

# LOS NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS



Comunidad Europea



Consejería de Agricultura y Pesca





# LOS NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS

**Autora:**

Elvira Frápolli Daffari (\*)

(\*) Delegación Provincial de la C.A.P. de Málaga. Dpto. de Sanidad Vegetal.

**Título:**

LOS NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS

**©:**

**JUNTA DE ANDALUCÍA. *Consejería de Agricultura y Pesca.***

**© Textos:**

Autora.

**Publica:**

**VICECONSEJERÍA. *Servicio de Publicaciones y Divulgación.***

**Colección:**

COMUNICACIONES I+D. nº 30/00.

**Autora:**

Frápolti Daffari, Elvira.

**Ilustraciones:**

Dpto. de Sanidad Vegetal. Delegación de Agricultura y Pesca de Málaga.

**I.S.B.N.:**

84-89802-92-0

**Depósito Legal:**

SE-1232-2000

**Maquetación e Impresión:**

A. G. Novograf, S.A. (Sevilla)

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1. CLASIFICACIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>2. ANATOMÍA</b> .....	<b>11</b>
<b>3. CICLO BIOLÓGICO</b> .....	<b>13</b>
<b>4. EPIDEMIOLOGÍA</b> .....	<b>15</b>
<b>5. TOMA DE MUESTRAS Y TÉCNICAS DE AISLAMIENTO</b> .....	<b>17</b>
<b>6. DAÑOS Y SINTOMATOLOGÍA</b> .....	<b>19</b>
<b>7. ECOLOGÍA</b> .....	<b>23</b>
7.1. Factores Bióticos .....	23
7.2. Factores Abióticos .....	24
<b>8. ENEMIGOS NATURALES</b> .....	<b>26</b>
8.1. Predadores .....	26
8.2. Parásitos .....	27
<b>9. MEDIDAS DE CONTROL</b> .....	<b>28</b>
9.1. Medidas Preventivas .....	28
9.2. Medidas Culturales .....	28
9.3. Métodos Biológicos .....	29
9.4. Métodos Químicos .....	30
9.5. Métodos Físicos .....	31
9.6. Métodos Genéticos .....	32
9.7. Control Integrado .....	33



## INTRODUCCIÓN

Los nemátodos son un grupo de organismos invertebrados, altamente diferenciado, que constituyen un "phylum" dentro del reino animal. También se les conoce como anguñulas, lombrices, gusanos redondos o filamentosos, etc. Abundan en todas los habitats, incluyendo desiertos, hielo, fondo del mar, manantiales termales, etc. Existen especies saprofitas, depredadores, y parásitos de vegetales o animales, incluido el hombre.

Algunos de ellos están muy especializados en infectar a determinadas especies vegetales, mientras que otras son de amplia polifagia. En su mayoría habitan en el suelo y colonizan las raíces, aunque algunos parasitan las partes aéreas de las plantas.

En el pasado, los daños causados por los nemátodos a los cultivos, frecuentemente se ignoraron o se atribuyeron a otras causas, debido a que los nemátodos fitoparásitos son todos microscópicos, y a que no se disponía de información clara sobre su poder patógeno. Hoy se sabe que son agentes patogénicos que afectan al rendimiento y calidad de los cultivos, con las consiguientes implicaciones económicas.





## 1. CLASIFICACIÓN

Una posible clasificación de los nemátodos que afectan a los cultivos, sería:

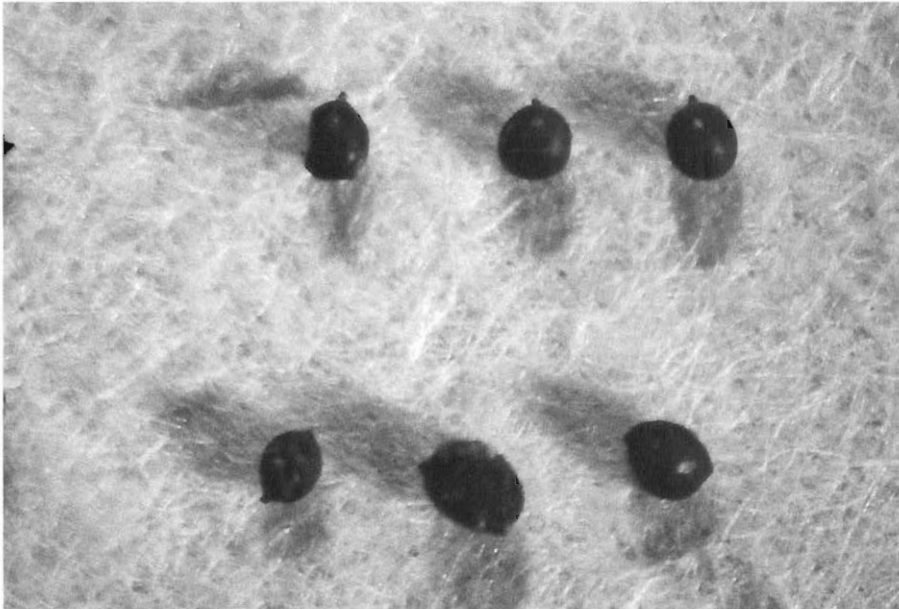
NEMÁTODOS FORMADORES DE QUISTES:

Género *HETERODERA* (Foto 1)

*H. avenae* (cereales), *H. schachtii* (remolacha), *H. carotae* (zanahoria)

Género *GLOBODERA* (Foto 1)

*G. rostochiensis*, *G. pallida* (patata)

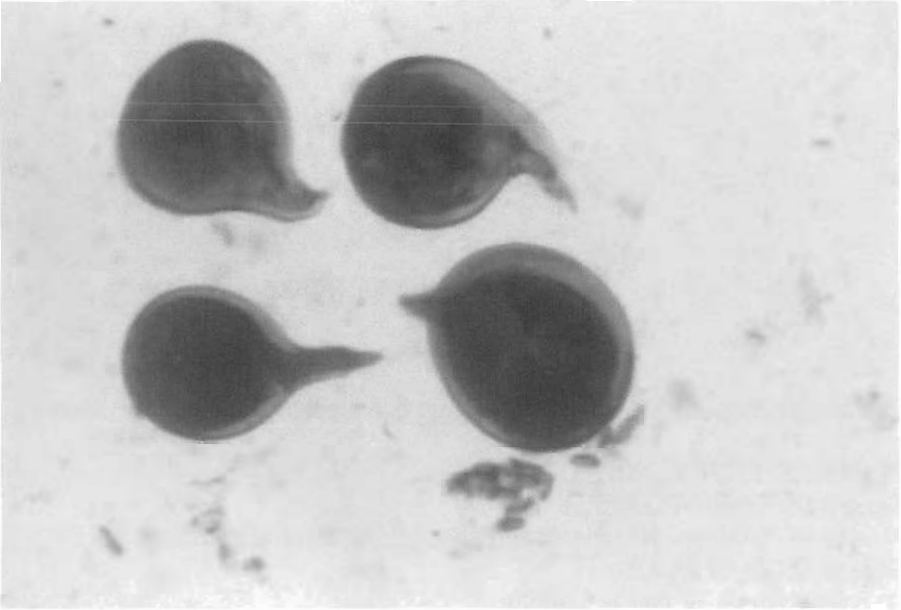


▲ Foto 1. Quistes de *Heterodera* sp. y *Globodera* sp.

