diez tomas. Las muestras de suelo se dividieron en dos porciones, con la primera, se realizó la extracción de los nematodos por el método de centrifugación en azúcar y posterior recuento de los distintos grupos tróficos (Nombela y Bello, 1983). Con la segunda porción de suelo, se realizó un bioensayo en macetas conteniendo 300 g de suelo para determinar el nivel de infestación de cada repetición mediante la siembra de tomate cv. Marmande, sensible a *M. incognita*. Las macetas se mantuvieron durante un mes a 24°C en una cámara de ambiente controlado, al cabo del cual se valoró el índice de nodulación.

Para establecer la distribución de *M. incognita* en el invernadero, en primer lugar, se examinaron los sistemas radicales de todas las plantas de acelga que había sido cosechada recientemente y se valoró los índices de nodulación en base a una escala del 0 a 10 (Bridge y Page, 1980). Una vez eliminados los restos de acelga, se preparó el suelo y realizaron las practicas habituales en la zona consistentes en la aplicación de 5 kg m⁻² de estiércol de vacuno maduro incorporado mediante un pase de rotavator a toda la superficie del invernadero. Se establecieron tres bloques al azar y aplicaron los tratamientos siguientes: 1) Bromuro de metilo a una dosis de 60 g m⁻², 2) metam-sodio (MS) a dosis de

0,092 L m⁻², 3) compost usado de champiñón (*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach) aplicado a dosis de 5 kg m⁻², y 4) testigo no tratado (T). El compost de champiñón (C), estaba constituido por una mezcla de 50% paja de cereal, 25% estiércol de caballo y 25% estiércol de pollo. Cada tratamiento se repitió tres veces y el tamaño de la parcela elemental era de 52 m² (6,5 × 8 m²). Las parcelas tratadas se cubrieron con una lámina de polietileno Sotrafilm NT de 200 µm de grosor. Después de 20 días, se retiraron los plásticos y directamente se transplantó el pepino cv. Serena con una densidad de plantación de 2 plantas m⁻² y se mantuvo durante 18 semanas. Todos los trabajos se realizaron de igual forma y simultáneamente en ambos invernaderos.

A mediados de octubre 1997 se plantó acelga como cultivo de otoño-invierno, y se mantuvo hasta finales de febrero de 1998. A la retirada de la misma, se preparó el terreno mediante un pase de rotavator. En las parcelas tratadas con compost, se aplicó de nuevo 5 kg m⁻² de compost usado de champiñón e incorporó mediante un nuevo pase de rotavator. A continuación, se selló el suelo con un pase de rodillo y riego a saturación con el fin de establecer una costra superficial de arcilla que permitiera la retención de los gases procedentes de la descomposición del compost, prescindiendo de este modo de la utilización de plástico. El bromuro de metilo y metam sodio se aplicaron a las mismas dosis que el año anterior. A los 20 días, se transplantó pepino cv Serena que se mantuvo durante 23 semanas.

A lo largo del cultivo de pepino se realizaron exámenes visuales del desarrollo vegetativo de las plantas y recuento de plantas muertas y enfermas en cada una de las parcelas elementales. Para determinar la evolución de las poblaciones de nematodos, se llevaron a cabo muestreos periódicos al azar en marzo, junio, octubre y

noviembre 1997 y en abril, mayo, junio y octubre 1998 para realizar análisis nematológicos y bioensayos utilizando tomate cv. Marmande y cinco repeticiones por tratamiento. La producción de pepino se determinó recolectando los frutos en días alternos desde el comienzo de la cosecha hasta el final del cultivo, durante 19 semanas. La comparación entre la producción total acumulada conjunta de los dos invernaderos, para los diferentes tratamientos por año se realizó mediante ANOVA y el Test LSD de Fisher al 95%, empleando para ello los datos transformados mediante $\sqrt{x + 1}$. Para la evaluación del rendimiento total se tuvieron en cuenta los costes derivados de cada tratamiento y la producción del cultivo.

RESULTADOS

La infestación de las parcelas por *M. incognita* era elevada en ambos invernaderos de acuerdo con el número de plantas de acelga infectadas, 20% de las mismas, y el índice de nodulación de las raíces examinadas al inicio del estudio, que alcanzaban índices de 9 en las parcelas donde se aplicaría el compost y en una de las parcelas testigo. El número de juveniles de *M. incognita* en el suelo al inicio del estudio era muy escaso y próximo al límite de detección, circunstancia por la cual se realizaron los bioensayos en tomate Marmande donde se observaron nódulos producidos por el nematodo con índices de nodulación comprendidos entre 1 y 5 ($x = 3.5$) en el 8,3% de las repeticiones con suelo de uno de los invernaderos y en el 33% de las del otro invernadero.

