

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA)

ESTACION EXPERIMENTAL REMEHUE, OSORNO, CHILE.

NEMATODOS QUE AFECTAN AL CULTIVO DE LA PAPA<sup>1</sup>

- Nematodo del quiste (Globodera sp.)
- Nemátodo del nudo de la raiz (Meloidogyne spp.)

Carmen Fernández M.

Ing. Agrónomo M. Sc.

1. Documento preparado para el PRIMER CURSO INTERNACIONAL DE PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE PAPA-SEMILLA CERTIFICADA, INIA/CIP/PNUD, 28 de Noviembre al 16 de Diciembre de 1983.

## NEMATODOS QUE AFECTAN AL CULTIVO DE LA PAPA

Carmen Fernández M.  
Ing. Agrónomo M. Sc.

### IMPORTANCIA

Los nematodos es uno de los grupos más importantes de microorganismos que viven en el suelo, en estrecha relación con las raíces de las plantas e influyen en su crecimiento y en la producción de ellas.

Los nematodos parásitos de las plantas pueden causar pérdidas de hasta un 20%. Jatala (1981) pero muchos de los daños que ocasionan no son característicos y son atribuidos a otras causas. Además de bajar los rendimientos, algunos nematodos afectan la calidad de los tubérculos bajando su valor comercial, otros son portadores de virus y hay algunos que incitan a otros organismos patógenos provocando una reacción de sinergismo; que como consecuencia causan enfermedades muy graves. Ej. en papas Pseudomonas solanacearum con Meloidogyne sp., en tomates Fusarium con Meloidogyne.

Prácticamente no existe un suelo cultivable libre de nematodos, debido a que son muy polifagos, se diseminan fácilmente y una vez establecidos no se pueden eliminar, esto hace que sean un factor permanente en el suelo.

## MORFOLOGIA

Los nematodos son gusanos redondos o filiformes no segmentados, son transparentes y su cuerpo está cubierto por una cutícula anillada. Miden de 0,1 a 5 mm de longitud.

En el cuerpo se pueden distinguir las siguientes partes: boca, estilete, esófago e intestino que en la hembra termina en el ano y en el macho en una cloaca. No poseen sistema circulatorio ni respiratorio. Algunos géneros presentan dimorfismo sexual.

El sistema de reproducción en la hembra está formado por vulva, espermoteca y ovario y en el macho por testículo, espícula, cloaca y bursa.

En algunas especies los machos no existen y en otras son muy escasos. En estos casos, las gonadas de las hembras producen tanto óvulos como células espermáticas.

## BIOLOGIA

Los nematodos fitoparásitos son habitantes del suelo, y aunque normalmente requieren de una película de agua que rodee su cuerpo, se ha visto que pueden permanecer en estado de latencia o estadios de anaerobiosis en que reducen su actividad metabólica, pero al colocarlos en agua se activan. También presentan estadios de resistencia en condiciones adversas.

La mayoría se encuentran entre 20 y 25 cm de profundidad, en algunos casos, de acuerdo al sistema radicular de las plantas que parasiten, se pueden encontrar hasta 1,5 m de profundidad.

La temperatura, humedad, tipo de suelo y aireación son fundamentales en el desarrollo de los nematodos.

La movilidad es pasiva, se mueven a través de agua, riego, lluvia, semilla, hombre, animales, viento, etc. son capaces de resistir el paso por el tracto digestivo de los animales.

De acuerdo a la forma de alimentación los nematodos se clasifican en:

- Endoparásitos, penetran completamente al tejido vegetal, produciendo nódulos, deformaciones o lesiones. La mayoría de los nematodos que afectan a la papa pertenecen a este grupo. Ej. Globodera, Meloidogyne, Pratylenchus, Nacobbus y Ditylenchus.
- Semiendoparásitos, normalmente se alimentan introduciendo la parte anterior del cuerpo en la raíz.
- Ectoparásitos, cumplen todo o la mayor parte de su ciclo de vida fuera de la planta huésped Ej. Paratylenchus, Helicotylenchus, Xiphinema longidorus.

NEMATODOS QUE ATACAN AL CULTIVO DE PAPAS EN CHILE

A través de análisis nematológicos realizados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se ha encontrado que la mayoría de las variedades de papa de uso comercial, se infestan en mayor o menor grado con nematodos fitoparásitos.