NEMÁTODOS FORMADORES DE AGALLAS O NÓDULOS:

Género *MELOIDOGYNE* (Polifago) (Foto 2 y 3))

*M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. hapla* (hortícolas, ornamentales, frutales, patata, vid, platanera, tabaco, etc)

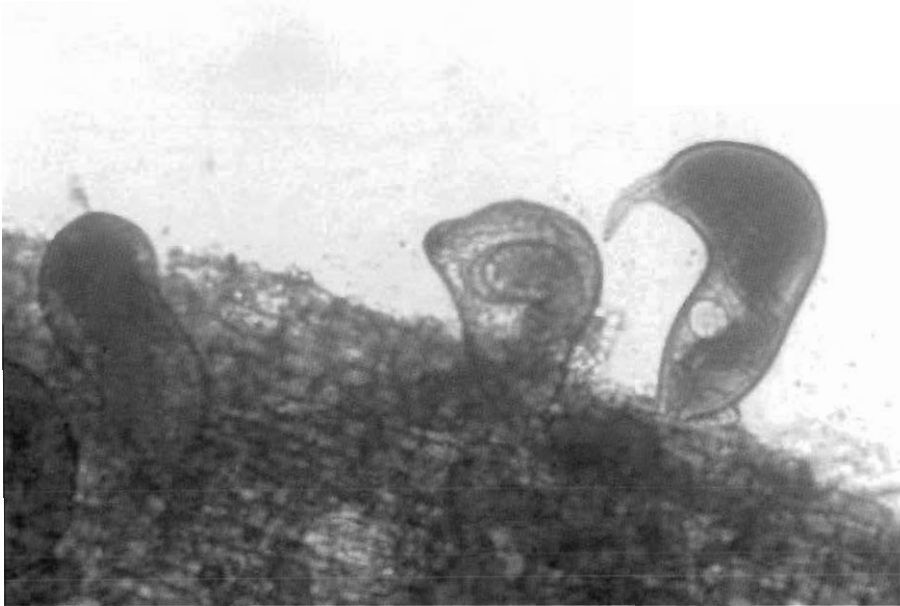


▲ Foto 2. Hembras de *Meloidogyne* sp.



▲ Foto 3. Hembras de *Meloidogyne* sp. en el interior de una raíz.

NEMÁTODOS DE LOS CÍTRICOS:  
Género *TYLENCHULUS* (Foto 4)  
*T. semipenetrans* (cítricos)



▲ Foto 4. Nemátodo de los cítricos: *Tylenchulus semipenetrans*.

NEMÁTODOS DE PARTES AÉREAS:

Género *APHELENCHOIDES*

*A. fragariae* (fresa), *A. besseyi* (arroz), *A. ritzemabosi* (crisantemo)

Género *BURSAPHELENCHUS*

*B. xylophilus* (forestales)

NEMÁTODOS DE LOS BULBOS Y HOJAS:

Género *DITYLENCHUS*

*D. dipsaci* (ajo y cebolla, y ornamentales de bulbos) (Foto 5)

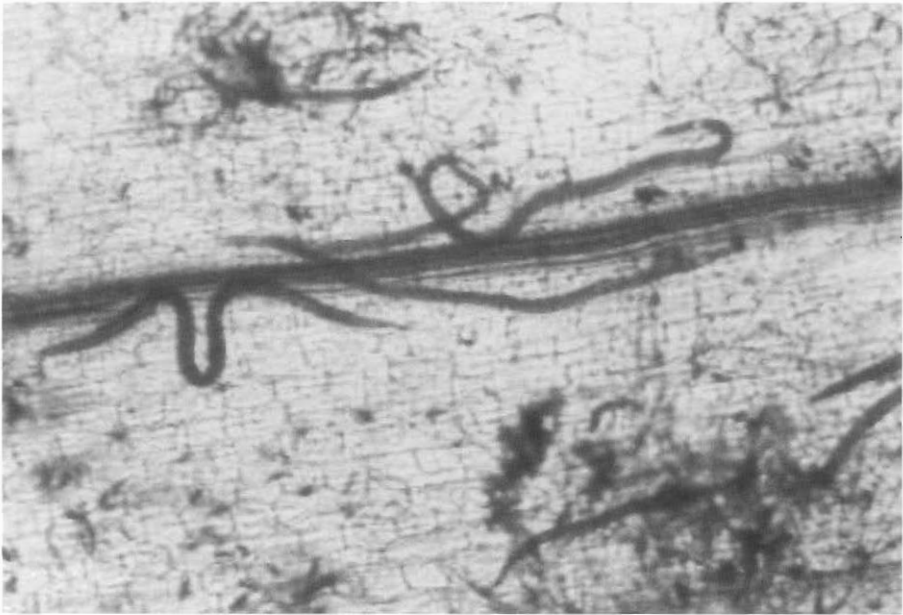
NEMÁTODOS TRANSMISORES DE VIRUS:

Género *XIPHINEMA* (Foto 6)

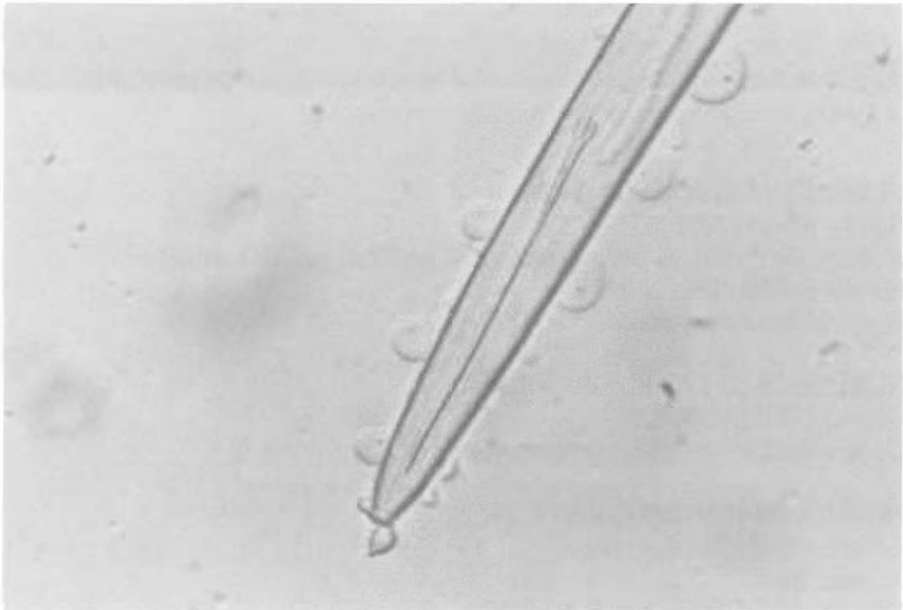
*X. index* (vid)

Género *LONGIDORUS* (vid, frutales)

Género *TRICHODORUS* (frutales)



▲ Foto 5. Nemátodo del ajo y cebolla: *Ditylenchus dipsaci*.



▲ Foto 6. Nemátodo transmisor de virus: *xiphinema*, sp.

OTROS NEMÁTODOS:

Géneros: *Aphelenchus*, *Pratylenchus*, *Radopholus*, *Rotylenchulus*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides*, *Anguina*, etc

## 2. ANATOMÍA

En general, y con importantes excepciones, los nemátodos fitoparásitos son gusanos alargados, cilíndricos, y microscópicos (Foto 7). Su longitud oscila entre 0.30 mm y 5.0 mm. En algunas especies existe dimorfismo sexual, teniendo las hembras el cuerpo muy ensanchado, a veces casi esférico, con un cuello acusado (Foto 2). Los machos adultos son, sin excepción, vermiformes. Los nemátodos fitoparásitos carecen de apéndices locomotrices.

La extremidad anterior suele ser ahusada y termina en una cabeza con una región labial. La extremidad posterior es cónica o redondeada.

En la boca presentan un estilete (Foto 8) a modo de aguja hipodérmica, de tamaño y forma variables, que clavan en el vegetal para alimentarse. La parte posterior del esti-



▲ Foto 7. Nemátodo fitoparásito típico.

lete está unida a unos músculos que sirven para mover el estilete, haciéndolo salir de la abertura bucal para perforar las células vegetales y extraer su alimento mediante bombeo. Este estilete, en algunas especies vectoras de virus, es el que porta las partículas virales (Foto 6). El tubo digestivo empieza en la boca y acaba en el ano. Comprende el esófago, el intestino y el recto.

Los nemátodos tienen un sistema excretor consistente en un tubo que desemboca en un poro excretor, situado en la parte anterior. Carecen de sistemas circulatorio y respiratorio. La respiración la realizan a través de la cutícula, que puede ser o no anillada, e incluso puede presentar escamas o espinas. El sistema nervioso está formado por un collar nervioso alrededor del esófago, así como órganos táctiles y quimiorreceptores repartidos por el cuerpo.

La reproducción puede ser bisexual o partenogenética. El sistema reproductor de la hembra consiste en uno o dos ovarios y vulva. En el macho consta de uno o dos testículos, con sus estructuras asociadas, (espículas y un gubernáculo).



▲ Foto 8. Estilete de un nemátodo fitoparásito.

### 3. CICLO BIOLÓGICO

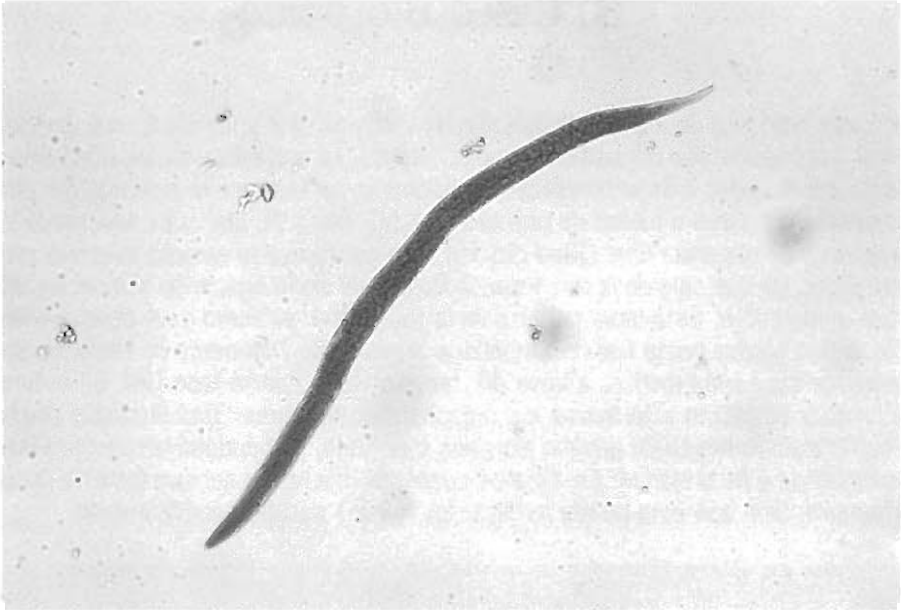
El ciclo biológico de los nemátodos fitoparásitos es, por lo general, muy simple. En general, los huevos son depositados por la hembra, en una masa (ooteca) adheridos a la raíz o en el suelo. Tras el desarrollo embrionario, se produce la eclosión del huevo, del que sale una larva o juvenil de primera fase (J1) (Foto 9), que sufre una muda y origina la larva de segunda fase (J2) (Foto 10), que constituye el estadio infeccioso propiamente dicho, ya que sale de la raíz y queda libre en el suelo buscando nuevas raíces de las que alimentarse. Esta larva penetra en la raíz por su extremo y se abren camino a través de los tejidos hasta fijarse. Empieza a alimentarse y aumenta de tamaño, pasando a través sucesivas mudas, a larva de tercera (J3) y cuarta fase (J4). En la tercera fase larvaria empiezan a formarse los órganos reproductores. Tras la cuarta muda, el macho se transforma en un gusano alargado y delgado, y abandona la raíz para buscar a las hembras y fecundarlas. En algunos casos, el macho no necesariamente fecunda a la hembra, sino que ésta puede fertilizar los huevos partenogénicamente.



▲ Foto 9. Huevo de *Meloidogyne* sp. teñido.



Existen algunas peculiaridades en algunos grupos de nemátodos. Los formadores de quistes (*Heterodera*, *Globodera*, etc), se caracterizan por la fase de resistencia (quiste) que no es otra cosa sino el cuerpo globoso de la hembra adulta blanca, del todo repleto de huevos, que al final de su vida endurece y oscurece su cutícula (Foto 1), y cae al suelo, convirtiéndose en una cubierta protectora muy resistente a las condiciones adversas y, por tanto, puede contener huevos viables durante muchos años hasta que las condiciones sean favorables de nuevo. En el caso de los nemátodos formado-



▲ Foto 10. Larva de 2ª fase (J2) de *Meloidogyne* sp. teñida.

res de agallas (*Meloidogyne*) no se forman quistes, y la hembra queda en el interior de la raíz (Foto 3). La alimentación y el crecimiento de la larva dará como consecuencia la formación de un abultamiento notorio en la raíz llamado agalla o nódulo. El nemátodo de los cítricos (*Tylenchulus*), se caracterizan porque la hembra madura implanta en las raíces únicamente su cabeza hasta el cuello (Foto 4). Todos ellos, se consideran ENDO-PARASITOS SEDENTARIOS, ya que la mayor parte del ciclo biológico transcurre en el interior de las raíces. Otros, atacan las capas exteriores de las raíces, sin unirse permanentemente a ella y se denominan ECTOPARASITOS MIGRATORIOS.

La duración del ciclo biológico depende estrechamente de los factores ambientales (Temperatura, Humedad, etc.). Algunos poseen una elevada tasa reproductiva y en condiciones óptimas, el tiempo que transcurre desde la puesta hasta que el huevo se transforma en una hembra susceptible de poner huevos, puede ser de tres o cuatro semanas.

## 4. EPIDEMIOLOGÍA

En este apartado englobaremos temas como la locomoción y propagación, la distribución espacial, dinámica de poblaciones, y umbrales de intervención.

La locomoción de los nemátodos fitoparásitos, con muy pocas excepciones, se realiza mediante un movimiento ondulatorio sobre un plano dorsi-ventral, a través de los espacios que dejan los poros del suelo. La locomoción parece que se verifica al azar, hasta que el nemátodo llega cerca de una raíz, atraído entonces por las secreciones de ésta (exudados radiculares) que detecta mediante los órganos quimiorreceptores (anfídios). En la locomoción de los nemátodos **influyen** la temperatura y la humedad del suelo. Obviamente, el desplazamiento espacial de los nemátodos es mínimo si se realiza por sus medios. Sus ataques suelen **confirmarse** a rodales irregulares en el terreno. En contraste a esto, muchos de ellos están **capacitados** para una persistencia temporal muy larga en el terreno. La propagación o dispersión en la práctica es muy elevada y se verifica, por lo general, a través del agua de riego, o la maquinaria agrícola, así como por la contaminación del material vegetal (plantones, bulbos, rizomas, tubérculos, semillas, tallos y hojas), responsable de la propagación a grandes distancias.

La distribución espacial de los nemátodos en la parcela no es homogénea, sino que se localiza por focos o rodales irregulares, que se extienden con bastante rapidez. En cuanto al perfil del suelo, la mayoría de las especies se encuentra en la franja comprendida entre los 5-30 cm. de profundidad (en herbáceos), y de los 30-100 cm. (en leñosos). Algunos pueden encontrarse a varios metros de profundidad, siempre que encuentren las condiciones óptimas para sobrevivir.

Algunos fitonemátodos, como es el caso de los nemátodos de los nódulos (*Meloidogyne*), se multiplican logarítmicamente por varias generaciones durante la época de crecimiento. Si cada hembra puede depositar unos 500 huevos, y si se estima que el 5% de 500 huevos producidos viven para reproducirse, los números serían de: 25, 625, 15625, sólo en 4 generaciones. La tasa reproductiva de *Meloidogyne* es muy alta. Las poblaciones se pueden multiplicar por 100 o más cada mes.

Los daños producidos por los nemátodos en el cultivo están en estrecha relación con la densidad de población. Normalmente el rendimiento del cultivo disminuye linealmente con el logaritmo de la densidad de inóculo inicial. Ambas variables a su vez, están

influidas por múltiples factores y circunstancias, que hacen que exista una gran variabilidad de comportamiento. Todo ello, hace muy difícil el establecimiento de criterios de intervención, umbrales de peligrosidad, metodología de muestreo, ya que en la práctica no son operativos. La larga persistencia en el terreno, la existencia de patotipos o razas biológicas, la tasa reproductiva elevada en muchos casos, la polifagia en otros, etc., implican que en un suelo, una población inicial casi indetectable, se irá extendiendo y agravando de forma continua. Por tanto en cuanto se detecten los primeros indicios de la presencia en un cultivo, hay que tomar medidas siempre, dado que con el tiempo el problema tenderá a agravarse.

## 5. TOMA DE MUESTRAS Y TÉCNICAS DE AISLAMIENTO

Los ataques de nemátodos no manifiestan una sintomatología clara. Descartando posibles deficiencias de agua y nutrientes en el suelo, cuando se sospecha la presencia de estos fitófagos se procederá a la toma de muestras y remisión de las mismas a un Laboratorio Nematológico para su procesamiento.

Como se comentó anteriormente no existe una metodología de muestreo establecida para los nemátodos. La toma de muestras se realizará al azar, tanto en el rodal afectado como fuera de él, y debe ser representativa de la parcela en cuestión, por lo que constará del mayor número posible de catas o submuestras, que oscilará entre 10-15 catas/Ha., compuestas cada una de ellas por unos 200 gr de suelo, aproximadamente, y que serán reunificadas en una misma muestra. La profundidad de muestreo varía según los cultivos, pero siempre a la profundidad en que se encuentren (o hayan encontrado) las raíces del cultivo, despreciando la capa superficial y, a ser posible, donde haya humedad. Siempre que haya un cultivo implantado en la parcela en cuestión, es imprescindible tomar muestras de raíces del cultivo. También el número de muestras a tomar debe ser representativo. En el caso de leñosas, se buscarán las raíces secundarias de menor grosor.

La bolsa con la muestras de suelo y/o raíces, se identificará con una referencia, y en hoja aparte se anotarán toda la información que pueda resultar de utilidad: Síntomas observados, valoración de los daños, tratamientos realizados, variedad, edad, cultivo anterior y problemas anteriores, identificación del peticionario y parcela, etc. Todo ello se enviará a la mayor brevedad a un laboratorio de diagnóstico. En caso de no enviarse de forma inmediata, las muestras se almacenarán en frigorífico a unos 5°C, durante un tiempo no superior a 1-2 semanas.

Las técnicas actuales para el aislamiento de nemátodos, a partir del suelo o de raíces, son múltiples y diversas. En general, todas ellas están basadas en las diferentes densidades y tamaños que presentan los distintos componentes de un suelo (arcilla, limo, arena, materia orgánica, etc), y consisten en diferentes pasos de lavado y separación de dichos componentes, hasta extraer los nemátodos aislados de toda la mezcla del suelo. Dichas técnicas podríamos agruparlas en función de la muestra, del cultivo en cuestión y del nemátodo a detectar. Las más usuales serían:

**Muestra de suelo:**

- Cereales, Patata, Remolacha (*Heterodera* spp., *Globodera* spp.)
  - 1º.- Fenwick
  - 2º.- Valoración de la viabilidad de los quistes
- Horticolas, Ornamentales, etc (*Meloidogyne* spp.); Frutales (*Pratylenchus* spp.)  
Cítricos (*Tylenchulus semipenetrans*); Bulbos (*Ditylenchus dipsaci*), etc.
  - Centrifugación en azúcar
  - Embudo de Baermann
  - Otros: Cobb, Seinhorst, etc.
- Vid (*Xiphinema* spp. y otros)
  - Flegg
  - Centrifugación en azúcar
  - Otros: Cobb, Seinhorst, etc

**Muestra de raíces:**

- Horticolas y Ornamentales (*Meloidogyne*), Frutales (*Pratylenchus*), Cítricos (*Tylenchulus*), Bulbos (*Ditylenchus*), Vid (*Xiphinema*):
  - Tinción de raíces
  - Centrifugación en azúcar
  - Embudos de Baermann
- Cereales, Patata, Remolacha (*Heterodera*, *Globodera*)  
Observación sin teñir

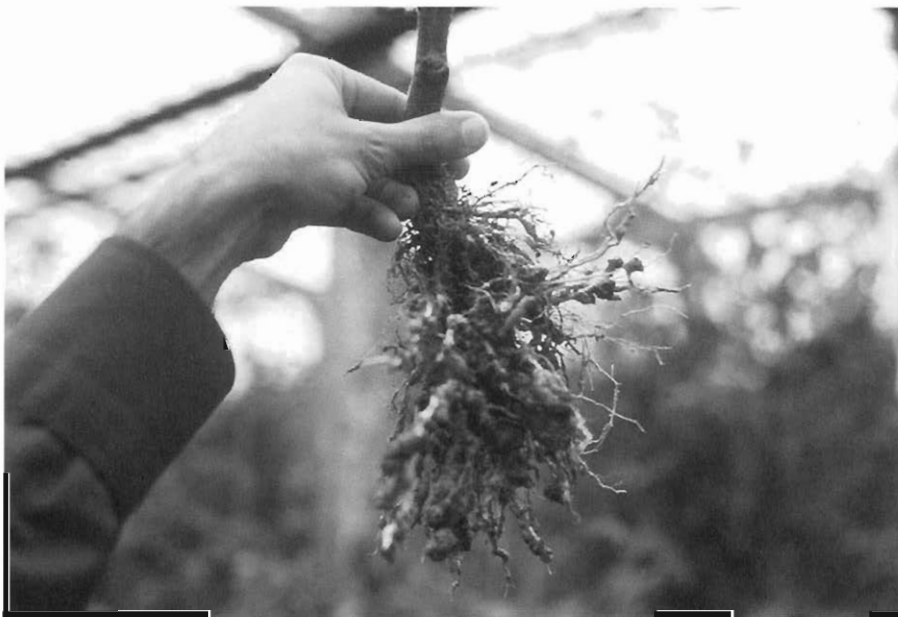
Otras técnicas o criterios más sofisticados son: Test de hospederos diferenciales (ha caído en desuso), Análisis de Isoenzimas, Citogenética, Técnicas de PCR y RFLPs (fragmentos de DNA), etc.

Una vez aislados los nemátodos del suelo o de la raíz, procede su identificación y recuento. Generalmente más de una especie concurre en un suelo, pero en función del cultivo se busca la especie patógena predominante. En resumen puede decirse que son muchas las estructuras de los nemátodos que tienen carácter taxonómico, pero ninguna se utiliza de forma aislada para dar un diagnóstico: el tamaño de juveniles y adultos, la longitud y forma del estilete, los órganos reproductores, la forma de la cola, la cutícula, etc. Así mismo, hay otros caracteres subjetivos, no medibles y de menor fiabilidad.

## 6. DAÑOS Y SINTOMATOLOGÍA

En general, una vez que la larva ha localizado una raíz de la cual alimentarse, penetra en ella y clava sus estilete perforando las células. Esta lesión mecánica va acompañada por la inyección de secreciones digestivas; a continuación el nemátodo aspira el contenido celular que, por el estilete, pasa el intestino a través del esófago. En algunos casos, las células afectadas comienzan a transformarse, fusionándose entre sí, disolviendo las paredes celulares y dividiéndose repetidas veces, dando lugar a las llamadas "células gigantes".

Esta actividad alimenticia produce daños en el sistema radicular de la planta a nivel de los vasos conductores, que pueden llegar incluso a deformarse o romperse. Las raíces como consecuencia, también se deforman o se hipertrofian (agalla) (Foto11), se



▲ Foto 11. Agallas en raíces de tomate atacadas del nemátodo de las agallas, *Meloidogyne* sp.

reducen o acortan perdiendo raíces secundarias, etc. Otras veces se produce un apañamiento de raíces, o bién lo que se conoce como "raíces en cabellera", como resultado de la estimulación de raíces secundarias (Foto 12).

Esta acción mecánica sobre la raíz se traduce en una ineficacia funcional del sistema radicular, ya que se ven interrumpidos el flujo y asimilación de agua y nutrientes al resto de la planta., aunque estos sean abundantes en el suelo.

La disminución de la ineficacia funcional de la raíz, causan una sintomatología no muy característica del ataque de nemátodos, sino más bien un reflejo de la carencia del suelo en agua y nutrientes. Estos síntomas serían: disminución o paralización del crecimiento que tiende a ser desigual en la parcela (rodales), marchitez, amarilleamiento, etc, (Foto 13, 14, 15 y 16) Todo ello se traduce en una disminución del rendimiento de las plantas afectadas con la consiguiente pérdida de producción del cultivo.

Por otro lado, en muchas ocasiones, las infecciones producidas por los nemátodos preparan o predisponen a las plantas para la infección por hongos; bacterias y virus, bien porque las heridas son la vía de entrada, o bien, porque cambian la susceptibilidad de la planta frente a éstos otros patógenos. En muchos casos se produce una asociación nemátodo-hongo, ó nemátodo-bacteria, que se llama "complejo patológico", y se manifiesta como una enfermedad de mayor importancia.



▲ Foto 12. Raíces de un cereal afectado por *Heterodera avenae*.



▲ Foto 13. Rodales en un cultivo de cereal afectado por *Heterodera avenae*.



▲ Foto 14. Cultivo de patatas afectado por *Globodera rostochiensis*.





▲ Foto 15. Cultivo de tomates en invernadero afectado por *Meloidogyne* sp.



▲ Foto 16. Cultivo de cebollas afectado por *Ditylenchus dipsaci*.

## 7. ECOLOGÍA

Entre los factores que condicionan el desarrollo y la evolución de los nemátodos, debemos destacar:

### 7.1. FACTORES BIÓTICOS

#### 7.1.1. Disponibilidad de alimento

En general, los nemátodos fitófagos son parásitos obligados. La disponibilidad de alimento, proporcionado por los tejidos de la planta huésped, es un factor muy importante en el desarrollo de las distintas fases larvarias. No obstante, las J2 pueden sobrevivir en el suelo algún tiempo, sostenidos por sus reservas alimenticias, debido sobre todo, al lento agotamiento de las mismas y a su bajo metabolismo. Sin embargo, disminuye su infectividad, ya que se forman vacuolas en su cuerpo, y aumenta la respiración con lo que se acelera el envejecimiento. Así mismo, parece que la determinación del sexo en los nemátodos, sobre todo en las especies que se reproducen por partenogénesis, está regida por mecanismos nutricionales, además de otros factores.

#### 7.1.2. Enemigos naturales

Normalmente, más de un microorganismo concurre de forma natural con los nemátodos fitoparásitos, en una rizosfera particular. El balance biológico originado puede manifestarse en la forma de parasitismo directo, depredación, o liberación de metabolitos tóxicos.

Los enemigos naturales de los fitonemátodos serán examinados en otro apartado, pero puede avanzarse que se agrupan de la siguiente manera:

- PREDADORES: Hongos nematófagos, Nemátodos predadores, otros.
- PARÁSITOS: Bacterias, Hongos, Protozoos, Virus

### 7.1.3. Competencia entre nemátodos

Las especies de nemátodos pueden interactuar directamente (competencia entre endoparásitos por un espacio dentro de la raíz para establecer su sitio de alimentación) o indirectamente (una especie influye en la idoneidad del ambiente para ser colonizado por otras especies). En dicha competencia influyen factores tales como el huésped de que se trate, el nivel de población inicial de esa especie, el tipo de suelo, la tasa de reproducción, y otros factores ambientales.

### 7.1.4. Resistencia de la planta huésped

La resistencia al ataque de nemátodos, puede definirse como una característica genética de las plantas, que inhibe la reproducción de una o más especies de éstos fitoparásitos. Las plantas hospedantes se pueden clasificar como susceptibles, resistentes e inmunes, según la capacidad que tengan los nemátodos de reproducirse en ellas. Las plantas pueden ser también “tolerantes” a los nemátodos, y son capaces de crecer satisfactoriamente y dar buen rendimiento, aunque sean susceptibles a los nemátodos. Del concepto de resistencia surge el término “raza biológica”, que puede entenderse como un sector de una especie de nemátodo con capacidad para superar la resistencia de una variedad vegetal.

### 7.1.5. Metabolitos

Además de la capacidad de depredación y/o parasitismo, muchos de microorganismos producen y liberan metabolitos tóxicos, que alteran la fisiología de los nemátodos para causar la interrupción en sus actividades. Dichos compuestos nematocidas pueden provenir de la descomposición de muchos residuos vegetales y animales (compost) por microorganismos. La mayoría de ellos pertenecen al grupo de las bacterias (*Bacillus thuringiensis*, *Clostridium butyricum*, *Desulfovibrio desulfuricans*, etc.), y hongos (*Streptomyces avermectilis*, *Paecilomyces lilacinus*, etc.)

## 7.2. FACTORES ABIÓTICOS

### 7.2.1. Temperatura del suelo

La temperatura afecta a actividades vitales de los nemátodos, tales como la puesta, reproducción, ciclo biológico, movimiento, desarrollo, y supervivencia. Con excepción de los nemátodos formadores de quistes, los límites dentro de los cuales se producen las condiciones óptimas son de 15° a 30° C. Temperaturas por debajo de 5 °C o por encima de 35 °C son fatales para la mayoría de los nemátodos fitoparásitos, aunque algunos están adaptados a condiciones extremas.

### **7.2.2. Humedad del suelo**

El habitat natural de los nemátodos es acuático, por lo que el contenido en humedad del suelo, determinado por la lluvia y el riego, es una de los factores principales que influyen en sus poblaciones. Requieren un medio húmedo para moverse y desarrollar sus actividades sobre las raíces. Las mejores condiciones de humedad para ellos, se producen cuando el contenido de agua en el suelo se limita a una película delgada envolviendo las partículas del suelo. La sequía excesiva puede frenar o incluso matar a los nemátodos. Parece que los huevos de algunas especies sobreviven a la sequía, protegidos por la capa mucilaginosa que los envuelve. Igualmente el encharcamiento prolongado no es favorable para el desarrollo de los nemátodos. Este exceso de agua, disminuye o anula la falta de oxígeno y la presencia de toxinas liberadas por organismos anaerobios, tienen influencia negativa sobre sus poblaciones.

### **7.2.3. Textura del suelo**

La actividad locomotriz de los nemátodos depende del diámetro de los poros y del tamaño de las partículas del suelo, sin perder de vista la interdependencia con la aireación y contenido de humedad del suelo. La gran variación entre ambos factores hace difícil poder determinar un tipo de suelo ideal para los nemátodos.

### **7.2.4. Composición química del suelo**

La constitución química de los componentes del suelo incluye salinidad, pH, materia orgánica, fertilizantes y biocidas. La supervivencia de las larvas pueden verse influidas por varias sales e iones. La eclosión de los huevos puede inhibirse por efectos osmóticos de sustancias químicas disueltas en agua. La variación del pH dentro del suelo, entre 5 y 8 tiene poco efecto sobre las actividades de los nemátodos. Los fertilizantes y la materia orgánica pueden influir sobre las poblaciones de nemátodos de forma indirecta, al aumentar el desarrollo en la planta huésped. Así mismo, el uso de materias activas puede destruir algunos de los enemigos naturales de los nemátodos y provocar un aumento en la población de éstos últimos en el suelo.

### **7.2.4. Rizosfera**

Además de servir como fuente de alimentación para los nemátodos, las raíces de las plantas también pueden modificar el ecosistema "suelo", disminuyendo la concentración de nutrientes minerales, agotando la humedad disponible, aumentando el contenido de anhídrico carbónico, reduciendo el de oxígeno, y contribuyendo con una variedad de sustancias orgánicas por exudación. Estos exudados radiculares puede estimular o inhibir la reproducción, o actuar como atrayentes o repelentes de los nemátodos.

## 8. ENEMIGOS NATURALES

Existen abundantes pruebas empíricas de que los nemátodos parásitos de plantas son atacados por numerosos y variados organismos del suelo, aunque no se conocen a fondo las actividades de tales organismos y sus efectos sobre las poblaciones de nemátodos en suelos agrícolas. Podríamos agruparlos del modo siguiente:

### 8.1. PREDADORES

#### 8.1.1. Hongos nematófagos

Son hongos que atrapan y cazan nemátodos en suelos agrícolas, sobre todo en suelos ricos en materia orgánica. El más conocido es el género *Arthrobotrys*. El tipo de acción depredadora se basa en la captura del nemátodo mediante órganos más o menos especializados (redes adhesivas, botones, anillos constrictores) y secreción de un mucus pegajoso al que queda pegado el nemátodo, e inmovilizado. Una vez realizada la sujeción, el hongo atraviesa la cutícula del nemátodo cazado, se ramifican en él, y lo vacía de todo su contenido corporal.

#### 8.1.2. Nemátodos depredadores

Algunas especies de nemátodos, pertenecientes a los géneros *Mononchus* y *Seinura*, son considerados ampliamente depredadores. Presentan una especie de ventosa generalmente armada de uno o más dientes grandes y puntiagudos, o un estilete, con los que punzan o rasgan la pared del cuerpo de su presa y succionan los órganos internos.

#### 8.1.3. Otros depredadores

Este grupo complejo, lo constituyen una serie de organismos que concurren naturalmente, y que han sido encontrados en densidades variables en muchos suelos agrícolas. Este grupo está integrado por Tardígrados, Turbelarios, Colémbolos, Acaros y Enquitreídos. Su acción no está aún demasiado estudiada, pero son agentes importantes en el mantenimiento del equilibrio biológico del suelo.

## 8.2. PARÁSITOS

### 8.2.1. Bacterias

Recientemente se han efectuado avances importantes en el estudio de un parásito bacteriano, llamado *Pasteuria penetrans*. Las esporas bacterianas se adhieren a la cutícula de las larvas, y tras la germinación de éstas esporas, se forma una microcolonia, que prolifera e incluso se fragmenta, ocupando todos los órganos del nemátodo, el cual cesa su desarrollo. Con la desintegración del nemátodo se liberan en el suelo las miles de esporas bacterianas, que quedan en el suelo hasta contactar con otro nemátodo.

### 8.2.2. Protozoos

Los nemátodos se encuentran expuestos a infecciones por esporozoarios, que pueden presentarse como parásitos externos e internos, ocasionándoles la muerte.

### 8.2.3. Hongos

Son efectivos enemigos naturales de los nemátodos. Ejemplos son: *Catenaria* sp., *Harposporium anguillulae*, *Nematoctonus* sp., *Verticillium chlamidosporium*, *Nemathophtora agynophila*, *Paecilomyces lilacinus*, *Dactylella oviparasitica*, etc. En todos ellos, el parasitismo se manifiesta básicamente al llenarse el cuerpo del nemátodo de esporas del hongo, con la consiguiente muerte del nemátodo. Posteriormente, las esporas quedan diseminadas en el suelo. Algunos de éstos hongos son específicos en parasitar ciertos estadios del ciclo biológico del nemátodo, mientras que otros son capaces de parasitar cualquier fase.

### 8.2.4. Virus

Dado su potencial patógeno y la amplia gama de huéspedes, se ha tratado de localizar, sin demasiado éxito, virus que afecten a nemátodos. Ya que los virus afectan a un amplio número de organismos, es concebible que los virus patógenos de nemátodos sean operativos, pero han escapado por ahora a la detección.

## 9. MEDIDAS DE CONTROL

El control de los nemátodos en numerosos casos, presenta dificultades debidas a sus propias características. La resistencia de ciertas especies a las condiciones adversas, o la elevada tasa de reproducción de otras, cuando encuentran un hospedante favorable, hacen posible el desarrollo de elevadas poblaciones en un suelo. En general, una vez establecidos en un suelo es muy difícil su erradicación total. No obstante, se trata de “manejar” aquellos factores bióticos y abióticos que ya vimos que afectan a su supervivencia.

### 9.1. MEDIDAS PREVENTIVAS

Entre éstos métodos está el control fitosanitario de los viveros y semilleros, exigiendo sólo material vegetativo rigurosamente sano. Hay que cuidar que los tubérculos, rizomas, bulbos, y raíces, estén exento de nemátodos. Así mismo se debe evitar la propagación a través del agua de riego, maquinaria, animales, aperos, etc.

### 9.2. MEDIDAS CULTURALES

En general, los métodos culturales tienden a entorpecer el desarrollo del nemátodo, limitando el alimento a su disposición, bien haciendo que éste alimento no se adecua-do, o bien porque se reduzca el periodo de tiempo durante el cual lo tienen a su alcan-ce. Otras veces, éstos métodos buscan el fortalecimiento de la planta, mejorando las condiciones de cultivo. No obstante, la presión económica sobre el uso de la tierra, sobre todo en cultivos intensivos en invernadero, limita el empleo de prácticas cultura-les. Otras veces es el elevado coste de las mismas lo que las hace inviables desde el punto de vista práctico.

#### 9.2.1. Rotación de cultivos

Puesto que la mayoría de los nemátodos son fitoparásitos obligados, si se mantie-ne un campo sin plantas susceptibles, los niveles de nemátodos se reducirán a un corto número y, por último, desaparecerán. La rotación de cultivos resulta poco eficaz en el caso de especies polífagas.

### 9.2.2. Barbecho

Con ésta práctica se consigue el control de nemátodos por inanición, y por desecación y calor. El barbecho es, por tanto, muy efectivo en áreas de baja precipitación y altas temperaturas, y zonas en que se crean largos períodos de sequía.

### 9.2.3. Enmiendas orgánicas

La acción desarrollada por la estercolada contra los nemátodos puede deberse, a las altas temperaturas alcanzadas en la fermentación, a los subproductos metabólicos tóxicos o inhibidores eliminados en alta concentración en la descomposición de dicha materia orgánica, a la aportación de microorganismos antagónicos (hongos, bacterias, etc.) que descomponen la materia orgánica y otros enemigos naturales, y a una mejora en las condiciones de fertilidad, que permite el mejor desarrollo de las plantas.

### 9.2.4. Inundación

Se presume que la inundación elimina todas las plantas huéspedes, y que los nemátodos mueren por inanición; además disminuye el contenido de oxígeno del suelo, lo que puede producir la muerte de ellos por asfixia. Algunas desventajas de la inundación son, la posibilidad de que aparezcan nuevas plagas, así como cambios inapropiados en la estructura, fertilidad y pH del suelo. En general no es una práctica muy aceptada.

### 9.2.5. Plantas “trampa” y “antagónicas”

Existe una serie de plantas llamadas “trampa” o “antagónicas”, que son muy susceptibles a la invasión por nemátodos y de rápido crecimiento. Si la planta se destruye antes de que los nemátodos lleguen al estado de madurez, y mueren al no poder completar su desarrollo, y la reproducción no se efectúa. Tiene el inconveniente de que el agricultor tiene que sembrar una planta y destruirla sin obtener ningún ingreso de ella.

Los exudados de ciertas plantas tienen propiedades nematicidas. Se llaman plantas “nematófugas”. Dichas sustancias, al igual que planta huésped ponen en movimiento a la larva infectiva, pero una vez que llega a la raíz, es incapaz de alimentarse a partir de ella, interrumpiéndose el ciclo del nemátodo, el cual muere por inanición

## 9.3. MÉTODOS BIOLÓGICOS

El control biológico de nemátodos se basa en la utilización deliberada de los fenómenos de antagonismo, depredación, y parasitismo que se producen de forma natural entre los organismos del suelo. Lo cierto es que los investigadores obtienen resultados espectaculares a nivel de laboratorio. Con escasa frecuencia se producen resultados



satisfactorios en condiciones de campo. La lucha biológica contra los nemátodos, no parece ser una utopía. El principal obstáculo para la difusión de los nemátodos biológicos, es la lentitud de su acción y la ausencia de resultados espectaculares comparados con los efectos de los nematicidas.

### 9.3.1. Hongos nematófagos

Se llegó a desarrollar preparados comerciales del género *Arthrobotrys*, el más interesante de éstos hongos. El preparado, es de la especie *A. irregularis*, comercializado bajo el nombre de ROYAL 350 o SOIMYCEL S 350, el cual se ha mostrado eficaz en la captura de larvas de 2ª edad de *Meloidogyne*. Aunque el mecanismo de depredación usado por los hongos nematófagos pueda parecer perfecto, no obstante, llevar a cabo con éxito tal tipo de lucha biológica, supone salvar los numerosos inconvenientes que conlleva la correcta implantación del hongo en el terreno de cultivo (requisitos fisico-químicos y nutricionales, preparación en masa, etc.).

### 9.3.2. Bacterias

A través de ensayos bajo condiciones de laboratorio y campo, se ha puesto de manifiesto la eficacia de *Pasteuria penetrans*, en la reducción de poblaciones de algunos nemátodos fitoparásitos. Ahora bien, existen dificultades a la hora de cultivar *Pasteuria penetrans* en los medios de cultivo tradicionales para bacterias.

### 9.3.3. Hongos parásitos

Los ensayos de laboratorio indican que *Paecilomyces lilacinus*, es un buen agente de biocontrol. Se llegó a comercializar bajo el nombre de BIOCON. La aplicación al suelo es sencilla, dado que coloniza con rapidez numerosos estratos orgánicos, pero tampoco ha logrado su difusión a nivel de campo.

## 9.4. MÉTODOS QUÍMICOS

El control de nemátodos por métodos químicos tiene serias limitaciones: su elevado coste, el empleo de maquinaria especializada, el carácter altamente tóxico, y su peligrosidad de manejo. Así mismo, su elevado poder residual origina serios problemas de contaminación y degradación ambiental. Por otra parte, los tratamientos por sí solos no erradicar el nemátodo totalmente, y los nemátodos supervivientes suelen provocar una reinfestación a partir de capas profundas, o de los bordes de la parcela en cuestión. Frecuentemente se observa en los cultivos siguientes, una infestación más fuerte que la que hizo decidir el tratamiento. Este hecho está ligado al drástico efecto que ejercen sobre el equilibrio biológico del suelo, originando un "vacío" que conlleva la falta de antagonistas del nemátodo y favorece la multiplicación del mismo.

Pero el control químico es el más utilizado y difundido, por su rapidez de acción y eficacia, aunque sólo sea a corto plazo. Con frecuencia es el único método conocido o aceptado por el agricultor.

#### **9.4.1. FUMIGANTES**

Son un conjunto de compuestos, en general dotados de gran volatilidad que, una vez aplicados bajo la superficie del suelo, se evaporan y disuelven en el agua del suelo, difundándose por ésta vía. Deben ser aplicados en pre-siembra o pre-trasplante dada su fitotoxicidad. Hay que tomar una serie de precauciones para conseguir un correcto sellado, que van desde simples labores de gradeo, apisonado, riego ligero, hasta la utilización de grandes láminas de plástico que se extienden por toda la parcela y cuyos bordes se sellan también. Después de un tiempo, es necesario efectuar labores que permitan la aireación del suelo y facilitar el paso de producto a la atmósfera. Su aplicación requiere, casi siempre, equipo y personal especializado. Entre ellos están: Bromuro de metilo, 1-3 dicloropropeno, Dazomet, Metam-Sodio, etc.

Estos fumigantes penetran directamente en el cuerpo del nemátodo, a través de la cutícula, causando aniquilación de una gran variedad de enzimas y proteínas, deteniendo varios procesos vitales y provocando la muerte inmediata.

#### **9.4.2. NO FUMIGANTES**

Son una gama de productos que se formulan en forma líquida o en gránulos. Tienen una volatilidad muy baja y su difusión en el suelo depende de la difusión del agua. Las numerosas investigaciones revelaron las ventajas que ofrecen, en comparación con los fumigantes: poco fitotóxicos, facilidad de aplicación, dosis menores, menor poder residual, sistémicos, etc. A las dosis recomendadas no suelen dañar a las plantas ya nacidas. Las materias activas son: Fenamifos, Etoprofos, Aldicarb, Carbofurano, Oxamilo, etc.

Estos nematicidas actúan inhibiendo la actividad neuromuscular, lo cual no produce la muerte directa pero afecta a actividades vitales, como el movimiento, alimentación, infección, reproducción, eclosión, emergencia, osmorregulación, etc., y en definitiva, reduciendo de forma indirecta sus poblaciones en el suelo ya que, además, son fácil presa de sus enemigos naturales.

#### **9.5. MÉTODOS FÍSICOS**

Los problemas apuntados anteriormente sobre los nematicidas químicos, han llevado a invertir un considerable esfuerzo en la búsqueda de métodos de control que puedan sustituir o complementar a los anteriores. Junto al control biológico, éste esfuerzo ha sido especialmente notable en el campo del control físico.

### 9.5.1. Esterilización por vapor

El tratamiento de los suelos con vapor es de corta duración, y no tóxico al hombre. La estructura de los suelos se hace más granular, mejorando en aireación y drenaje. En contrapartida, puede resultar tóxico para cierta clase de plantas y puede reducir la germinación de las semillas. Se pueden alterar seriamente las propiedades químicas del suelo. El equipo generador de vapor es incómodo y costoso.

### 9.5.2. Agua caliente

Este método tiene el propósito de matar los nemátodos que se encuentran dentro de las estructuras vegetales (bulbos, tubérculos, raíces, etc.) sumergiéndolos en agua caliente durante períodos cortos de tiempo. La temperatura del agua y la duración del tratamiento deben ser suficientes para matar los nemátodos, pero no debe dañar a la planta, y ambos factores varían según las diversas especies.

### 9.5.3. Solarización

Consiste en la desinfección del suelo por energía solar, elevando de la temperatura del mismo, libre de cultivo, mediante su acolchado con una lámina de polietileno transparente durante el verano. La solarización afecta sólo a una parte del ciclo vital del nemátodo: aquella que transcurre en ausencia del hospedante. Las J2, agotan las reservas, pierden contenido corporal, se observa reducción en la movilidad y, por tanto, de la infectividad. Este proceso está fuertemente influido por la temperatura, dado que el metabolismo y el envejecimiento serán más rápidos cuanto mayor sea la tasa respiratoria, influida a su vez por la temperatura. También afecta a la supervivencia de los huevos. A partir de 35 °C todos los procesos vitales del nemátodo se ven afectados negativamente, produciéndose su muerte en un período muy breve. Dado que temperaturas del orden de 35 °C son normales durante un suelo solarizado, es previsible un buen grado de control del nemátodo mediante la aplicación de ésta técnica, aunque tiene serias limitaciones.

## 9.6. MÉTODOS GENÉTICOS

### 9.6.1. Variedades resistentes

El empleo de variedades de un cultivo resistentes o tolerantes es uno de los mejores métodos de lucha contra los nemátodos. Con frecuencia, es el único método práctico y económico. Tiene, sin embargo, varios inconvenientes: es un procedimiento a largo plazo, ya que se necesita previamente hacer ensayos en cada zona para comprobar, en cada caso, las cualidades de resistencia y productividad. Por otro lado, es difícil obtener una variedad con resistencia simultánea a varias especies de un mismo género. Asimismo, se ve frecuentemente complicado por la existencia de razas bioló-

gicas o patotipos de nemátodos. Pero la naturaleza de la resistencia es una de las cuestiones más importantes para futuras investigaciones nematológicas. Desde el punto de vista práctico, las variedades inmunes o altamente resistentes a los nemátodos son de gran importancia, ya que constituyen posibles fuentes de resistencia que, a través de la mejora genética, pueden incorporarse a variedades de cultivo hoy susceptibles a los nemátodos (pero de alto rendimiento y rentabilidad), para la producción de las variedades resistentes.

## 9.7. CONTROL INTEGRADO

La presión económica sobre el uso de la tierra junto a la baja rentabilidad de ciertas medidas culturales, la polifagia de algunos nemátodos, la aleatoriedad en los resultados de ciertos métodos biológicos por sus requerimientos físico-químicos, la incomodidad de manejo de ciertas prácticas físicas, los requisitos climáticos de la solarización, la existencia de patotipos y razas que superan las variedades resistentes, etc. Todos ellos son inconvenientes para encontrar una solución al problema. El elevado coste de los métodos químicos unido a sus múltiples problemas de peligrosidad en el manejo, contaminación, y los problemas de "vacío biológico", tampoco lo hacen un método elegible, pero es el más aceptado por el agricultor, y por tanto, el más utilizado. Aunque en teoría los métodos de control de nemátodos son variados, ninguno de ellos es capaz por sí de solo mantener las poblaciones por debajo de los límites de peligrosidad. Pero, si bien ninguno de ellos constituye una solución o alternativa directa a la aplicación de nematicidas en las condiciones actuales, cada uno contribuye a diversificar y mejorar la gama de acciones posibles frente a la acción destructiva de los nemátodos fitoparásitos. Se necesitan, por tanto, continuas investigaciones en éste terreno, con el fin de conjugar armónicamente la rentabilidad económica de tales métodos y el respeto del equilibrio ecológico.

Se tiende, pues, para conseguir un control más efectivo y económico, a no utilizar un solo método de lucha, sino a combinar, de forma racional, aquellos que resultan más eficaces, según la especie del nemátodo, localidad, grado de infestación, hábitat, planta huésped, etc. con el fin de desarrollar un programa de control integrado, sin perder de vista las medidas preventivas con respecto al material vegetal (semillas, plántones, etc.) y de propagación (maquinaria, calzado, agua de riego, etc.).



## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- K.R. BARKER, C.C. CARTER, J.N. SASSER, (1985): "An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Vol I: Biology and Control (422 pp.). Vol II: Methodology! (223 pp.). P.I.M. North Carolina State University.
- J.C. CAYROL, (1985): "Comment utiliser le champignon prédateur *Arthrobotrys irregularis* pour combattre les *Meloidogyne*". PHM. Revue Horticole, 262: 23-24.
- J.L. CENIS, (1986): "Desarrollo de un enfoque cuantitativo de la solarización y ampliación al control de nemátodo *Meloidogyne javanica*". Tesis doctoral.
- M.L. MARTINEZ-BERINGOLA, L. FRANCO, L.M. PAZ, M.P. GUTIERREZ. (1988): "Los nemátodos formadores de quistes de la patata en España". Bol. San. Veg. Plagas, 14: 405-414.
- M.D. ROMERO, A. DUCE, A. VALDEOLIVAS. (1985): "*Heterodera avenae* (Nematoda: Heteroderidae) en cereales de Andalucía Occidental". Bol. Serv. Plagas, 11: 227-235.
- M.D. ROMERO: "Los nemátodos formadores de quistes y nódulos, su interés económico y control". El Campo: 70-77.
- M.D.ROMERO (1988): "El nemátodo de los cereales, *Heterodera avenae*. Sus características y repercusión en los cultivos de Castilla-La Mancha". Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid (CSIC). 48 pp.
- L. TAYLOR, J.N. SASSER, (1983): "Biología, Identificación, y Control de los Nemátodos de nódulo de la raíz (*Meloidogyne*)". P.I.M. 111 pp. North Carolina State University.











ISBN 84-89802-92-0



9 788489 802926

P.V.  
700 P  
4,20