Los niveles de poblaciones de juveniles tras el primer cultivo de pepino produjeron índices de nodulación en tomate Marmande de 0 a 9 ($x = 3.5$) en suelo procedente de las parcelas testigo, de 0 a 5 (0,5) en las de BM, y de 0 a 4 (0,8)

en el MS, de 0 a 6 (1,7) en el compost. Los índices más altos correspondían a muestras de suelo procedentes de los bordes del invernadero, especialmente en la orientación norte, donde los tratamientos fueron menos eficaces. El tratamiento con BM fue el más eficaz y los índices de nodulación en tomate causados por *M. incógnita* disminuyeron hasta hacerse prácticamente indetectables en los bioensayos realizados entre los meses de mayo a octubre de 1997 (Fig. 1). El nematodo se detectó durante el cultivo de acelga en diciembre 1997, y volvió a detectarse solamente una vez en junio de 1998 durante el cultivo de pepino siguiente. La eficacia del MS y del compost

de champiñón fue muy similar. En las parcelas tratadas con MS no aparecieron nódulos inicialmente (marzo, antes de comenzar el ensayo, ni en junio de 1997) con fluctuaciones en los meses siguientes, una disminución en las muestras de pepino en mayo de 1998 y un aumento de julio a noviembre aunque el índice de nodulación era <1. Igualmente, en el compost se observaron fluctuaciones iniciales con un descenso en las muestras de acelga en noviembre de 1997 y en las de pepino en mayo de 1998. Al final del experimento los índices de nodulación producidos en tomate Marmande plantados sobre suelo procedente de las parcelas tratadas con

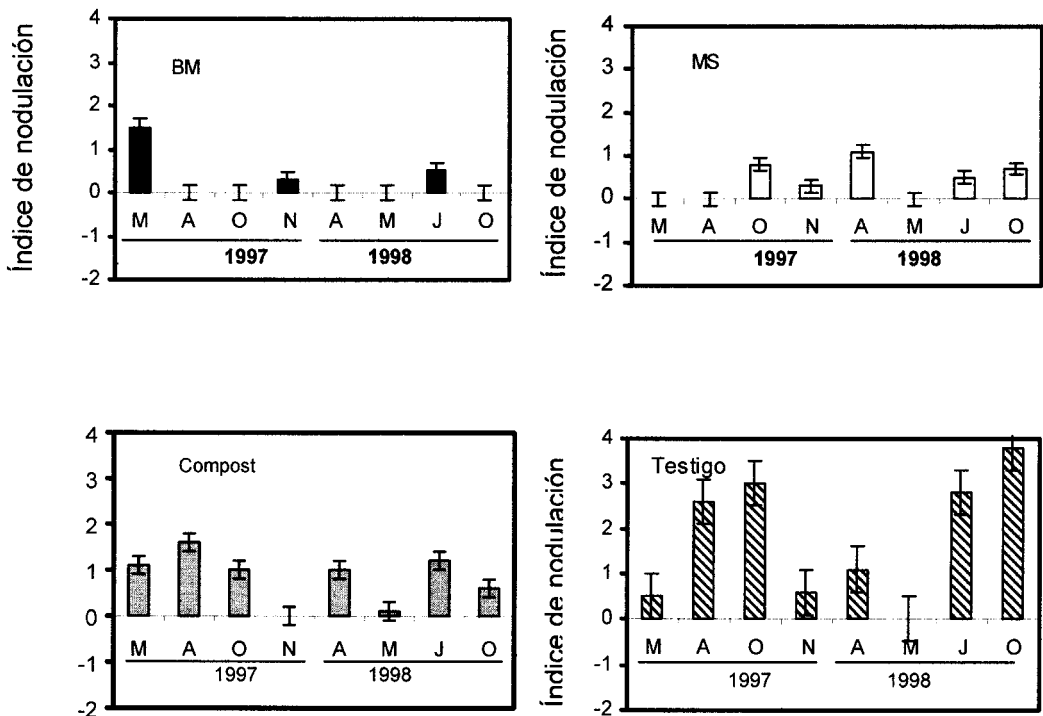


Fig. 1. Evolución del índice de nodulación en tomate cv. Marmande en bioensayos realizados con muestras de suelo infestado con *Meloidogyne incógnita* procedentes de parcelas tratadas con bromuro de metilo (BM) a dosis de 60 g m^{-2} , metams sodio (MS) a dosis de $0,092 \text{ L m}^{-2}$ y compost de champiñón a dosis de 5 kg m^{-2} , recolectadas en marzo, junio, octubre y noviembre de 1997, y en abril, mayo, junio y octubre de 1998 en invernaderos cultivados con pepino y acelga en rotación durante dos campañas agrícolas consecutivas. Cada dato es media de cuatro repeticiones.

compost fueron similares a los plantados sobre suelo de las parcelas bromuradas e inferiores a los encontrados en los plantados sobre suelo de las parcelas tratadas con MS. Las diferencias con las parcelas testigo, donde aparecieron los mayores índices de nodulación a lo largo del cultivo fueron considerables, llegando a alcanzar un máximo de 3,8 de media de nodulación al final del experimento, por lo que el tratamiento con compost tuvo una eficacia similar a la de los otros tratamientos (Fig.1).

Las densidades poblacionales de los nematodos omnívoros (Dorylaimida), depredadores (Mononchida) y microbívoros (Rhabditidae) resultaron afectadas por los tratamientos. Así, los omnívoros incrementaron considerablemente en las parcelas tratadas con compost y disminuyeron notablemente en las de parcelas tratadas con BM respecto a las testigo o tratadas con MS (Fig. 2A). Los nematodos depredadores, incrementaron en las parcelas tratadas con compost y MS alcanzando niveles máximos similares en ambos tratamientos. En las parcelas testigo se observa un aumento considerable al principio del estudio, así como una drástica disminución en las fumigadas con BM (Fig. 2B). Las poblaciones de nematodos microbívoros mostraron un comportamiento similar a las de los depredadores con valores mínimos para las parcelas tratadas con BM. En todos los tratamientos se observó un descenso poblacional de los nematodos omnívoros, depredadores y microbívoros en primavera-verano, y este fue más evidente en el segundo año que en el primero.

Los tratamientos no tuvieron efecto significativo sobre la producción de pepino. Las máximas producciones se obtuvieron en las parcelas tratadas con BM, con una media de producción de 195 y 267 t ha⁻¹ en el primer y segundo año, respectivamente. En las parcelas tratadas con compost fue

176 y 261 t ha⁻¹, en las tratadas con MS, 189 y 231 t ha⁻¹, mientras que en las parcelas testigo fue 185 y 250 t ha⁻¹ en el primer y segundo año, respectivamente. La falta de incremento de producción en pepino puede explicarse por el hecho de haber realizado en todas las parcelas el tratamiento tradicional de la zona consistente en añadir estiércol de vacuno, que también puede tener haber tenido un efecto biofumigante contrarrestando así el efecto de los otros tratamientos. Por otra parte, el estiércol de vacuno podría haber reducido la eficacia del BM al ser este parcialmente retenido por la materia orgánica procedente del estiércol.

Los costes de aplicación por tratamiento fueron superiores en las parcelas con BM, siendo los menores los de la aplicación del compost, costes que se redujeron en el segundo año, al sustituir el plástico por un pase de rodillo (Cuadro 1).

DISCUSIÓN

La infestación de los invernaderos por *M. incognita* al inicio del experimento era elevada, dado que las raíces de acelga mostraron índices de nodulación altos, máximos en las parcelas testigo y tratadas posteriormente con compost y menores en las de metam sodio. La aplicación de compost de champiñón dio valores similares a los obtenidos con la aplicación del BM en el control de las poblaciones de *M. incognita*, de acuerdo con Muller y Gooch (1982), posiblemente debido al desprendimiento de amonio (Rodríguez-Kabana, 1986; Akhar, 2000), todo ello está en contraposición con lo observado por Bulluck *et al.* (2002) que consideran que las enmiendas orgánicas apenas afectan a estos nematodos.

Las poblaciones de nematodos omnívoros (Dorylaimida), depredadores (Mononchida) y microbívoros (Rhabditi-

