

Solarización: una alternativa no-química para el manejo de fitonemátodos

E. Maero^{1,2}, C. Azpilicueta² y A. Escande³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional del Comahue - CC. 85 (8303) Cinco Saltos (Río Negro).

² Subsecretaría de Producción. Laboratorio de Servicios Agrarios y Forestales. Neuquén.

E-mail: lasaf_suelos@neuquen.gov.ar

³ Unidad Integrada Balcarce. Área Sanidad Vegetal

Resumen

La solarización del suelo es un proceso hidrotermal que involucra la cubierta del suelo húmedo con polietileno transparente, que capta la energía solar elevando la temperatura a niveles que debilitan o matan muchas plagas potenciales del suelo como los nemátodos, hongos, bacterias y semillas de malezas. La efectividad de la solarización del suelo está en función de la temperatura y tiempo de exposición, que están inversamente relacionados. En este trabajo

se revisan los efectos de la solarización, sola y en combinación con otros métodos, en el manejo de nemátodos fitoparásitos, incluyendo referencias bibliográficas importantes.

Palabras clave adicionales: Pausterización de suelo - Nemátodos - Control - Enmiendas orgánicas

Solarization: a nonchemical alternative to control plant nematodes

Summary

Soil solarization is a hydrothermal process that involves moist soils covered with a transparent plastic film. Solarization traps solar radiation raising the soil temperature to levels that weaken or kill most potential soil pests, including nematodes, fungi, bacteria and weed seeds. The effectiveness of soil solarization is in function of soil temperature and exposure time, which are inversely related.

The effects of solarization alone and in combination with other methods on plant parasitic nematodes control are reviewed. Selected literature is included.

Additional Keywords Soil pasteurization - Nematodes - Control - Organic amendments

INTRODUCCIÓN

El manejo de nemátodos fitoparásitos puede definirse como la utilización de prácticas físicas, químicas, biológicas y culturales para lograr que se mantengan niveles poblacionales que no causen pérdidas económicas (16), estando el mayor énfasis puesto en los tratamientos químicos. Los riesgos ambientales asociados a los residuos de los nematicidas fumigantes, provocan severas restricciones sobre su uso (42). Tal es el caso del bromuro de metilo, biocida que daña la capa de ozono (O₃) y debe ser reemplazado hasta su completa eliminación para 2015 de acuerdo al Protocolo de Montreal (24, 31). No obstante, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Uruguay, entre otros países, han acordado anticipar los plazos de eliminación, prohibiendo su uso como fumigante de suelos después de 2007 (41). Esto hace que se tienda a aplicar estrategias integradas para reemplazarlo.

Bridge (4) señala la integración de distintas prácticas para el manejo de nemátodos:

- Uso de material libre para evitar su introducción y dispersión.

- Aplicar métodos de control físicos, químicos y culturales.

- Mantener o incrementar la biodiversidad en los sistemas tradicionales de cultivo, estimulando el desarrollo de los agentes de control biológico.

La pérdida de rendimiento por fitonemátodos en los 40 cultivos de mayor importancia en el mundo fue de 12,3 % en 1991 (33). El presente trabajo es una revisión sobre la efectividad de la solarización en el manejo de nemátodos fitoparásitos.

SOLARIZACIÓN

La solarización es un proceso físico de desinfección del suelo húmedo que capta la energía solar bajo una cubierta de polietileno, elevando su temperatura. La exposición del suelo a temperaturas más elevadas por períodos prolongados ha sido suficiente para inhibir o eliminar plagas y patógenos presentes en el mismo. Este método de manejo es el único que integra el control de nemátodos, hongos, bacterias, insectos, ácaros y malezas, conserva el suelo y agua e incrementa el crecimiento de las plantas (12, 18, 19, 20, 22, 36, 37).

La efectividad de la solarización contra los nemátodos fue demostrada primeramente en Israel (18), más tarde en Estados Unidos (25, 35) y en Sudáfrica (3); Israel es uno de los sitios ideales por sus condiciones climáticas para el desarrollo de esta técnica, donde se dejan áreas no utilizadas en verano factibles para su aplicación (14, 17), lográndose un control de patógenos hasta los 70 cm de profundidad con períodos de solarización de 4 a 8 semanas (21). Se obtuvieron muy buenos resultados de desinfección en suelos húmedos cubiertos con una lámina de polietileno transparente durante períodos de 3 a 6 semanas antes del transplante durante los meses más cálidos (3, 17, 39).

Una doble capa de polietileno incrementa la temperatura del suelo más rápidamente que una capa simple. La primera capa se ajusta al suelo y la segunda se coloca levemente arriba, impidiendo que se pierda temperatura durante la noche, por el efecto aislante del aire estanco, retenido por la capa exterior (16).

El calentamiento del suelo se repite diariamente y las temperaturas máximas disminuyen con el aumento de la profundidad (Figura 1). En climas cálidos algunos autores señalan registros de 36 °C a 40 °C en profundidades de 20 a 30 cm, de 40 °C a 50 °C entre los 10 y 15 cm y superiores a 50 °C a nivel de 5 cm (3, 11, 20). Períodos prolongados de exposición a tales temperaturas pueden matar a los nemátodos o reducir la patogenicidad a causa de la disminución de sus reservas energéticas. Los nemátodos debilitados pueden ser más vulnerables

al stress biótico y abiótico (23). En climas menos cálidos se realiza la solarización del suelo dentro de invernaderos para intensificar el calentamiento del suelo (20).

El aumento del crecimiento vegetal provocado por la solarización se debería a la inactivación térmica de patógenos y plagas (7, 17), al aumento en la cantidad de sólidos solubles (NH_4^+ , K^{++} , Ca^{++} , y NO_3^-) (15, 18) y alteración de la microbiota del suelo (34).

Modo de acción

El efecto hidrotermal de la solarización origina cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo que resultan deletéreos para muchas plagas de los cultivos. El vapor de agua es necesario para una transferencia efectiva del calor por convección a través del área tratada. Las temperaturas que exceden el máximo para el crecimiento de los organismos producen un efecto inhibitorio o letal, siendo limitada la supervivencia de varios macroorganismos a temperaturas mayores a 50 °C por pocas horas (37).

Dependiendo de las especies y adaptaciones climáticas, los nemátodos pueden sobrevivir por largos períodos de tiempo con temperaturas levemente inferiores a 40 °C; aunque los efectos de las temperaturas son acumulativos, unos pocos grados por encima de esta temperatura y pocas horas de exposición durante varios días pueden causar su muerte (13, 16).

Stapleton y Devay (35) observaron la disminución de *M. hapla* y otros nemátodos a profundidades donde el efecto letal directo de la temperatura no sería posible, atribuyendo el efecto al control biológico o a la acumulación de compuestos volátiles. Cartia *et al.* (6) sugieren que los incrementos de temperatura podrían debilitar o matar huevos y juveniles del segundo estadio a mayores profundidades. Numerosos nemátodos saprófitos, pueden sobrevivir y colonizar el ambiente por presentar mayor capacidad competitiva que los fitopatógenos que tienen más requerimientos específicos de crecimiento (34, 37).

Control por solarización

En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos por distintos autores en experiencias referentes al tema.

Los efectos de la solarización sobre el nemátodo del nudo *Meloidogyne* spp. difieren en los distintos ensayos (18, 19), pero algunos autores han reportado resultados excelentes (9, 11), llegando a descender bruscamente la población de *Meloidogyne incognita* en todas las parcelas con simple y doble cubierta de

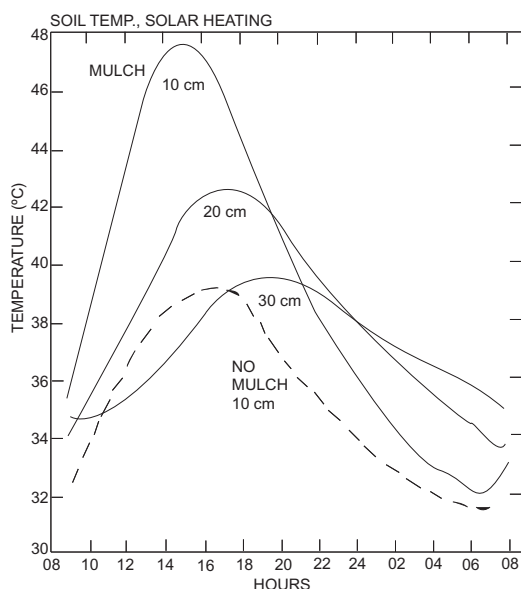


Figura 1. Variación diaria de temperatura en suelos solarizados a tres profundidades comparados con el control sin solarizar a 10 cm. Resultados típicos obtenidos en los meses de Julio-Agosto en Rehovot, Israel. Adaptado de (20).

Tabla 1. Efecto de la solarización sobre nematodos fitoparásitos

País	Nematodos	Solarización del suelo			Efecto sobre pob. nematodos	Cultivo pos sol	Efecto en el cultivo	Referencia
		Cubierta	Duración sem	T °C suelo				
África	<i>Pratylenchus pratensis</i>	transparente	3 a 6	46 a 15 cm	reducción	vid	aumento	3
	<i>Rotylenchus incultus</i> <i>Criconebella xenoplax</i> <i>Paratrichodoros monor</i> <i>Paratrichodorul lobatus</i> <i>Meloidogyne javanica</i>	50-150 µm		38,9 a 10 cm	37-100 %	tomate	rendimiento	
Jamaica	<i>Rotylenchulus reniformis</i> <i>Helicotylenchus erythrinse</i>	transparente 400 µm	5 a 6		reducción	pepino	aumento rendimiento	7
EE.UU	<i>Criconebella xenoplax</i> <i>Paratrichodoros porosus</i> <i>Pratylenchus vulnus</i> <i>Pratylenchus hamatus</i> <i>Xiphinemaspp.</i> <i>Meloidogyne hapla</i> <i>helicotylenchus dionicus</i> <i>Paratylenchus neocamblycephalus</i>	transparente 25 µm	4 a 6	45 a 15 cm	reducción 42-100 %	varios cultivos	aumento rendimiento 32-128 %	35
					reducción 3 meses post. sin efecto			
EE.UU	<i>Meloidogyne incognita</i> <i>Criconebella xenoplax</i>	transparente	3	47 a 15 cm	reducción significativas	zanahoria plantines algodón	sin efecto aumento rendimiento	39
EE.UU	<i>Meloidogyne incognita</i>	transparente 13 µm	4	50 a 10 cm 43 a 15 cm	control parcial	lechuga	aumento rendimiento 51 %	10
EE.UU	<i>Globodera rostochiensis</i>	transparente	9	45 a 5 cm 40 a 10 cm	reducción 96,2 - 98,6 %	-	-	25
		negro			67,30 %	-	-	
EE.UU	<i>Meloidogyne incognita</i>	-	-	-	reducción > 90 %	varios cultivos	aumento rendimiento	40
EE.UU	<i>Meloidogyne incognita</i>	transparente 150 µm	4	-	-	tomate	aumento rendimiento 48 %	29
Italia	<i>Meloidogyne incognita</i>	transparente 33-40 µm	6	> 42 °C a 15 cm	control parcial	lechuga	aumento rendimiento 42 %	8
Australia	<i>Meloidogyne javanica</i>	transparente	15	47 a 10 cm		vid		43
Chile	<i>Prtylenchus thomei</i>	transp 40 µm	5	45,7 a 10 cm	variable			2
India	<i>Meloidogyne incognita</i> <i>Rotylenchulus reniformis</i>	transparente 60 µm	3 a 6	35-46	reducción 74.3-86.7 %	plantines berenjena	aumento peso seco 35,4 %	11
Israel	<i>Meloidogyne spp.</i>				variable			19
Siria	<i>Pratylenchus thomei</i>	transparente 50 µm	4 a 8	46 a 15 cm 33-35 a 30 cm	reducción 50%	Cicer arietinum	aumento rendimiento 23-29 %	13

polietileno, durante 91 días con respecto al testigo, en semilleros de tomate (28).

El control de malezas y otros patógenos del suelo fue una ventaja adicional de la solarización (11).

Experiencias de solarización en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén resultaron efectivas en la disminución de la población de *Meloidogyne spp.* En el campo se logró una disminución poblacional a las 4 y 8 semanas de tratamiento de 46 % y 30 % respectivamente (27) y en invernadero la reducción fue del 30 % el primer año y del 54 % el segundo año, con respecto a la población inicial, durante 8 semanas de tratamiento en los meses de enero y febrero, siendo su incidencia promisoriosa en el complejo causante del mal de los almácigos (30). La disminución del desarrollo de malezas fue de 50 % en el suelo solarizado con respecto al control sin tratar (5).

Combinación con otros métodos

Hay una tendencia creciente a la integración de varios métodos de control para mejorar el manejo de la sanidad vegetal. La combinación de la solarización con enmiendas orgánicas, organismos de control biológico o dosis reducidas de pesticidas, mejora el efecto de la solarización y lo hace más duradero (19, 20, 35, 38).

La incorporación al suelo de enmiendas orgánicas de origen animal y vegetal puede suprimir los patógenos del suelo. Cantidades superiores a las utilizadas en las prácticas agrícolas tradicionales de enmiendas nitrogenadas (más de 300 kg N-ha⁻¹), estimulan la microflora del suelo permitiendo la liberación de amoníaco (NH₃) a través de reacciones de proteólisis y desaminación, suprimiendo la población de nemátodos

(32). Stapleton y Devay (38) encontraron que el nitrógeno amoniacal resultó letal para *Meloidogyne incognita*.

El guano de pollo que contiene alto porcentaje de nitrógeno, fue efectivo en el control de *M. incognita* en combinación con solarización. Este control se atribuye a los compuestos volátiles que se originan por la descomposición del compost. Se determinó un incremento en el rendimiento de lechuga de primavera aún cuando no hubo agallamiento por nemátodos (9).

La concentración de compuestos volátiles como alcoholes, aldehídos, sulfuros e isotiocianatos fue más alta en suelos solarizados enmendados con *Brassica* sp. que en suelos sin solarizar (10, 26).

Katan (19) considera que los patógenos debilitados por calor pueden ser controlados con dosis reducidas de pesticidas. La combinación de solarización y 1,3-Dicloropropeno (1,3-D) a dosis de 56 l·ha⁻¹ (35) redujo significativamente las densidades poblacionales de nemátodos.

CONSIDERACIONES FINALES

En la mayoría de los trabajos consultados en esta revisión, la solarización resultó efectiva en diversas condiciones ambientales para reducir las poblaciones de nemátodos, incrementar el crecimiento y rendimiento vegetal y disminuir el desarrollo de malezas.

Este método ofrece numerosas ventajas en la producción agrícola disminuyendo la reinfestación de los suelos tratados.

La mayor reducción de la biota del suelo durante la solarización y la duración de su efecto luego del tratamiento ocurren cerca de la superficie, en este área las temperaturas son mayores pero también están sujetas a las fluctuaciones diurnas. A mayor profundidad del suelo, las temperaturas son menores pero más constantes (37).

El desarrollo de fitonemátodos en la rizósfera de plantas anuales puede alcanzar 40 a 50 cm en las plantas anuales y las temperaturas del suelo en las parcelas solarizadas nunca se aproxima a niveles letales o subletales a más de 30 cm de profundidad, así los nemátodos en las capas más profundas del suelo pueden sobrevivir a la solarización y causar daños durante el cultivo (23).

Resultados obtenidos en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén en invernadero con cultivo de lechuga mostraron que el incremento en el rendimiento fue del 8 % posterior a la solarización (1).

La solarización puede ser una técnica adicional para el manejo integrado de fitonemátodos, teniendo en cuenta los meses de mayor temperatura, período

de exposición, preparación del terreno, siendo posible la optimización de los resultados, mediante la combinación con dosis reducidas de nematicidas y enmiendas orgánicas.

La solarización del suelo puede ser considerada como una alternativa viable para reducir el uso de plaguicidas químicos destinados a controlar organismos nocivos, particularmente bromuro de metilo u otros desinfectantes del suelo, por lo que su utilización reduciría los riesgos de daño al ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Azpilicueta, C.; Maero, E.; Reybet, G.; Bucki, P.; Chaves, E. y Escande, A. 2000. Efecto de la solarización sobre una población del nemátodo del nudo *Meloidogyne incognita* de lechuga en suelo solarizado en invernadero. XXIII Congreso Argentino, X Latinoamericano y III Iberoamericano de Horticultura.
2. Aballay, E.; Jardel, A. y Montealegre, J. 1996. Efectos de la solarización y bromuro de metilo sobre *Verticillium dahliae* Kleb. y nemátodos fitoparásitos asociados a monocultivos de frutillas. Fitopatología 31(3): 230-240.
3. Barbercheck, M.E. & Von Broembsen, S.L. 1986. Effects of soil solarization on plant parasitic nematodes and *Phytophthora cinnamomi* in South Africa. Plant Disease 7(10): 945-950.
4. Bridge, J. 1996. Nematode management in sustainable and subsistence agriculture. Ann. Rev. Phytopathology. 34: 201-225.
5. Bustamante, A.; Rodríguez, G.; Reybet, G.; Bucki, P.; Suárez, A. y Escande, A. 1999. Efecto de la solarización de suelo sobre malezas y rendimiento en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Resúmenes XXII Congreso Argentino de Horticultura.
6. Cartia, G.; Greco, N. & Cirvilleri, G. 1991. Soil solarization in a plastic house. Soil Solarization. FAO Plant Protection. Paper 109. Rome. 266-275.
7. Coates-Beckford, P.L.; Cohen, J.E.; Ogle, L.R.; Prendergast, C.H. & Riley, M.D. 1998. Mulching soil to increase yield and manage plant parasitic nematodes in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fields: influence of season and plastic thickness. Nematologica 28(1): 81-93.
8. Di Vito, M.; Lamberti, F.; Zaccheo, G.; Catalano, F. & Campanelli, R. 1998. Il bromuro di metile e la solarizzazione del terreno nella lotta contro i nematodi galligeni su lattuga e melone. Supplemento: Il bromuro di metile nella lotta contro i nematodi fitoparassiti in Italia. In: Nematologia Mediterranea 26: 23-32.

9. Gamliel, A. & Stapleton, J.J. 1993. Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease* 77(9): 886-891.
10. Gamliel, A. & Stapleton, J.J. 1997. Improvement of soil solarization with volatile compounds generated from organic amendments. *Phytoparasitica* 25:31-38 (suppl).
11. Gaur, H. & Dhingra, A. 1991. Management of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* in nursery beds by soil solarization and organic soil amendments. *Revue Nematology*. 14 (2): 189-195.
12. Gaur, H. & Perry, R. 1991. The use of soil solarization for control of plant parasitic nematodes. *Nematological Abstracts* 60(4): 153-167.
13. Greco, M.; Di Vito, M. & Saxena, M. C. 1991. Soil solarization for control of *Pratylenchus thornei* on chickpea in Syria. Eds. In: Soil Solarization. Plant Production and Protection. Paper 109. FAO, Rome, Italy. J.E. DeVay, J.J. Stapleton and C. L. Elmore, eds. 182-188.
14. Grinstein, A. 1992. Introduction of a new agricultural technology – soil solarization – in Israel. *Phytoparasitica* 20: 127–131 (suppl).
15. Grunzweig, J.M.; Katan, J.; Bental, Y. & Rabinowitch, H.E. 1999. The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soil. *Plant and Soil*. 206: 21-27.
16. Heald, C.M. 1987. Classical Nematode Management Practices. En: *Vistas on Nematology: A Commemoration of the Twenty-fifth Anniversary of the Society of Nematologists*. Veech, J. A. and Dickson, D. W. Maryland, Society of Nematologists, Inc. 101-104.
17. Katan, J.; Greenberger, A.; Alon, H. & Grinstein, A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688.
18. Katan, J. 1980. Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. *Plant Disease* 64(5): 450–454.
19. Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Ann. Rev. Phytopathology* 19: 211-236.
20. Katan, J. 1991. Soil Solarization. En: *Soil Solarization*. J. Katan & J.E. DeVay. Eds. CRC Press, Boca Raton, FL. 77-105.
21. Katan, J. 1992. Soil solarization research as a model for the development of new methods of disease control. *Phytoparasitica* 20: 133-135 (suppl.).
22. Katan, J. 1993. Replacing pesticides with nonchemical tools for the control of soilborne pathogens – a realistic goal? *Phytoparasitica* 21(2): 95–99.
23. Lamberti, F. & Greco, N. 1991. Effectiveness of soil solarization for control of plant parasitic nematodes. In: *Soil Solarization. Plant Production and Protection Paper 109*. FAO, Rome, Italy. J.E. DeVay, J.J. Stapleton and C.L. Elmore, eds. 167-172.
24. Lamberti, F. & Greco, N. 1998. Il bromuro di metile nella lotta contro i nematodi fitoparassiti in Italia. *Nematologia Mediterranea* 26 (suppl.). pp 93.
25. LaMondia, J.A. & Brodie, B.B. 1984. Control of *Globodera rostochiensis* by solar heat. *Plant Disease*. 68 (6): 474-476.
26. Lewis, J.A. & Papavizas, G.C. 1971. Effect of sulfur containing volatile compounds and vapors from cabbage decomposition on *Aphanomyces euteiches*. *Phytopathology* 61: 208-214.
27. Maero, E.; Azpilicueta, C.; Reybet, G.; Bucki, P. y Escande, A. 1999. Efecto de la solarización a campo sobre *Meloidogyne* spp. en la provincia de Neuquén. Resúmenes XXII Congreso Argentino de Horticultura.
28. Mejías, A.; Chacon, A.; Esparrago, G., Del Moral, J. y Díaz, R. 1995. Utilización de la energía solar para el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White, 1919; chitwood, 1949) en semilleros de tomate en Extremadura. *Phytoma* 69: 16-24
29. Overman, A.J. 1981. Off-season plant management and soil fumigation for tomatoe on sandy loam. *Journal of Nematology* 13: 445. Abs.
30. Reybet, G.; Bucki, P.; Azpilicueta, C.; Maero, E.; Reybet, G., Rodríguez, G. y Escande, A. 1999. Efecto de la solarización en invernadero sobre los patógenos del complejo del mal de los almácigos. Resúmenes XXII Congreso Argentino de Horticultura.
31. Ristaino, J.B. & Thomas, W. 1997. Agriculture, methyl bromide, and the ozone hole. Can we fill the gaps? *Plant Disease* 81(9): 964-977.
32. Rodríguez-Kábana, R. 1986. Organic and inorganic amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology* 18 (2): 129-135.
33. Sasser, J.N. 1989. *Plant-Parasitic Nematodes: The Farmer's Hidden Enemy*. University Graphics, North Carolina State University, Raleigh, pp 115.
34. Stapleton, J.J. & DeVay, J.E. 1982. Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology* 72(3): 323-326.
35. Stapleton, J.J. & DeVay, J.E. 1983. Response

- of phytoparasitic and free living nematodes to soil solarization and 1,3-Dichloropropene in California. *Disease Control and Pest Management* 73(10): 1429-1436.
36. Stapleton, J.J. & DeVay, J.E. 1984. Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. *Phytopathology* 74(3): 255-259.
37. Stapleton, J.J. & DeVay, J.E. 1986. Soil solarization: a non – chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection* 5(3): 190-198.
38. Stapleton, J.J. & DeVay, J.E. 1995. Soil solarization: A natural mechanism of integrated pest management. En: *Novel Approaches to Integrated Pest Management*. Reuven Reuveni. Ed. CRC Press, Boca Raton. 309-322
39. Stapleton, J.J.; Lear, B. & DeVay, J.E. 1987. Effect of combining soil solarization with certain nematicides on target and nontarget organisms and plant growth. *Ann. Appl. Nematol.* 1: 107-112.
40. Stevens, C. 1989. Long term effect of soil solarization on controlling root-knot nematodes in vegetables. *Phytopathology* 79 (10): 1177. Abs.
41. Szczesny, A. 2002. Sobre el bromuro de metilo y su eliminación. *Visión Rural*, 10 (46).
42. Trivedi, P.C. & Barker, K.R. 1986. Management of nematodes by cultural methods. *Nematropica* 16: 213-236.
43. Walker, G.E. & Watchel, M.F. 1989. The influence of soil solarization and non-fumigant nematicides on infection of *Meloidogyne javanica* by *Pasteuria penetrans*. *Nematologica* 34: 477-483.