Los principales nematodos que atacan o se encuentran asociados al cultivo de papa en Chile se indican en la siguiente tabla:

Género	Nombre Común	Tipo de daño en raíces y tubérculos.
<u>Meloidogyne</u>	N. de la raíz	Nódulos y agallas
<u>Globodera</u>	N. dorado	Necrosis y lesiones
<u>Nacobbus</u>	Falso nematodo del nudo.	Agallas en forma de rosa - rio.
<u>Pratylenchus</u>	N. de las lesiones	Necrosis y lesiones
<u>Helicotylenchus</u>	N. espiral	Necrosis y lesiones
<u>Criconemoides</u>	N. anillado	Necrosis y lesiones
<u>Xiphinema</u>	N. daga	Picaduras
<u>Paratylenchus</u>	N. Alfiler	Picaduras y lesiones
<u>Tylenchorhynchus</u>	N. estilete	Necrosis y lesiones
<u>Trichodorus</u>	N. deformador	Deformación.

## NEMATODO DEL QUISTE

Organismo causal : Globodera sp.

### INTRODUCCION

Hay dos especies de los nematodos del quiste que dañan las raíces de la papa y causan pérdidas severas en algunas zonas productoras: Globodera rostochiensis y Globodera pallida. En Chile hasta el momento, se ha encontrado solamente G. rostochiensis en tres zonas paperas; en La Serena, La Ligua y en San Clemente. En ésta última zona, en las prospecciones realizadas en los últimos años no se ha encontrado, pero se mantiene en cuarentena.

En cuanto al origen del nematodo dorado se supone que son las tierras altas de Los Andes, posiblemente Bolivia. Alrededor de 1850 llegó a Europa junto con envíos de papas que se hicieron en esa época, a raíz de la hambruna causada por la aparición del hongo Phytophthora infestans. Pero solamente en 1881 se encontró por primera vez en Alemania, dispersándose posteriormente a otras áreas.

Ambas especies están ampliamente distribuidas, pero G. rostochiensis predomina en los países europeos. En los países andinos de América del Sur, están las dos especies. G. pallida se encuentra exclusivamente en la zona Norte del Lago Titicaca (15,6° latitud Sur), mientras que al

Sur, aunque están presente las dos especies, G. rostochiensis predomina ampliamente.

#### IMPORTANCIA DE LOS DAÑOS

Los nematodos del quiste causan daños que a menudo pasan inadvertidos. En muchas ocasiones los niveles de población están enmascarados. En el suelo, una población de nematodos puede incrementarse 10 veces en un año, mientras que los daños solo se hacen visibles a cierto nivel de infestación, que depende de condiciones como fertilidad del suelo y suministro adecuado de agua. En suelos de baja fertilidad, los daños pueden llegar a ser visibles cuando la infestación está entre 10 y 20 huevos por gramo de suelo. Pero un suelo fértil con contenido adecuado de humedad puede enmascarar una infestación de mayores proporciones. Franco (1981).

#### TIPO DE PERDIDAS

Hay pérdidas directas e indirectas:

- a. Pérdidas directas. Estas se reflejan en la baja de los rendimientos que a veces pueden alcanzar hasta un 15%, sin que el cultivo presente síntomas en el follaje.
- b. Pérdidas indirectas, son las que se generan debido a los gastos de control y cuarentenas.

## SINTOMAS

Los nematodos del quiste no causan síntomas característicos en el follaje, ni estos se presentan como una respuesta inmediata a la acción del nematodo en las raíces de las plantas, sino por el contrario pueden pasar años sin que se detecte su presencia.

El primer síntoma es un crecimiento retardado de las plantas, pierden su color natural, se ven achaparradas, enfermas, muestran síntomas similares a los provocados por falta de agua o de elementos minerales. El follaje se vuelve amarillento. Con una población alta de nematodos las plantas detienen su desarrollo y mueren prematuramente.

Al observar las raíces estas muestran un gran desarrollo de raicillas laterales y en ellas se encuentran los quistes que se desprenden fácilmente de las raíces. Estos miden entre 0,5 a 1 mm de diámetro y son de color blanco, amarillo o marrón. El color depende de la especie de nematodo y del grado de madurez de las hembras que forman los quistes. Las hembras inmaduras de G. rostochiensis son amarillas o doradas, de ahí el nombre de nematodo dorado, las hembras inmaduras de G. pallida son de color blanco o crema, ambas forman quistes de color marrón, pero los de G. pallida no pasan por la fase dorada.



## MORFOLOGIA

El segundo estado juvenil es característico para la morfología de los nematodos. En este estado tiene forma de gusano redondo y elongado. El aparato digestivo lo tiene muy desarrollado y está formado por la boca, esófago, intestino, recto y el ano. En la boca está el estilete que es una estructura fuerte, tubular y móvil que sirve para perforar la pared celular y absorber el alimento.

Al alimentarse el nematodo, el alimento es absorbido a través del estilete y pasa al tubo esofágico donde se encuentra el bulbo medio, el cual con ayuda de músculos y de una válvula que posee, impulsa el alimento hacia el intestino. A continuación del bulbo medio está el bulbo terminal formado por tres glándulas. El intestino es un órgano de almacenamiento que generalmente se encuentra lleno de glóbulos formados por sustancias grasosas. En la parte posterior el intestino se estrecha para formar el recto y termina en el ano.

Los machos conservan su forma de gusanos redondos y elongados, cuando adultos miden más o menos 1 milímetro de longitud.

La hembra al madurar se ensancha y después de muerta, se convierte en un quiste duro, de consistencia de cuero. Los quistes tienen forma globosa, miden entre 0,5 a 1 mm de diámetro y presentan una pequeña protuberancia que corresponde a lo que era la cabeza de la hembra que estaba adherida a la raíz.

### CICLO DE VIDA Y BIOLOGIA

Los nematodos durante su desarrollo pasan por diferentes fases sin presentar cambios en el aspecto exterior. A estas fases se les llama estados juveniles.

El ciclo de vida empieza cuando los nematodos estan en el segundo estado juvenil y bajo el estimulo de una sustancia que exudan las raíces en crecimiento, emergen de los huevos que están dentro de los quistes.

Atraídos por los exudados radiculares, los nematodos en el segundo estado juvenil llegan hasta las raíces y buscan el lugar adecuado para penetrar. El sitio de penetración es en la zona de elongación de la raíz que se encuentra antes de la zona pielífera. Una vez dentro de la raíz, los nematodos se alimentan durante dos mudas.

En el tercer estado juvenil, se define el sexo y éste está en función de la alimentación disponible. Si hay pocos nematodos y alimento abundante, predominan las hembras. Si la población de nematodos es abundante y hay poco alimento disponible, predominan los machos.

Las hembras se vuelven sedentarias y se adhieren a la raíz dentro del tejido de la corteza. Pasan al cuarto estado, su cuerpo se ensancha, rompe las células de la raíz y llega a ser visible desde fuera, aunque la cabeza y el cuello permanecen dentro del tejido.

Los machos conservan su forma de gusano alargada, abandonan la raíz, localizan a las hembras que están rompiendo la superficie radicular y se aparean con ellas.

Después que la hembra muere, la cutícula sufre cambios químicos que se manifiestan en cambios de color, pasando de blanco o amarillento a color marrón. La hembra muerta se convierte en un quiste marrón y duro, resistente a las condiciones ambientales desfavorables.

Los quistes se desprenden fácilmente de las raíces. Cada uno contiene alrededor de unos 600 huevos. Cada huevo a su vez está protegido por su propia cubierta y alcanza a permanecer viable por más de 20 años. Dentro del huevo se desarrolla el primer estado juvenil y el segundo estado juvenil es el que emerge por la acción del estímulo producido por el exudado de las raíces.

En una temporada ocurre una generación, esto es un ciclo de vida que demora entre 6 y 10 semanas. En este tiempo si no hay competencia por alimento, la población de nematodos se puede aumentar en 50 veces.

#### RELACION ENTRE LA PLANTA DE PAPA Y LOS NEMATODOS DEL QUISTE

Como respuesta al estímulo producido por el exudado radicular, el segundo estado juvenil perfora con su estilete las paredes celulares y entra a la raíz dejando atrás gran cantidad de células perforadas. La sali

va que producen las glándulas del esófago hacen que las células radiculares ubicadas cerca de la cabeza de las hembras se agranden por disolución de la pared celular y se unen. Estas células agrandadas y unidas se llaman síncitos o células de transferencia. Estas células le suministran el alimento a la hembra en forma permanente.

A su vez la formación de los síncitos altera el crecimiento de la planta. Además el daño que hacen los nematodos causa estrés, debido a falta de agua y disturba el metabolismo de los nutrientes.

La relación entre la planta de papa y los nematodos del quiste está gobernada por:

- La resistencia que posea la variedad
- La tolerancia que posea la variedad
- La patogenicidad del nematodo.

#### RESISTENCIA

Según su grado de resistencia, una planta de papa puede contribuir a la multiplicación de los nematodos o a su disminución. La resistencia está determinada por la relación entre la densidad de población de los nematodos antes de la siembra y su densidad de población al final, esto es, cuando termina la temporada de cultivo. Esa relación permite calcular la tasa de multiplicación de la población de nematodos (TMPN) y se expresa así:

$$\text{TMPN} = \frac{\text{Densidad de población final}}{\text{Densidad de población inicial}}$$

donde generalmente,

$\text{TMPN} > 1$  indica susceptibilidad, y

$\text{TMPN} < 1$  indica resistencia.

Los mecanismos de resistencia se explican de dos maneras. Una es que las raíces pueden no estimular la emergencia del segundo estado juvenil, es decir, pueden reducir la emergencia. Otra es que se restringe el desarrollo de los síncitos (o células de transferencia) de los cuales toman las hembras su alimento. Esta restricción no evita que emerjan los nematodos en su segundo estado juvenil, ni que invadan las raíces y causen daños. Pero la restricción de alimentos rompe el ciclo de vida y los estados juveniles mueren o se desarrollan como machos. Esto conduce a una disminución más rápida de la población de nematodos y es más efectivo que la reducción de la emergencia.

La resistencia se puede perder. Cuando en forma continua se siembra una variedad resistente en condiciones de alta densidad de población de nematodos, es muy posible que los patotipos no afectados por la resistencia se expandan por selección natural o adaptación genética. Esto es lo que puede ocurrir en La Serena si se siembra solamente la variedad Cardenal.

### TOLERANCIA

Tolerancia es la capacidad de la planta para producir no obstante encontrarse en un suelo infestado con nematodos. Puede ocurrir tanto en variedades resistentes como en variedades susceptibles. Es, pues independiente de la resistencia. Las variedades tolerantes tienen la capacidad de recuperarse del daño que causan los nematodos. La tolerancia es independiente del patotipo de nematodo, y se presenta con más frecuencia en las variedades andigena (Solanum tuberosum ssp. andigena) que en las variedades tuberosum (S. tuberosum ssp. tuberosum). Ello se debe posiblemente, a que en Los Andes evolucionaron paralelamente la papa andigena y los nematodos. La papa desarrolló tolerancia para sobrevivir frente al ataque de los nematodos. Las variedades tuberosum han sido desarrolladas en áreas donde los nematodos del quiste de la papa no existían.

### PATOGENICIDAD

En ambas especies de Globodera (G. rostochiensis y G. pallida) se presentan varios patotipos. Los patotipos son razas fisiológicas y pueden ser identificados por su habilidad para multiplicarse en plantas de papa llamadas plantas diferenciales. Estas plantas tienen diferentes genes para resistencia. Así, una planta diferencial puede llegar a estar infestada mayormente con ciertos patotipos de Globodera pero no con otros. Lo mismo ocurre con variedades de papa. Una variedad de papa reconocida como resistente puede llegar a estar infestada por un número cada vez mayor de pobla-

ciones de nematodos debido a la selección y multiplicación de otros patotipos de Globodera.

#### DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE POBLACION DE LOS NEMATODOS

Existen dos métodos para determinar la densidad de población; análisis de suelo y la observación de las raíces.

- Análisis de suelo . La muestra de suelo tomada por el agricultor se lleva a los laboratorios nematológicos donde se determina la presencia o ausencia de quistes y la viabilidad de ellos.

Para tomar la muestra de suelo, en Chile se usa el sistema de 8 x 8, que consiste en marcar una línea a 8 m del borde del campo que se va a muestrear y sobre esa línea se saca con una pala una submuestra de 50 gr cada 8 m. Al llegar al final, se regresa tomando submuestras en una línea paralela a la anterior a 8 m de distancia. De esta manera se muestrea todo el campo tomando 90 submuestras por hectárea, las cuales se mezclan bien y se envían al laboratorio dos muestras por hectárea. Si el suelo está preparado, listo para sembrar, las submuestras se toman de la superficie, si está plantado se toma entre 10 a 15 cm de profundidad, es decir a la altura del sistema radicular.

En aquellos campos en que existe la sospecha de presencia de nematodos, la toma de muestra se hace 2 x 2 o 4 x 4 m.

- Observación de las raíces. El grado de infestación de un campo se puede determinar si se examinan las raíces cuando las plantas están empezando a florecer. En este estado del cultivo las hembras han roto la corteza de la raíz y los cuerpos globosos se pueden distinguir a simple vista.

#### PREVENCIÓN Y CONTROL

Una vez que los nematodos del quiste se han establecido, es muy difícil erradicarlos. Sin embargo, si se combina un sistema de prevención con un programa de control integrado, se puede reducir bastante el daño.

- Cuarentenas. Con esta medida muchos países previenen la introducción de papa semilla de áreas infestadas.
- Variedades resistentes. El empleo de variedades resistentes y de cultivos no hospedantes dan un promedio de reducción en la población de 95 y 50% respectivamente. Hooker (1980).

En la actualidad existen fuentes de resistencia a G. rostratus y a algunas razas de G. pallida. El uso continuado de una sola variedad resistente puede menoscabar su resistencia, debido al incremento de otros patotipos existentes.

- Control químico. Los productos químicos con excepción de los fumigantes aplicados en dosis altas, reducen muy poco la población. Aunque algunos



nematicidas como los fosfatos orgánicos y carbamatos dan buena protección contra infección por larvas activas; la población en suelos tratados permanece estable.

Para mantener la población del nematodo por debajo del nivel que cause daño y prevenir su establecimiento en áreas nuevas, es necesario combinar diferentes medidas de control.

1. Prospecciones permanentes para determinar su distribución
2. Uso de fumigantes para reducir el número de nematodos en el suelo
3. Uso de variedades resistentes para prevenir el incremento de la población.
4. Uso de nematicidas carbámicos para reprimir el aumento de la población.
5. Prohibir la producción de papa semilla en terrenos infestados o expuestos a la infestación.
6. Regular el uso de envases no descartables o material de almacenaje, movilización de maquinaria agrícola, suelo, etc.

BIBLIOGRAFIA

- FRANCO, J. 1981. Nematodos del quiste de la papa, Globodera spp. Boletín de Información Técnica 9. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 21 pp.
- HOOKE, W.J. (ed). 1980. Compendio de las enfermedades de la papa. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 166 pp.
- JATALA, P. 1981. Nematodos parásitos de la papa. Boletín de Información Técnica 8. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 17 pp.

## NEMATODO DEL NUDO DE LA RAIZ

Organismo causal: Meloidogyne spp.

### INTRODUCCION

Dada la amplia distribución mundial de este género de nematodos, no se conoce su lugar de origen. Hasta la fecha se han determinado 46 especies de Meloidogyne, de las cuales según Sasser y Taylor (1978) las más importantes de acuerdo a su distribución y daño que producen en los cultivos son: M. incognita, M. javanica, M. hapla y M. arenaria.

M. hapla es la especie más común en climas fríos, con temperaturas promedios extremas entre 0° y 15°C. En cambio M. incognita, javanica y arenaria se encuentran en zonas tropicales.

En un estudio de poblaciones de las especies de Meloidogyne realizado por el Proyecto Internacional de Meloidogyne se ha encontrado la siguiente distribución: M. incognita 60%, M. javanica 24%, M. hapla 8,8% y M. aranaria 5,6%.

### CICLO DE VIDA

El ciclo de vida comienza con el huevo. Los huevos son depositados en una matriz gelatinosa secretada por la hembra y que los mantiene

juntos. En una masa se pueden encontrar más de 1.000 huevos.

El desarrollo del huevo comienza pocas horas después de la ova posición, hasta que se observa una larva completamente formada, con su estilete y enrollada dentro del huevo. Este es el primer estadio larval. La primera muda se produce dentro del huevo pasando así al segundo estadio larval. En este estadio, la larva sale del huevo a través de un hueco hecho con el estilete. Esta larva puede permanecer en la masa de huevos o salir a la tierra y moverse en busca de raíces para alimentarse. Esta búsqueda es facilitada por exudaciones emanadas por las raíces de la planta huésped, que atraen a la larva. Generalmente la larva penetra a las raíces muy cerca del extremo de ellas, luego se mueve entre las células no diferenciadas y finalmente coloca su cabeza en el cilindro central, cerca de la región de elongación de la raíz y su cuerpo en la corteza.

Perfora con su estilete las paredes celulares e inyecta secreciones producidas por las glándulas esofageales. Estas secreciones son las que dan como resultado la formación de células gigantes, producidas por el alargamiento de las células y del núcleo (Hipertrofia) y cambios en la composición del contenido de la célula. Al mismo tiempo hay una multiplicación intensa de células (Hiperplasia).

En raíces pequeñas, los nódulos contienen una sola hembra que es redonda o fusiforme y puede tener un diámetro de 1 a 3 mm. En las raíces grandes pueden haber varias hembras por agalla.

A medida que las células gigantes y los nódulos se van formando, el ancho de la larva se incrementa, aumentan de tamaño las glándulas esofageales. Las células del primordio genital o gonadas se dividen y el primordio genital se alarga. Se hace triangular en la hembra y cilíndrico en el macho y se forman las glándulas rectales en la parte posterior del cuerpo. A medida que el segundo estadio larval continúa alimentándose, el tamaño del cuerpo también aumenta y toma la forma de botella y las gonadas continuana alargandose.

En el tercer estadio desaparece el estilete y el bulbo esofageal medio. En el cuarto estadio aparecen nuevamente, se forma en las hembras el útero y la vagina y se puede distinguir el patrón perineal. El macho se va haciendo vermiforme, continúa aumentando de tamaño, aparece la espícula y esperma en el testículo.

Los machos tienen estilete completamente desarrollados y cuerpos delgados con el extremo anterior agudo y el posterior redondeado. Aparentemente no se alimentan, ya que sus glándulas esofageales no están bien desarrolladas.

Las hembras adultas son de color blanco y su cuerpo es blando, permaneciendo así hasta su muerte. Miden 0,4 a 1,3 mm de longitud y 0,3 a 0,7 mm de ancho.

Cuando el macho llega a su estado adulto, rompe la cutícula que lo protege y sale de la raíz en busca de la hembra para fecundarla, aunque en el género Meloidogyne generalmente no hay fecundación y sólo muy pocas especies requieren del macho para la reproducción.

#### REPRODUCCION

El sistema de reproducción del género Meloidogyne está formado por dos ovarios en los cuales se distingue una zona germinal y una zona de desarrollo, por un oviducto una espermateca y el útero. El útero conduce a la vagina y a la vulva.

El sistema reproductivo se forma en el segundo estadio larval a partir de un primordio genital, el que se va desarrollando a través del tercero y cuarto estadio. En el extremo distal del sistema reproductor existen células que se dividen muchas veces que corresponden a los oogonios que al terminar de dividirse se transforman en oocitos, los cuales pasan por la zona de desarrollo, luego por el oviducto y espermateca. Los huevos se hacen ovales y se forma el cascaron flexible. Finalmente los huevos pasan a través de la vagina y son depositados en la masa de huevos.

Esta clase de reproducción se conoce como partenogénesis mitótica y es común en M. incognita, M. javanica, M. arenaria y algunas poblaciones de M. hapla. En esta reproducción no es necesario el esperma para el desarrollo del huevo y no ocurre fertilización aún cuando haya esperma en la espermateca.

Todas las especies que se reproducen por partenogénesis tienen machos que varían con la disponibilidad del alimento y edad de las plantas. Cuando el alimento es abundante, la mayoría de las larvas desarrollan a hembras y cuando la disponibilidad de alimento es menor, ya sea por infestaciones altas o plantas viejas, hay más formación de machos.

#### LONGITUD DE VIDA

Observaciones en el campo indican que las hembras continúan la producción de huevos por 2 ó 3 meses y viven por algún tiempo después que la producción de huevos termina. Los machos se suponen que viven en el suelo varias semanas.

La longitud de vida de las larvas emergidas varía de unos cuantos días a pocos meses.

#### CONDICIONES AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA

- Temperatura. Las especies tienen requerimientos mínimos, óptimos y máximos para emergencia, movilidad, invasión de las raíces, desarrollo, reproducción y supervivencia.

Para M. hapla las temperaturas óptimas varían de 15° a 25°C y para M. incognita 15° a 30°C. Todas las especies tienen poca actividad sobre 40°C y bajo 5°C. M. javanica con una temperatura promedio de 14°C, completa su ciclo en 56 días, en cambio a 26°C demora solo 21 días.

Generalmente, las especies de Meloidogyne producen 4-7 generaciones, pero en condiciones óptimas pueden llegar a 12 generaciones.

- Humedad. Las especies de Meloidogyne dependen de la humedad del suelo para su vida y actividades. Las larvas y huevos mueren en suelo seco. Ellas emergen rápidamente y se mueven a través de los poros cuando hay suficiente agua para formar una película alrededor de las partículas. Con un contenido más bajo de humedad, la emergencia se inhibe, debido a que los huevos se deshidratan y el movimiento de las larvas es más difícil.

En suelos muy húmedos la emergencia se inhibe y el movimiento es más lento por carencia de oxígeno.

- Textura del suelo. Los nematodos se movilizan con mucha dificultad en suelos con espacios porosos pequeños, se ha visto que la movilidad es máxima cuando la proporción entre el diámetro de la partícula y la longitud del nematodo es de 1:3. Muchos nematólogos opinan que el nematodo del nudo de la raíz es más severo en suelos arenosos que en suelos arcillosos.
- pH del suelo. En general no tiene un efecto directo sobre las actividades de Meloidogyne si está entre 4 y 8. Si el pH es favorable para el desarrollo de la planta, los nematodos se mantienen activos.



## EFFECTO DE LA INFECCION DE LAS PLANTAS POR MELOIDOGYNE

### Síntomas

Cuando los nematodos se encuentran en bajas poblaciones, no se desarrollan síntomas en la parte aérea. Con altas densidades los síntomas son parecidos a los causados por deficiencia de agua o de nutrientes por ej. reducción de crecimiento, amarillamiento y tendencia al marchitamiento.

En la parte subterránea se forman las agallas. El tamaño de las agallas depende del hospedero, de la raíz, de la especie de Meloidogyne, de la densidad de población, de la temperatura, etc. En algunos hospederos, o cuando la densidad de población es muy alta, la planta no forma agallas.

Como resultado de la acción del nematodo, las plantas sufren una reducción y deformación de su sistema radicular, lo que trae como consecuencia una disminución en su eficiencia.

El ataque de Meloidogyne predispone a la planta a la infección por hongos y bacterias. En el campo la infección de las plantas por Meloidogyne sola es improbable, bacterias, hongos y virus están siempre presentes y generalmente interaccionan con los nematodos.

Entre los hongos que interaccionan con Meloidogyne están: Fusarium, Alternaria, Phytophthora, Verticillium, Rhizoctonia, Pythium, Botrytis, Penicillium y Aspergillus.

Entre las bacterias estan Pseudomonas solanacearum, Agrobacterium tumefaciens y Corynebacterium insidiosum.

### Control

1. Inundación. Esta medida se puede emplear donde el agua es abundante y los terrenos son planos. El suelo debe estar cubierto con 10 o más cm de agua por varios meses. La inundación más que matar las larvas y huevos por ahogamiento, inhibe la infección y reproducción en cualquier planta que se desarrolle mientras el campo está inundado.
2. Desección. En algunos climas la población de Meloidogyne puede disminuir si se da vuelta el suelo cada 2 ó 4 semanas, durante la estación seca. Esto expone los huevos y larvas a desecación y mueren cuando se encuentran en las capas superficiales.
3. Barbecho. Esto consiste en dejar el terreno sin cultivar. Los nematodos mueren por falta de alimento y desecación. Este método es eficaz siempre que se eliminen las plantas voluntarias y las malezas que muchas veces son hospederos muy eficientes. Para que sea esta medida más efectiva, el terreno se debe arar o rastrear cada cierto tiempo y regarlo cada 2 meses. Esto tienen por objeto romper el estado de latencia de los nematodos que luego morirán por falta de alimento y desecación.

4. Fertilización. En los campos infestados con nematodos se debe enfatizar la aplicación de fósforo y potasio que aunque no tienen un efecto directo en la población de nematodos, permiten una mejor defensa de las plantas. La aplicación de materias orgánicas, como estiércol, vigoriza la planta y le permite tolerar el ataque del nematodo. Además disminuye la población en un 10 hasta un 50% en casos excepcionales. Esta baja en la población se puede deber a:

- Desarrollo de enemigos naturales, parásitos y predadores de nematodos.
- Sustancias derivadas del metabolismo, que pueden tener un efecto dañino sobre los nematodos fitoparásitos.
- Compuestos derivados de la descomposición y fermentación de la materia orgánica que puede tener un efecto nematicida.
- El alza de la temperatura que se produce por la fermentación del abono puede matar los nematodos.

5. Presión osmótica. Aumentando la concentración, se reduce la población de nematodos, los cuales se plasmolizan. Ej. agregar sacarosa al suelo. Esta medida es costosa, pero se usa en pequeñas áreas, invernaderos o macetas.

6. Control químico. Los nematicidas son productos caros y para su aplicación requieren mano de obra y a veces equipo especializado. Desde que se empezaron a usar, se vió que no era posible matar todos los nematodos en el campo aunque se aumentara la dosis. En este momento, la dosis recomendadas están calculadas para permitir al agricultor un incremento en el valor del cultivo, de por lo menos 3 a 4 veces la inversión.

La mayoría de los fumigantes del suelo son incapaces de matar los nematodos del nudo dentro de las raíces, por lo que las raíces infestadas deben sacarse del suelo o permitir que se descompongan antes de un tratamiento con dibromocloropropano o dibromuro de etileno. El DD y el bromuro de metilo penetran a los nódulos de raíces mejor que la cloropicrina.

Entre los nematicidas recomendados para el control de Meloidogyne se pueden mencionar los siguientes:

Basamid	100-150 Kg/ha
Mocap	100 Kg/ha
Telone	60-100 Kg/ha
Terracur	100-150 Kg/ha
Furadan	50 Kg/ha
Temik	25 Kg/ha

7. Control biológico. En el suelo existen enemigos naturales que actúan directamente como predadores y parásitos o indirectamente mediante secreciones o productos de metabolismo.

Entre los predadores de nematodos están hongos, nematodos, insectos y ácaros, y entre los parásitos están los virus, protozoos, bacterias y hongos.

- Hongos. Hay dos tipos de hongos que matan nematodos; los hongos atrapadores y los endoparásitos. Los atrapadores capturan los nematodos mediante redes adhesivas, nódulos adhesivos y anillos hifales que capturan a los nematodos que pasan a través de ellos. Entre los más conocidos están los géneros Arthrobotrys que tiene anillos constrictores y redes adhesivas y Dactylella que tiene nódulos adhesivos y lazos.

Los hongos endoparásitos que infectan especies de Meloidogyne tienen esporas que se adhieren a la cutícula de los nematodos y emiten tubos germinativos que penetran en el cuerpo. Experimentos recientes hechos en laboratorio y campo con el hongo Paecilomyces lilacinus se ha encontrado que controla eficientemente especies de Meloidogyne. El hongo penetra a los huevos desarrollándose en el interior de ellos.

- Nematodos predadores. Algunos géneros de nematodos se alimentan de otros nematodos, como los Mononchus, Mononchoides, Dorylaimus, Aphelelenchoides, etc. Algunos tragan sus presas, otros las atrapan y ab

sorben su contenido, o le inyectan sustancias paralizantes.

- Bacterias. Se ha encontrado larvas y hembras de Meloidogyne cubiertas con esporas de Bacillus penetrans. Clostridium butyricum que produce ácido propionico, acético y butírico que son tóxicos para los nematodos.

8. Rotación de cultivos. En una rotación se alterna el cultivo susceptible que es el cultivo rentable, con cultivos inmunes o resistentes. Un programa de rotación para Meloidogyne debe ser planificado para que la población del nematodo esté en su nivel más bajo cuando el cultivo susceptible se coloque. Este cultivo se desarrollará bien, porque no será atacado al principio del período vegetativo, pero al final, la población aumentará a través de varias generaciones y hay que volver al cultivo inmune o resistente.

Rotaciones cortas de 2 ó 3 años es suficiente para bajar la población de la mayoría de las especies de Meloidogyne.

Para que una rotación sea efectiva debe haber un muy buen control de malezas, ya que, la gran mayoría son hospederos de Meloidogyne.

9. Plantas antagónicas. Las larvas al penetrar a las raíces de estas plantas mueren a los pocos días.

Entre estas plantas están los Tagetes spp., Chrysanthemum spp. y Ricinus communis (Frejol de Castor). Todas estas plantas contienen toxinas

que pueden matar los nematodos dentro de la planta, pero no hay evidencia de que los maten en el suelo.

Belcher y Hussey (1977) señalan que el efecto de tagetes en poblaciones de Meloidogyne es altamente variable, dependiendo de la combinación de la especie de tagete y la especie de nematodo y posiblemente del cultivar de tagete y raza de Meloidogyne.

10. Variedades resistentes. Para hacer una evaluación completa de la reacción de una planta a nematodos se deben medir dos parámetros: reproducción del nematodo y daño causado por el nematodo a la planta.

Cuando solo se mide la reproducción del nematodo, los términos para describir la planta son:

- a. no hospedero
- b. hospedero no eficiente ( $P_f/P_i \leq 1$ )
- c. hospedero eficiente ( $P_f/P_i > 1$ )

Cuando se miden los dos parámetros, los términos para describir la planta son:

- a. Inmune (no hospedero, ningún daño sufrido)
- b. Resistente (hospedero no eficiente que no sufre daño estadísticamente significativo).
- c. Susceptible (hospedero eficiente sufre daños estadísticamente significativos)
- d. Tolerante (hospedero eficiente que no sufre daños estadísticamente significativo).

Es importante distinguir si el daño es estadísticamente significativo o no, en término de reducción de rendimiento o crecimiento de la planta, ya que la necrosis de algunas células es obviamente dañino para esas células, pero puede no ser cuantificable en término de la planta en sí.

La eficiencia del hospedero se mide por el "Índice de nodulación o masas de huevo", que es el número de masas de huevo por gr de raíz o el número de hembras por gr de raíz.

El daño por el nematodo se determina relacionando la población inicial con el desarrollo y rendimiento de cultivos anuales. La densidad mínima que causa una reducción medible en el rendimiento o desarrollo de la planta es conocida como "la densidad mínima dañina".

La densidad mínima dañina varía con la especie del nematodo, raza, variedad de planta y ambiente. La densidad mínima dañina de M. hapla en papa (microparcelas) se estima en 100 larvas/100 gr de suelo.

En algunos países se ha encontrado resistencia a Meloidogyne en especies silvestres de Solanum. En Perú se ha encontrado altos niveles de resistencia en Solanum demissum y Solanum sparsipilum. En Estados Unidos, varios clones de S. tuberosum spp. andigena fueron registrados como resistentes a M. incognita, M. javanica, M. arenaria y M. hapla.



Todas estas medidas que se han indicado por sí solas no son suficientes para obtener un buen control. De ahí que lo ideal es hacer un control integrado, en el cual se programa una rotación a tres años, se emplee productos químicos cuando el nivel de población sea alto, se use variedades con características de resistencia y se empleen las prácticas culturales indicadas.

BIBLIOGRAFIA

CANTO, M. 1982. El género Meloidogyne. Curso de Nematología. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 68 p.

SASSER, J.N. y A.L. TAYLOR. 1978. Biology, Identification and Control of Root-knot Nematodes (Meloidogyne species). North Carolina State University. 111 p.