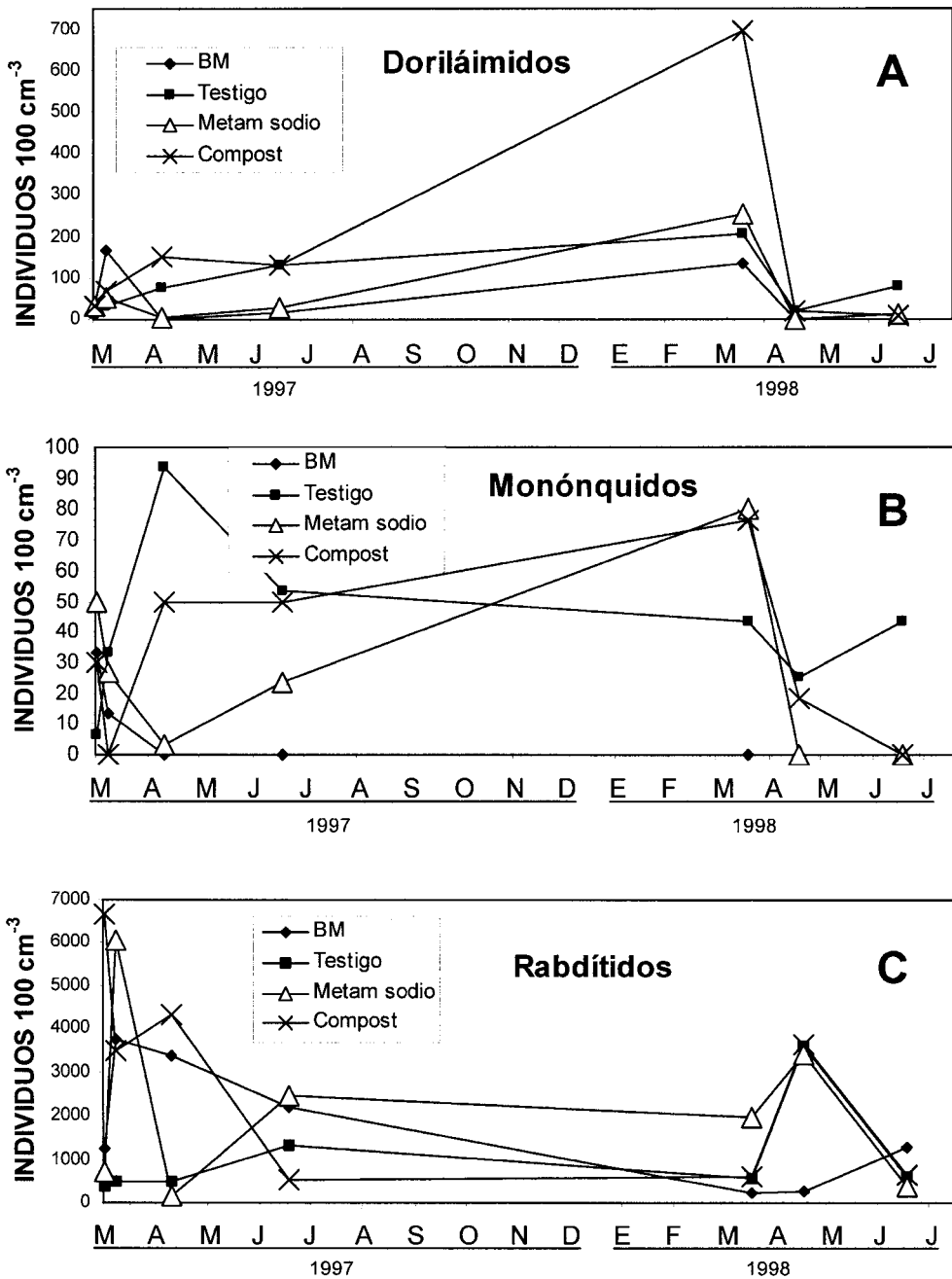


Fig. 2. Evolución de las poblaciones de nematodos omnívoros (A), depredadores (B) y microbívoros (C) en la rotación pepino-acelga en dos invernaderos infestados con *Meloidogyne incógnita*, tratados con bromuro de metilo a dosis de 60 g m², metam sodio (MS) a dosis de 0,092 L m² y compost de champiñón a dosis de 5 kg m², en invernaderos cultivados con pepino y acelga en rotación durante dos campañas agrícolas consecutivas durante dos campañas agrícolas consecutivas. Cada dato es media de cuatro repeticiones.

Cuadro 1. Costes en euros (€) de cada tratamiento.

Año	Tratamiento ^z	Producto	Plástico	Labores ^y	Coste total ^x
1997	Compost de champiñón	931,57	661,11	300,51	1.893,19
	Metam Sodio	1.532,58	661,11	450,76	2.644,45
	Bromuro de Metilo	2.019,40	661,11	300,51	2.981,02
	Testigo	0	0	0	0
1998	Compost de champiñón	931,57	0	120,20	1.051,77
	Metam sodio	1.532,58	0	210,35	1.742,93
	Bromuro de metilo	2.019,40	661,11	300,51	2.981,02
	Testigo	0	0	0	0

^zAplicación anual de compost de champiñón a 5 kg m⁻², Metam sodio a 150 g m⁻² y Bromuro de metilo a 60 g m⁻².

^yInstalación del plástico, labores para la aplicación del compost, inyección de Metam sodio y aplicación del BM.

^xSuma de producto, plástico y labores.

dae) se incrementaron considerablemente en las parcelas tratadas con compost, debido probablemente al aumento de bacterias que promueve la incorporación de materia orgánica al suelo (Akhar, 2000; Bulluck *et al.*, 2002) para los bacteriófagos y fungívoros, mientras que decrecieron drásticamente en las parcelas tratadas con BM, incluso respecto a las parcelas testigo y las tratadas con metam sodio.

La producción de pepino tendía a mostrar diferencias entre tratamientos al principio del primer año aunque no se manifestaron diferencias al considerar la producción acumulada por campaña, lo que coincide con los resultados recogidos por Sanz *et al.* (1998). Por otro lado, los costes derivados de la aplicación de BM (2,981 €/año) fueron superiores a los restantes tratamientos. Los costes de los tratamientos con metam sodio y compost disminuyeron el segundo año debido a la sustitución del plástico por sellado, siendo inferiores los del compost que los del metam sodio. Estos gastos podrían disminuirse aún más si en lugar del compost de champiñón se utilizaran como biofumigantes residuos agroindustriales de la

zona, puesto que el mayor gravamen se debe a los gastos por transporte, que representaron un 35% del total del compost.

De todo lo anterior se concluye que la incorporación de materia orgánica al suelo, por su acción biofumigante puede ser una alternativa potencial para sustituir al BM, puesto que se consiguen producciones similares con costes inferiores, incrementándose por lo tanto los rendimientos, además se producen una disminución de las poblaciones de nematodos formadores de nódulos (*M. incognita*) y un incremento de los nematodos libres en el suelo, que con el BM desaparecen.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las sugerencias de los Profs. A. Bello y R. Rodríguez-Kábana, Dra. S. Verdejo, la colaboración prestada por Donato Arranz, Técnico de la Consejería de Agricultura de la CAM, Martín Jiménez, propietario de los invernaderos donde se realizó el experimento, y la ayuda técnica de Casimiro Martínez, Dpto. Agroecología, Centro Ciencias Medioambientales, CSIC. El trabajo se ha realizado dentro de los

proyectos 06G/019/96, Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad Autónoma de Madrid y AGL2002-04040-C05-01 AGR-FOR del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

LITERATURA CITADA

- AKHTAR, M. 2000. Effect of organic and urea amendments in soil on nematode communities and plant growth. *Soil Biology & Biochemistry* 32:573-575.
- BELLO, A. 1998. Biofumigation and cropping techniques in vegetable crops. Pp. 99-126 in A. Bello, J. A. González, M. Arias and R. Rodríguez-Kábana, eds. *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*, CSIC-DGXI, Valencia, Spain.
- BELLO, A., J. A. LÓPEZ-PÉREZ, L. DÍAZ-VIRULICHE, and J. TELLO. 2001. Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. Pp. 33-46 in R. Labrada and L. Fornasari, eds. *Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation*. FAO-UNEP, Roma, Paper 166:33-44.
- BELLO, A., M. A. PASTRANA, J. A. GONZÁLEZ, M. ESCUER, and C. ORTS. 1997. Control de nematodos sin bromuro de metilo y producción integrada en España. Pp. 191-212 in A. Bello, J. A. González, J. Pérez Parra and J. Tello, eds. *Alternativas al Bromuro de Metilo en Agricultura*. Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- BRIDGE, J., and S. L. J. PAGE. 1980. Estimation of root-knot nematodes infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management* 26:296-298.
- BULLUCK III, L. R., K. R. BARKER, and J. B. RISTAINO. 2002. Influences of organic and synthetic soil fertility amendments on nematode trophic groups and community dynamics under tomatoes. *Applied Soil Ecology* 21:233-250.
- MULLER, R. and P. S. GOOCH. 1982. Organic amendments in nematode control: an examination of the literature. *Nematropica* 12:319-326.
- NOMBELA, G. y A. BELLO, 1983. Modificaciones al método de extracción de nematodos fitoparásitos por centrifugación en azúcar. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 9:183-189.
- PORAZINSKA, D. L., L. W. DUNCAN, R. Mc SORLEY, and J. H. GRAHAM. 1999. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology* 13:69-86.
- RODRIGUEZ-KABANA, R. 1986. Organic and inorganic amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology* 189: 129-135.
- SANZ, R., M. ESCUER and J. A. LÓPEZ-PÉREZ. 1998. Alternatives to methyl bromide for root-knot nematode control in cucurbits., Pp. 73-84 in A. Bello, J. A. González, M. Arias and R. Rodríguez-Kábana, eds. *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*, CSIC-DGXI, Valencia, España.

Received:

30.I.2003

Accepted for publication:

17.IX.2003

Recibido:

Aceptado para publicación: