

# DESINFECCIÓN DE SUELO EN INVERNADERO POR SOLARIZACIÓN. EVALUACIÓN DEL EFECTO SOBRE MALAS HIERBAS Y NEMÁTODOS

JULIA TORRES GREGORIO  
JOSÉ FERNÁNDEZ GÓMEZ

Finca de Experimentación Agraria can Marines (Ibiza, Baleares)

## RESUMEN

Se presenta una primera experiencia piloto de solarización y dos repeticiones en invernaderos fríos, todos con problemas por *Meloidogyne* o nemátodo agallador y una gran infestación de malas hierbas. En la primera de las experiencias se comparó el efecto de la solarización y la biosolarización con dos fuentes de materia orgánica diferentes, dejando un testigo.

De los resultados obtenidos se desprende que la biosolarización o biofumigación no ha sido tan efectiva como la solarización, que ha reducido la población de nemátodos en un 99,02% frente al 90,60% y 94,39% de reducción de la biosolarización.

## INTRODUCCIÓN

La aparición de problemas nematológicos suele ser denominador común para todos aquellos suelos en los que se practica el cultivo exclusivo de una especie vegetal o de un reducido número de especies afines. Normalmente los nemátodos contribuyen a una pérdida del 30% de los rendimientos agrícolas que suele pasar inadvertida o aceptada como normal debido a la mera aparición de síntomas inespecíficos. No obstante, estas pérdidas pueden elevarse hasta la pérdida total de la cosecha, como consecuencia de la intensificación de los cultivos.

Tradicionalmente las enfermedades causadas por nemátodos han sido combatidas mediante rotaciones, resistencia y/o aplicación de pesticidas. No obstante, en muchas ocasiones la rotación de cultivos no es posible, bien por las características ambientales y económicas, o bien por el amplio espectro de hospedadores de los nemátodos implicados. En la mayoría de los cultivos todavía no se han encontrado variedades resistentes a sus nemátodos específicos y cuando existen pueden plantearse problemas de selección de razas altamente patógenas. Además ha habido un descenso en el número de nematocidas disponibles y a la vez aceptables para el medio ambiente. Por tanto, se hace imprescindible

ble el desarrollo de nuevos métodos de control de estas importantes plagas para mantener los actuales estándares de calidad y producción.

La solarización se utiliza como un sistema de desinfección que consiste en acolchar el suelo húmedo durante 4-6 semanas con plástico transparente y fino en la época de mayor temperatura e intensidad de radiación solar. Mediante esta técnica se produce aumento de la temperatura del suelo y cambios en las propiedades físico-químicas del mismo y pueden controlarse bacterias, hongos, nemátodos y malas hierbas. Está especialmente indicada en cultivos anuales que dejan el terreno libre en verano, aunque también se pueden solarizar cultivos permanentes como plantaciones de frutales.

Cuanto mayor sea la temperatura alcanzada en el suelo, menos tiempo se necesita para eliminar los patógenos. Éstos mueren rápidamente (en minutos) con temperaturas entorno a los 50 °C, pero se necesitan varias horas de temperatura mantenida para eliminar o reducir sus poblaciones con temperaturas entre 37 y 45 °C.

La desinfección de suelos mediante solarización es una práctica aceptada en agricultura ecológica y recomendada en la producción integrada de cultivos hortícolas (Orden APA/370/2004 de 13 de febrero, BOE de 19 de febrero).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se presentan los resultados de tres experiencias de solarización en invernaderos, todos ellos con problemas de nemátodos y una infestación importante de adventicias.

Únicamente en la primera de las experiencias se intentó la desinfección por biosolarización o biofumigación: método de desinfección de suelos que utiliza los gases generados en la descomposición de materia orgánica aplicada al suelo en cantidades importantes (hasta 50 t/ha), para controlar bacterias, hongos, nemátodos y malas hierbas. La materia orgánica utilizada fue estiércol de ovino semifresco.

Las experiencias se han identificado como E1, E2 y E3:

E1: Solarización + biosolarización + testigo.

E2: Solarización.

E3: Solarización + testigo.

La metodología en todos los casos ha sido la siguiente:

- Confirmar la presencia de nemátodos en el cultivo precedente: Aunque en los tres invernaderos tratados se observaron síntomas en planta de *Meloidogyne* o nemátodo agallador (el que tiene una mayor incidencia en los cultivos de la zona), se han examinado las raíces de al menos 5 plantas que se han clasificado según el Esquema para la evaluación del nemátodo *Meloidogyne* en raíces (Zeck, 1971) (figura 1, fotos 1 y 3).
- Cuantificar la presencia de nemátodos: Aunque las agallas dan una idea intuitiva del nivel de ataque no son un método fiable, ya que no todos los cultivos tienen la misma respuesta y además es fácil no detectar los índices de agallada más bajos si la observación no se lleva a cabo por una persona entrenada. Así pues, se ha hecho un muestreo en los tres invernaderos, antes de la solarización, con una sonda metálica o taladro de corte cilíndrico (foto 7). Las muestras recogidas se han enviado al Laboratorio del Departamento de Biotecnología de la UPC para la extracción de huevos y juveniles de *Meloidogyne*.

- Preparación del terreno: En todos los casos se ha pedido al agricultor que retire todos los restos del cultivo anterior (ya que éstos pueden rasgar el plástico con facilidad, además de ser un reservorio de plaga). Una vez vaciado el invernadero, se ha procedido a arar con la finalidad de mullir el terreno, nivelar y colocar aspersores para humedecer el suelo hasta capacidad de campo, o al menos hasta 50 cm de profundidad (una humedad adecuada permite una transmisión mejor del calor en el suelo y los patógenos son más vulnerables al aumento de temperatura en un suelo húmedo). En la experiencia E1 en una parte del invernadero se incorporó estiércol de ovino en el momento de arar, para biofumigación, y en otra se incorporaron al terreno restos de col lombarda como fuente de materia orgánica, también para biofumigación.
- Sellar el terreno: Una vez alcanzado un nivel óptimo de humedad se ha procedido a la colocación del plástico sobre el terreno, enterrando los extremos y tensándolo para evitar la formación de bolsas de aire. El material utilizado para solarizar en los tres casos ha sido polietileno transparente de 150 galgas.
- Registro de datos de temperatura: En cada una de las experiencias se han utilizado los siguientes equipos:
  - E1.* Toma de datos con un termómetro digital con sonda a 35-40 cm de profundidad, con una lectura diaria.
  - E2.* Registros diarios, automatizados, con una frecuencia de 30 min con 3 sondas de temperatura inox Hobo U12, con volcados a Hobo H9 Shuttle.
    - Sonda 1: temperatura ambiente en el interior del invernadero.
    - Sonda 2: temperatura de suelo a 35 cm de profundidad.
    - Sonda 3: temperatura de suelo a 55 cm de profundidad.
  - E3.* Registros diarios automatizados, cada 30 min con un equipo Microsis, 2 sondas de temperatura Progres.
    - Sonda 1: temperatura ambiente en el interior del invernadero.
    - Sonda 2: temperatura de suelo a 50 cm de profundidad.

### **E1: Experiencia piloto (14-08-2006 hasta 9-10-2006)**

Se pretende comparar el efecto de la solarización frente al de la biosolarización, para ello se dividió el invernadero en cuatro parcelas:

- Biosolarización 1: se incorporó materia orgánica en forma de estiércol de ovino.
- Biosolarización 2: se incorporó materia orgánica en forma de restos de col lombarda en proceso de descomposición.
- Solarización.
- Testigo.

### **E2: Repetición (26/07/2007 hasta 20/08/2007)**

El invernadero donde se ha desarrollado la segunda de las experiencias es un invernadero tipo Almería de 110 m x 30 m, con postes de sujeción a 6 x 3 m.

Antecedentes: El 10 de agosto de 2006 se plantaron 6.000 plantas de tomate (cv. Birloque), que presentaron claros síntomas de nemátodos (según el agricultor), motivo por el cual se practicó una desinfección química con Metam-Na el 10 de enero de 2007.

El 20 de febrero de 2007 se plantaron 1.200 plantas de sandía (cv. Imperial). A finales de junio se realizó una prospección para determinar si había o no infestación por nemátodos. Se observaron agallas de *Meloidogyne* sobre raíces de adventicias (Índice de agallas = 2), pero no sobre el cultivo.

Para determinar el grado de infestación por nemátodos y su distribución en el invernadero, se ha dividido éste en 4 bloques, recogiendo 25 muestras, con un tomador de tipo Auger, de entre 5 y 30 cm de profundidad en cada bloque. Dichas muestras se mandaron al laboratorio de la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, perteneciente a la UPC, para su procesado. Los resultados se reflejan en la tabla 2.

### **E3: Repetición (3/08/2007 hasta 2/10/2007)**

En esta última experiencia se ha solarizado un invernadero en el que los últimos tres años se venía trabajando en un proyecto para desarrollo de modelos de predicción de daño de *Meloidogyne* en cultivos hortícolas (Proyecto MCYT AGL2004-01207. Fernandez *et al.*, 2007), por lo que la población de este nemátodo era elevadísima. El nivel de población y su distribución se reflejan en la tabla 3.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El efecto de la solarización depende en gran medida de la radiación solar, ya que ésta es la responsable del calentamiento del suelo. Con respecto a la temperatura ambiental, cuanto mayor sea su valor, menores serán las pérdidas de calor desde el suelo y éste podrá aumentar su temperatura en mayor medida, por tanto se ha recomendado mantener el invernadero cerrado durante la desinfección.

### **E-1**

El muestreo del suelo para cuantificar la población de nemátodos puso de manifiesto una distribución irregular de la presencia de los mismos, con los típicos «rodales» en los que la densidad de nemátodos es hasta tres veces superior a la restante (tabla 1).

El registro de la temperatura del suelo ha sido diario, a una profundidad de 35-40 cm. Se termina de regar y se coloca el plástico el 12 de agosto. Una vez se cubre con el plástico y se cierra el invernadero la subida de temperatura de suelo es muy rápida, en dos días se alcanzan valores, a 35-40 cm de profundidad, superiores a los 37 °C, que se mantienen desde el 14 de agosto hasta el 21 de septiembre; en los períodos comprendidos entre el 21 y el 24 de agosto y entre el 30 de agosto y el 5 de septiembre la temperatura se ha mantenido por encima de los 40 °C. El valor máximo alcanzado se da el día 1 de septiembre, con 41,90 °C. Sólo se disponía de un termómetro de suelo, por lo que no se pudo tomar la temperatura en cada una de las parcelas, sólo se controló la parcela solarizada (ver figura 2).

El invernadero se mantuvo cerrado hasta el día 9 de octubre, fecha en que se levantó el plástico y se procedió a hacer un muestreo y cuantificar de nuevo la presencia de nemátodos (juveniles y huevos). En principio se esperaba una mayor efectividad de la biosolarización, debido a que, en teoría, cuando se combina la solarización con la biofumigación, el suelo se calienta en mayor medida y el plástico permite la acumulación de

los gases generados. Los resultados del conteo de nemátodos no confirmaron las expectativas, como se puede observar en la tabla 1, ya que tras el período de solarización la mayor reducción de población se da en la parcela solarizada. Antes de la desinfección el recuento de juveniles y huevos es de 919 por cada 100 g de suelo y tras la solarización ha disminuido a 9, lo que supone una reducción del 99,02%.

En las parcelas biofumigadas, la población antes de solarizar es de 303 y 319 juveniles y huevos por cada 100 g de suelo, que disminuyen un 94,39% con el uso de estiércol, y un 90,60% con el uso de restos de col lombarda. En la parcela testigo, el período de tiempo pasado sin cultivo ha sido suficiente para reducir la población en un 68,01%, de 297 pasa a 95 juveniles y huevos por cada 100 g de suelo.

## E2

En esta experiencia el seguimiento de la temperatura se ha realizado mediante registros automatizados a tres niveles, temperatura ambiente en el interior del invernadero, temperatura de suelo a 35 cm de profundidad y a 55 cm de profundidad. Los datos recabados se reflejan en la tabla 4.

El riego a capacidad de campo provoca una brusca caída de la temperatura del suelo, pero tras la colocación y sellado con el plástico, la temperatura del suelo sube rápidamente, alcanzando dos días después los 37 °C considerados la temperatura mínima para desinfectar, incluso a 55 cm de profundidad.

El plástico se mantiene durante 4-5 semanas, si observamos los registros de temperatura del suelo vemos que al cuarto día se alcanza una temperatura máxima de 43,42 °C a 35 cm de profundidad y tras una semana de solarización se alcanza una temperatura máxima de 38,77 °C a 55 cm de profundidad, que se mantiene durante 4 días. Destaca el hecho de que la temperatura mínima registrada supera el umbral de desinfección (37 °C) de forma continuada durante los 13 primeros días en ambos estratos (ver figura 3).

La distribución de la población de nemátodos es muy irregular, como se observa en la tabla 2, con una población elevada en el bloque 4 (900 juveniles y huevos por cada 250 cc de suelo) y rodales con una población muy inferior como el bloque 2 y el testigo (con 66 y 85 juveniles y huevos por cada 250 cc de suelo, respectivamente). Tras la solarización el recuento es 0 en todos los bloques solarizados, pero también lo es en el testigo. En la parcela testigo no se ha colocado plástico, pero sí se ha retirado el cultivo y las adventicias previo al pase de arado, este período sin cultivo ha sido suficiente para que los nemátodos no sobrevivan.

## E3

En esta última experiencia, se ha solarizado un invernadero en el que los últimos tres años se venía trabajando en un proyecto para desarrollo de modelos de predicción de daño de *Meloidogyne* en cultivos hortícolas (Proyecto MCYT AGL2004-01207), por lo que la población de este nemátodo era elevadísima. La situación del cultivo antes de la desinfección se puede observar en la fotografía 3. El nivel de población y su distribución se reflejan en la tabla 3, se observa que el bloque 2 y el 4 tienen mayor población (3.795 y 2.246 juveniles y huevos por cada 250 cc de suelo, respectivamente), pero los bloques 1 y 3 tienen también una población muy elevada que hace necesaria la desinfección.

De los registros de temperatura de suelo a 50 cm de profundidad, destaca el período de tiempo necesario para alcanzar una temperatura de suelo superior a los 37 °C, ya que necesita casi diez días para recuperar la temperatura tras la caída brusca que provoca el riego a capacidad de campo. La temperatura máxima asumida a 50 cm de profundidad ha sido 39,78 °C el día 19 de agosto. La temperatura mínima no supera en todo el período los 36,73 °C (ver figura 4).

Tras el período de solarización, el recuento de nemátodos baja de forma espectacular, ya que los bloques con mayor población disminuyen hasta 5 y 4 juveniles y huevos por cada 250 cc, no detectándose nemátodos en los otros dos bloques (ver tabla 3).

## CONCLUSIONES

La solarización tiene una gran efectividad para eliminar o reducir poblaciones importantes de nemátodos y malas hierbas (equiparable a la obtenida con tratamientos químicos) a bajo coste económico y medioambiental. No utiliza ni produce compuestos tóxicos, es económicamente viable, fácil de utilizar y puede ser aplicada manualmente en pequeñas parcelas.

En los tres invernaderos desinfectados mediante esta técnica se ha observado una reducción importantísima de la presencia de adventicias. En E-1 dos años después sigue siendo evidente la diferencia entre la parcela testigo y el resto del invernadero, aun a pesar de que no se ha tomado ninguna medida preventiva para la desinfección.

En las condiciones de la zona ha resultado más efectiva la solarización que la biofumigación o biosolarización. Aun a igual efectividad sería preferible la solarización, ya que el estiércol es caro y escaso debido a lo reducido de la campaña. Además debe tenerse en cuenta que la utilización de éste como biofumigante debe hacerse con cautela debido al riesgo de fitotoxicidad para el cultivo y de contaminación de acuíferos por nitratos.

Destaca en las tres experiencias desarrolladas que la solarización no sólo consigue una desinfección del suelo correcta, sino que además fomenta las buenas prácticas agrícolas en el manejo del invernaderos que, por el ciclo productivo de la zona, suelen quedar muy descuidadas. A finales de junio entran en producción las parcelas situadas al aire libre, por lo que los agricultores suelen dejar los restos del cultivo dentro del invernadero hasta una semana antes de la nueva plantación, aproximadamente a mediados de octubre. Así pues, solarizar a mediados o finales de julio obliga a retirar los restos del cultivo y de forma paralela a la desinfección del suelo, las elevadas temperaturas asumidas en el interior del invernadero consiguen una higienización de la instalación. Se consigue un «vacío sanitario» que no sólo repercute en los patógenos del suelo.

Es importante, para el control de nemátodos, realizar un muestreo previo preciso para conocer el nivel de población de nemátodos y su distribución en el invernadero, ya que, para niveles bajos, dejar el terreno libre de cultivo y adventicias durante la temporada estival puede ser suficiente para su control, como ha ocurrido en el testigo de E2.

El período de solarización elegido como óptimo en nuestras condiciones es el comprendido entre la primera mitad de julio y final de agosto, fechas de mayor intensidad de radiación solar. En este período, de tres a cuatro semanas serán más que suficientes para conseguir una correcta desinfección del invernadero.

**Tabla 1.** Conteo de nemátodos pre y post tratamiento - E1

<b>Juveniles y huevos de <i>Meloidogyne</i> / 100 g de suelo</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>Media inicial</b>	<b>Media final</b>	<b>% reducción</b>
Biofumigación 1	303	17	94,39
Biofumigación 2	319	30	90,60
Solarización	919	9	99,02
Testigo	297	95	68,01

**Tabla 2.** Conteo de nemátodos pre y post solarización - E2

<b>Juveniles y huevos de <i>Meloidogyne</i> / 250 cm<sup>3</sup> sòl</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Presolarización</b>	<b>Postsolarización</b>
Bloque 1	215	0
Bloque 2	66	0
Bloque 3	204	0
Bloque 4	900	0

Extracción de nemátodos del suelo según bandejas Baermann.

**Tabla 3.** Conteo de nemátodos pre y post solarización - E3

<b>Juveniles y huevos de <i>Meloidogyne</i> / 250 cm<sup>3</sup> sòl</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Presolarización</b>	<b>Postsolarización</b>
Bloque 1	1400	0
Bloque 2	3795	5
Bloque 3	1443	4
Bloque 4	2246	0

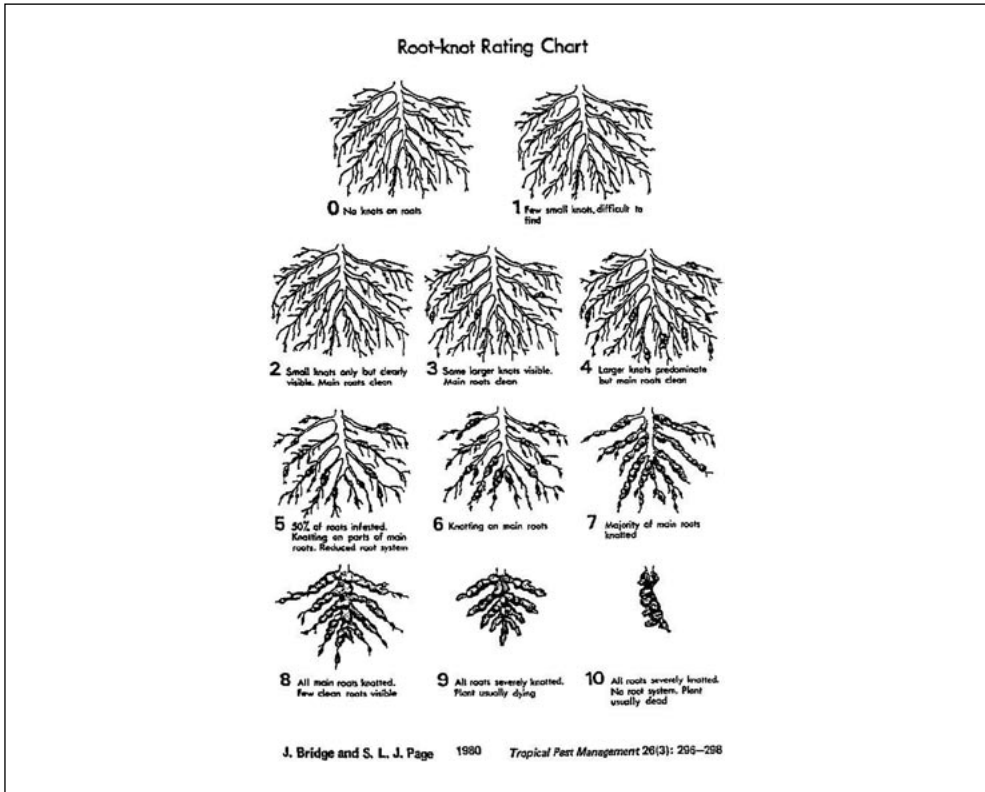
Extracción de nemátodos del suelo según bandejas Baermann.

**Tabla 4.** Registro de temperaturas - E2

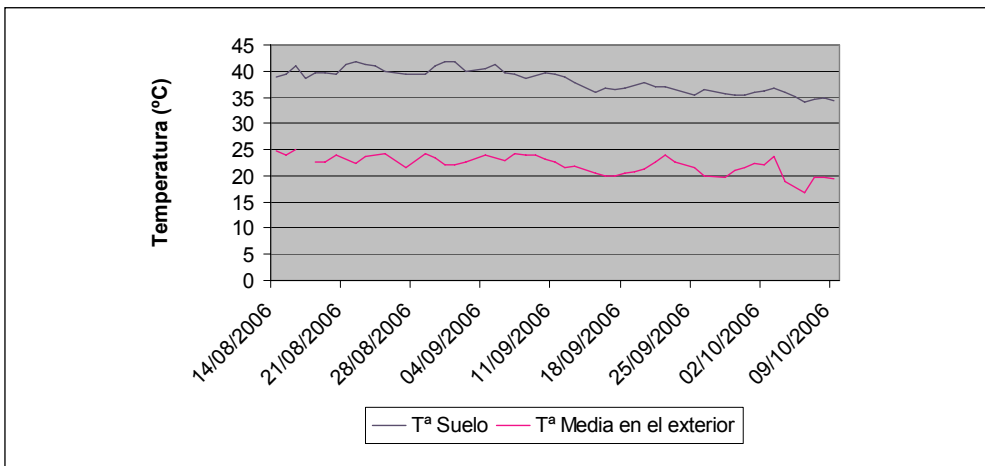
Fecha	T <sup>a</sup> mín. ambiente	T <sup>a</sup> máx. ambiente	T <sup>a</sup> mín. suelo 35 cm	T <sup>a</sup> máx. suelo 35 cm	T <sup>a</sup> mín. suelo 55 cm	T <sup>a</sup> máx. suelo 55 cm
27/07/2007	23,24	59,22	27,91	42,46	27,12	37
28/07/2007	22,86	59,9	39,22	42,94	37	37,44
29/07/2007	25,17	58,55	39,67	42,94	37	37,88
30/07/2007	25,56	58,55	39,67	43,42	37,44	37,88
31/07/2007	25,17	57,24	39,67	43,42	37,88	38,32
01/08/2007	25,17	57,24	39,67	42,94	37,88	38,32
02/08/2007	24,4	56,6	40,13	43,42	37,88	38,32
03/08/2007	26,34	57,89	40,13	42,94	38,32	38,77
04/08/2007	23,63	57,89	39,67	42,94	38,32	38,77
05/08/2007	23,63	55,97	39,67	42,94	38,32	38,77
06/08/2007	26,34	45,89	40,13	42,94	38,32	38,77
07/08/2007	22,09	54,74	37,88	41,05	37,44	38,32
08/08/2007	25,17	44,89	38,32	41,05	37,44	37,88
09/08/2007	25,56	42,46	37	39,22	37	37,44
10/08/2007	23,63	54,74	35,7	38,32	36,13	37
11/08/2007	23,24	55,97	36,13	40,13	36,13	36,57
12/08/2007	27,91	57,89	38,32	41,52	36,57	37
13/08/2007	24,01	56,6	38,77	41,99	37	37,44
14/08/2007	21,71	57,89	38,77	42,46	37,44	37,88
15/08/2007	24,4	57,89	39,67	42,94	37,88	38,32
16/08/2007	25,56	53,53	39,67	42,94	38,32	38,77
17/08/2007	27,12	54,74	39,22	41,99	38,32	38,77
18/08/2007	23,63	56,6	38,77	42,46	38,32	38,77
19/08/2007	23,24	51,79	39,22	42,46	38,32	38,77
20/08/2007	25,95	29,5	38,77	40,59	38,32	38,32



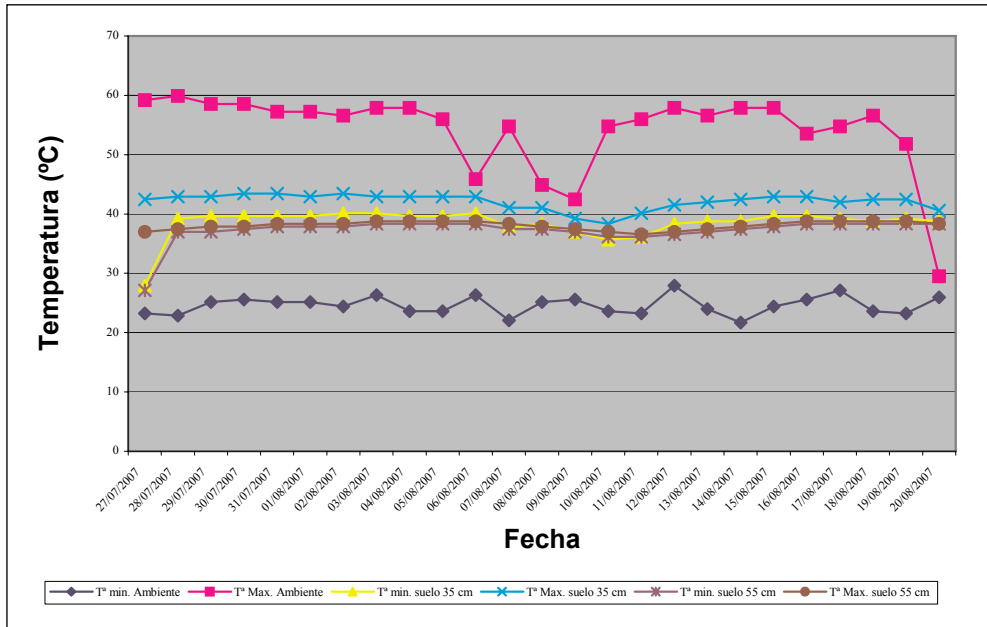
**Figura 1.** Tabla para evaluación de nemátodo *Meloidogyne* en raíces



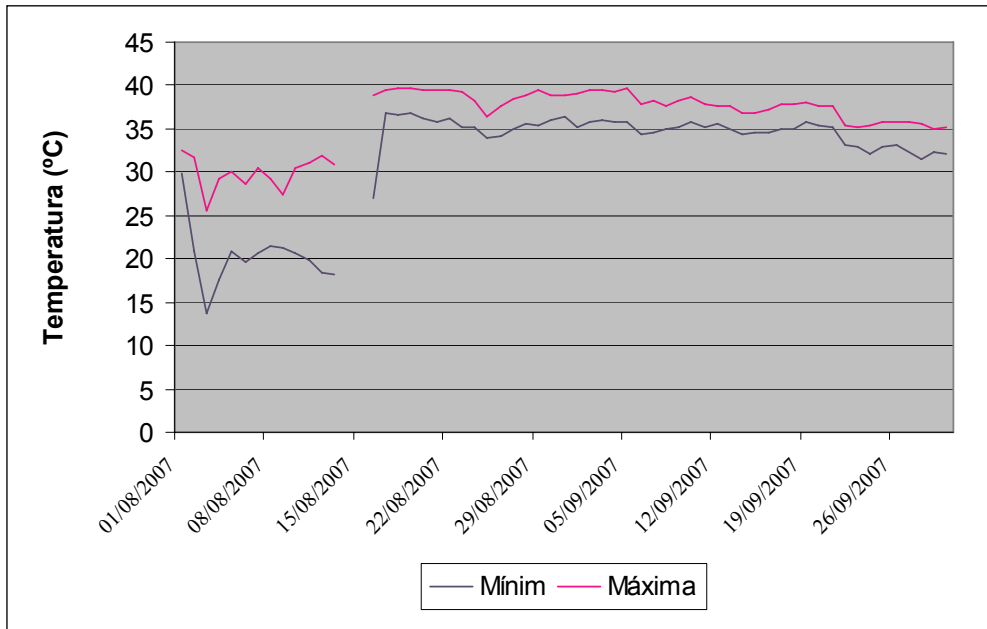
**Figura 2.** Evolución de la temperatura de suelo a 35-40 cm de profundidad, y de la temperatura media en el exterior del invernadero en E1



**Figura 3.** Evolución de la temperatura ambiental en el interior del invernadero E2 y del suelo del mismo a dos profundidades



**Figura 4.** Evolución de la temperatura de suelo a 50 cm de profundidad en E3



**Foto 1.** Aspecto de raíces de melón atacadas por *Meloidogyne* antes de solarización en E-1



**Foto 2.** Aspecto general del invernadero E-2 antes de la solarización



**Foto 3.** Aspecto del cultivo antes de la solarización en E-3



**Foto 4.** Aspecto de E-1 durante la solarización



**Foto 5.** Aspecto de invernadero E-2 al inicio de la solarización



**Foto 6.** Aspecto de invernadero E-3 durante la solarización



**Foto 7.** Toma de muestras para conteo de nemátodos tras solarización en E2



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLO, A.; LÓPEZ-PÉREZ, J.A. y DÍAZ VIRULICHE, L. «Biofumigación y solarización como alternativas».
- DÍAZ, S.; RODRÍGUEZ, A. y GALLO, L. «Solarización y biosolarización: alternativas a la desinfección química de suelos agrícolas».
- FERNÁNDEZ, C.; ORNAT, C.; SORRIBAS, F.J.; TALAVERA, M. y VERDEJO-LUCAS, S. «Elaboración de modelos de predicción para el manejo de *Meloidogyne* en cultivos hortícolas y evaluación de métodos biorracionales». Proyecto MCYT AGL2004-2007.
- TALAVERA, M. «Manual de nematología». Quaderns d'Agricultura 7. Conselleria d'Agricultura i Pesca. Govern de les Illes Balears.
- Varios. «Manual de laboratorio. Diagnóstico de hongos, bacterias y nemátodos fitopatógenos». Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria.