

## Nematodos que se alimentan de plantas

*George: ¿por qué la raíz de ese apio enfermo tiene un aspecto peculiar?*



Un sistema radicular de apio sano a la izquierda y uno infestado de nematodos del nudo de la raíz, *Meloidogyne* sp., a la derecha. ¿Cuál cree que competiría mejor por el agua y los nutrientes del suelo? Tomado de la colección de diapositivas del Dr. George Bird, Universidad Estatal de Michigan.

**Fred Warner, Nematólogo**

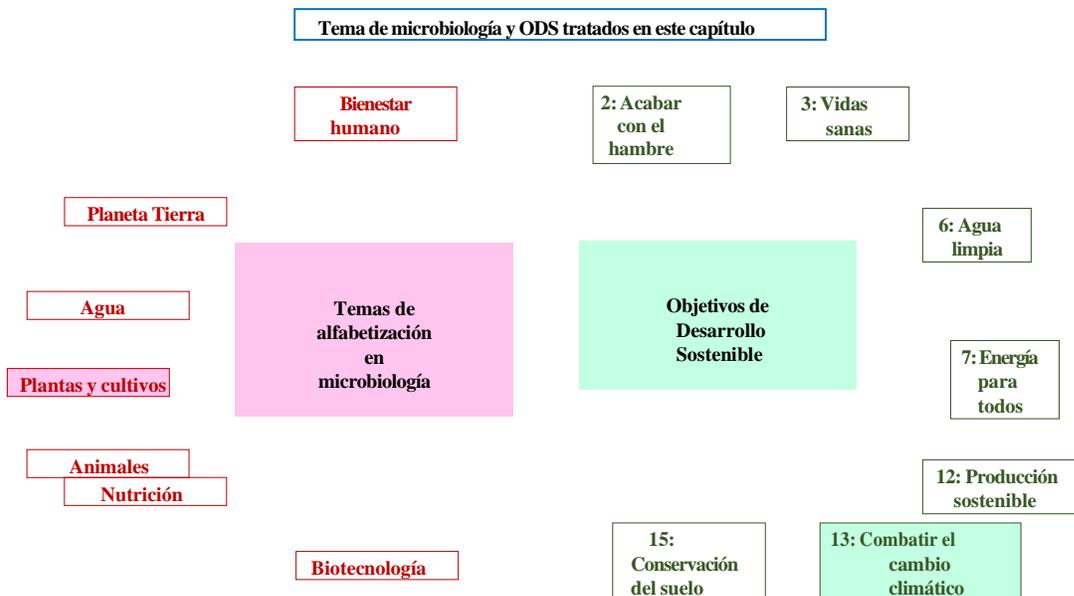
## Nematodos que se alimentan de plantas

### Sinopsis

Muchos animales consumen plantas, pero la mayoría de ellos pueden verse a simple vista. Estos animales suelen denominarse plagas porque dañan a las plantas y no tienen una relación duradera con ellas. Las plagas suelen ser mamíferos, insectos y otros artrópodos, así como moluscos como caracoles y babosas. A veces, no los vemos alimentarse, sólo observamos los daños que causan. Los nematodos parásitos de las plantas son diferentes porque todos ellos son animales microscópicos, por lo que no pueden verse a simple vista. Son patógenos, es decir, organismos que causan enfermedades infecciosas, en este caso las de las plantas. Los parásitos son organismos que obtienen nutrientes de otros organismos (sus hospedadores), suelen tener largas asociaciones con sus hospedadores y normalmente se reproducen en o sobre sus hospedadores. Esta interacción con sus hospedadores a menudo da lugar a la producción de síntomas que son pistas utilizadas por los diagnosticadores de enfermedades en sus diagnósticos. Soy diagnosticador de enfermedades vegetales en la Universidad Estatal de Michigan y trabajo casi exclusivamente con nematodos. Los nematodos parásitos de las plantas son realmente los únicos animales (hay excepciones dependiendo de las definiciones que se utilicen) que causan enfermedades en las plantas.

Todas las especies de plantas conocidas actualmente por los biólogos tienen al menos un nematodo parásito. La mayoría tiene media docena o más. Los nematodos parásitos de las plantas suelen denominarse "enemigos ocultos", ya que los productores de plantas nunca los ven, pero sufren las consecuencias de su existencia en forma de reducción de beneficios en sus explotaciones, viveros o invernaderos. En realidad, es inusual no encontrar ningún nematodo parásito de las plantas en lugares o campos con una larga historia de producción de plantas. Son animales muy comunes. Por lo tanto, es muy probable que los nematodos se estén alimentando de los cultivos de su granja o del jardín, césped, invernadero, etc.

### La microbiología y el contexto social



## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

*La microbiología:* enfermedades de las plantas. *Cuestiones de sostenibilidad:* rendimiento de los cultivos y seguridad alimentarios, metabolismo del carbono en el suelo y calentamiento global.

### Nematodos que se alimentan de plantas

**1. Nematodos, ¡nunca he oído hablar de ellos!** Si esta afirmación aplica para usted, no se sienta mal porque es cierta para la mayoría de la gente. Incluso a mi mujer no le gusta contar a la gente lo que hago porque le parece bastante extraño o esotérico. Sin embargo, lo que me hace gracia es que muchos niños han oído hablar de los nematodos y los adultos no. Los fans de los dibujos animados "Bob Esponja" están familiarizados con los nematodos como animales sedientos y hambrientos. <https://www.youtube.com/watch?v=ICoq4DFISaU>.

**2. Viven en lugares húmedos.** Los nematodos pertenecen al reino animal y son gusanos redondos no segmentados. Los zoólogos los sitúan en su propio grupo principal (Phylum Nematoda) y comparten algunas características con los gusanos planos, las lombrices de tierra (anélidos, los verdaderos gusanos segmentados) y los artrópodos. Poseen la mayoría de los mismos sistemas que los humanos, excepto un sistema circulatorio. Dado que nuestro sistema circulatorio desempeña un papel fundamental en el suministro de oxígeno a nuestros tejidos y los nematodos carecen de él, el oxígeno que utilizan debe difundirse a través de su piel (la superficie más externa de un nematodo se conoce como cutícula y debe desprenderse para que un nematodo crezca). Como el oxígeno no se difunde a través de los tejidos tan fácilmente como el aire o el agua, los nematodos deben ser largos y delgados para que el  $O_2$  pueda llegar a sus órganos internos. Como los nematodos son bastante susceptibles a la desecación (cualquier animal que obtenga oxígeno por difusión debe mantener constantemente húmeda su superficie para poder respirar), suelen encontrarse en entornos acuáticos. Los lagos, océanos, estanques, ríos, arroyos y el suelo son entornos ideales para los nematodos.

**3. Utilizan modos de dispersión activos y pasivos.** Como los nematodos son gusanos, carecen de patas y alas. Poseen músculos, por lo que pueden moverse por sí solos, a menudo en forma de serpiente. Sin embargo, la dispersión a larga distancia es un problema para los nematodos, por lo que algunos utilizan otros animales para desplazarse o, en el caso de los nematodos parásitos de plantas, suelen ser transportados largas distancias en sus hospedadores o en el suelo. Como no se pueden ver, los jardineros suelen comprar plantas con huéspedes no deseados si los propagadores de esas plantas ignoraron los nematodos. Como suelo decir a mis hijos: "Ignorar un problema no suele hacer que desaparezca". Si compra trasplantes infestados de nematodos, un problema que alguien ignoró puede convertirse en su dolor de cabeza.

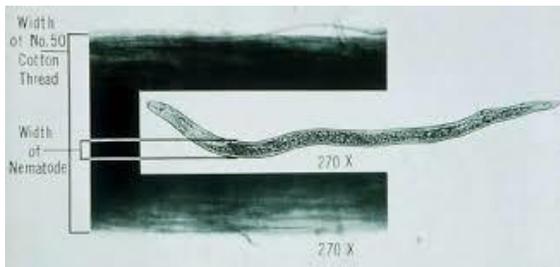
**4. ¡Hay muchos por ahí!** Un hecho sobre los nematodos que la población en general desconoce es que son los animales más abundantes o destacados de nuestro planeta. Los científicos calculan que entre 7 y 8 de cada 10 animales de la Tierra son nematodos. Algunas estimaciones de la abundancia de nematodos incluyen 9.000 millones por acre de tierra de cultivo en buen estado, 20 millones en un metro cuadrado de sedimento marino y 90.000 en una manzana podrida tirada en la superficie del suelo. La mayoría de la gente acepta el hecho de que los insectos son probablemente los animales más abundantes de la Tierra, pero, aunque se conocen muchas más especies de insectos que de nematodos, los gusanos tienen una gran ventaja. Los nematodos sobreviven muy bien en ambientes marinos, mientras que los insectos no (salvo un par de especies, los insectos no son verdaderamente marinos), y todos sabemos que el agua salada cubre aproximadamente el 70% de nuestro planeta.

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

**5. Los nematodos son muy diversos: algunos son parásitos de plantas y animales, mientras que otros son beneficiosos.** Los nematólogos han descrito unas 25.000 especies hasta la fecha y aproximadamente el 15% de ellas son parásitos de plantas. Aproximadamente el 50% son parásitos de animales, incluidos los invertebrados. Uno de estos nematodos parásitos de animales es el gusano del corazón del perro, que utiliza mosquitos para desplazarse de un huésped a otro (los mosquitos en este caso son vectores biológicos o huéspedes intermediarios). Los demás nematodos son beneficiosos y consumen algas, bacterias, hongos, protozoos y otros nematodos. Desempeñan un papel integral en las redes tróficas acuáticas y del suelo, y las pruebas sugieren que los nematodos que se alimentan de bacterias en el suelo son importantes para la nutrición de las plantas debido a su capacidad para mineralizar los elementos que se encuentran en su alimento y liberarlos en la superficie de las raíces de las plantas, de modo que éstas puedan acceder a ellos fácilmente.

**6. Nematodos fitoparásitos.** Todos los nematodos parásitos de plantas comparten tres características comunes.

- a. Todas son microscópicas, la más larga mide unos 8 mm (*aprox.* 1/3 de pulgada).



Un nematodo hembra de la lesión radicular, *Pratylenchus* sp., superpuesto sobre un hilo de algodón para ilustrar el pequeño tamaño del gusano. Tomado de la colección de diapositivas del Dr. George Bird, Michigan State University.

- b. Todos ellos poseen estiletos. Un estilete es un aparato que se encuentra en la cabeza de un nematodo y que le sirve para perforar las células vegetales y obtener nutrientes.
- c. Todos son parásitos *obligados* de las plantas, lo que significa que necesitan huéspedes vivos de los que alimentarse para poder crecer y reproducirse.

Como advertencia, todos los nematodos parásitos de plantas poseen estiletos, pero no todos los nematodos con estiletos son parásitos de plantas.



Región cefálica de un nematodo lanceolado. El estilete es conspicuo.  
Foto presumiblemente tomada por H. H. Lyon, Universidad de Cornell.

Los nematodos parásitos de las plantas son importantes en fitopatología por tres razones principales. En primer lugar, causan directamente enfermedades infecciosas de las plantas. En segundo lugar, algunos nematodos pueden servir como

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

*agentes de predisposición*, proporcionando campos de infección (heridas) para otros patógenos invasores de las plantas con los que cooperan. Dado que muchas bacterias y hongos fitopatógenos se encuentran en el suelo e invaden las raíces, creo que éste es un aspecto muy infravalorado de la importancia de los nematodos en la agricultura. El tercero es que algunos nematodos pueden transmitir virus, como los mosquitos vectorizan los gusanos del corazón de los perros.

**7. Estilos parasitarios.** Los nematodos parásitos de plantas presentan diferentes hábitos parasitarios. La mayoría de las especies (aproximadamente el 95%) se alimentan de las raíces o dentro de ellas, pero algunas se alimentan de las hojas o de tejidos foliares modificados. Los nematodos que se alimentan por vía foliar son el azote de los cultivadores de invernadero, pero estos nematodos existen y prosperan al aire libre. Los nematodos que se alimentan en los tejidos vegetales se dividen en dos grupos principales: endoparásitos migratorios y endoparásitos sedentarios. Los nematodos endoparásitos migratorios penetran en los tejidos y migran por ellos mientras se alimentan y ponen huevos. Estos nematodos matan las células a su paso.

Por el contrario, los nematodos endoparásitos sedentarios permanecen sésiles en el interior de sus hospedadores una vez que han establecido los lugares donde se alimentan. En un extraño giro, los nematodos secuestran a sus hospedadores, de modo que las plantas les proporcionan células especializadas para mantenerlos con vida. Si el hospedador muere, los nematodos endoparásitos sedentarios mueren con él porque quedan "atrapados" en su interior. Es importante tener en cuenta que el objetivo de la mayoría de los parásitos es mantener con vida a sus hospedadores. Se sabe que algunos parásitos de animales, incluidos los humanos, trabajan conjuntamente con sus hospedadores para modular sus sistemas inmunitarios, de modo que tanto el hospedador como los parásitos sobreviven durante largos periodos de tiempo (hasta 30 años o más).

El tercer grupo de nematodos se alimenta como ectoparásitos. En el caso de los ectoparásitos, los cuerpos de los nematodos permanecen fuera del hospedador, sólo sus estiletes se insertan en los tejidos. La mayoría de los nematodos parásitos de plantas se alimentan como ectoparásitos. Todos los nematodos parásitos de plantas que vectorizan virus de plantas son ectoparásitos. Además, casi el 100% de los nematodos parásitos de plantas pasan al menos parte de su vida en el suelo.



Nematodos urticantes, *Belonolaimus longicaudatus*. Los nematodos urticantes son ectoparásitos.  
Foto de UC Riverside, Centro de Investigación de Especies Invasoras.

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

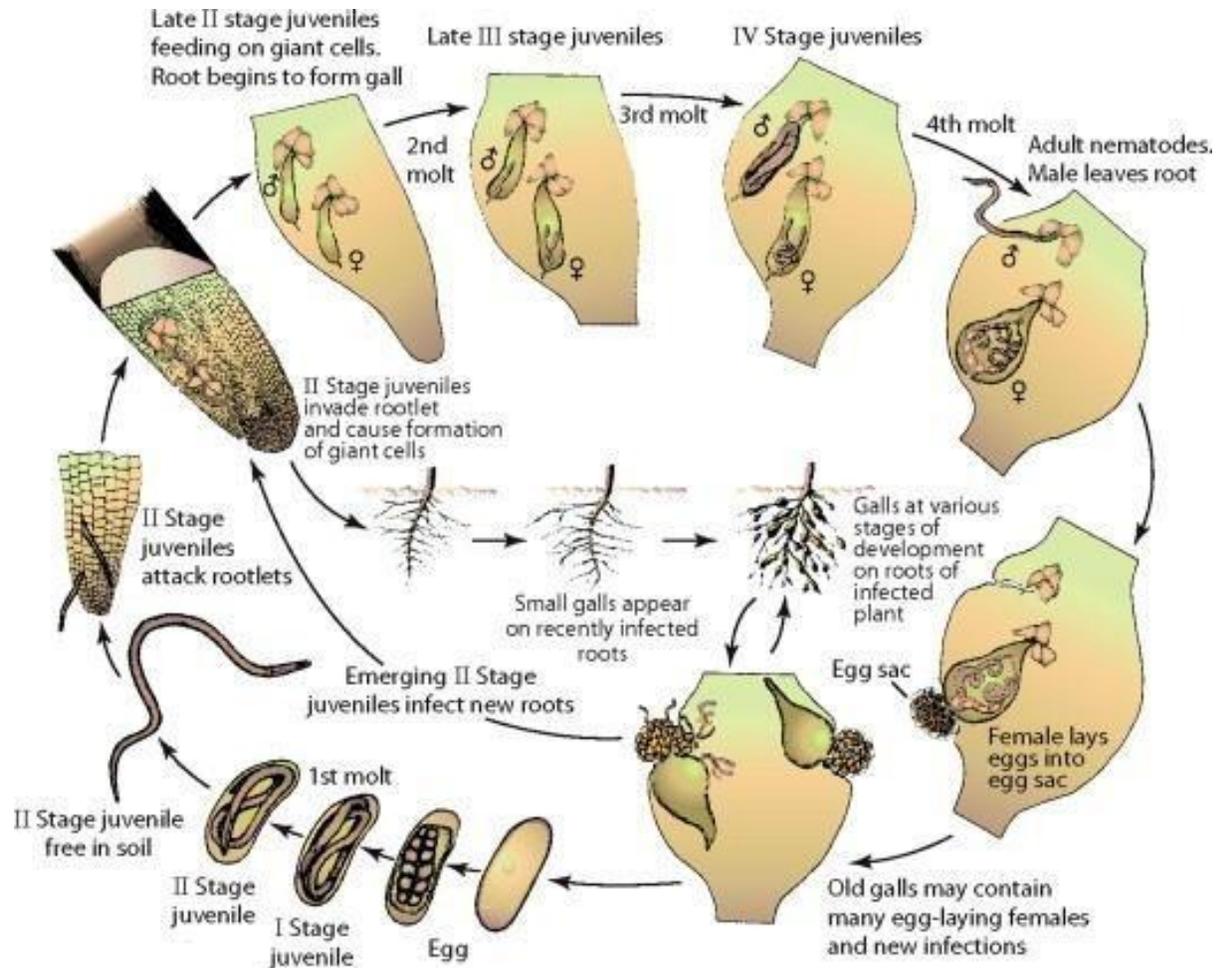
**8. Síntomas de la enfermedad.** Como ya se ha mencionado, todas las especies de plantas destinadas a la producción de fibra o alimentos tienen al menos un nematodo parásito. Algunas especies de plantas son mucho más susceptibles a la alimentación por nematodos que otras y existen diferencias dentro de los cultivares de plantas. El parasitismo por nematodos que se alimentan de las raíces no suele producir síntomas característicos en la superficie. La alimentación por nematodos puede dar lugar a plantas cloróticas (amarillentas), atrofiadas o marchitas. El rendimiento de los cultivos agrícolas se reduce y pueden producirse pérdidas del 100% de las cosechas. Los síntomas resultantes de la alimentación por nematodos se parecen a los causados por muchos factores de estrés abióticos o bióticos. Dado que las infecciones por nematodos suelen dar lugar a plantas con volúmenes o pesos de raíces reducidos, tiene sentido que las plantas se marchiten o muestren síntomas de deficiencias de nutrientes, ya que estas plantas no compiten bien por el agua o los nutrientes del suelo. Por esta razón, entre otras, los problemas de nematodos a menudo no se diagnostican. Como nematólogo, creo que la gente (incluso los agricultores, médicos y veterinarios) tiene algunos prejuicios inherentes contra los nematodos y parte de ese prejuicio se debe a la falta de conocimiento y comprensión de estos importantes parásitos de animales y plantas. Por ejemplo, ¿cuándo fue la última vez que alguien compartió una historia sobre nematodos en Facebook o que usted vio algo en la prensa popular o escuchó un chisme en las noticias? ¿Ha oído alguna vez una historia sobre una migración masiva de nematodos? Me atrevería a decir que nunca o casi. Si a esto añadimos que los nematodos son los animales más abundantes de la Tierra, me resulta casi increíble que la mayoría de la gente desconozca por completo su existencia.

**9. Los nematodos del nudo de la raíz (*Meloidogyne spp.*) son los nematodos fitoparásitos más importantes a escala mundial.** Estos nematodos son responsables de aproximadamente una cuarta parte de todas las pérdidas de cultivos causadas por nematodos fitoparásitos. Hay entre 80 y 90 especies descritas, pero las principales son cuatro. No se me ocurre ninguna especie de planta a la que no afecte al menos una especie de nematodo del nudo de la raíz. Por ejemplo, el café es huésped de 17 especies de nematodos. Los nematodos del nudo de la raíz suelen tener una distribución subtropical o tropical. Por ejemplo, en Michigan tenemos un clima templado y habitualmente sólo encontramos dos especies de nematodos del nudo de la raíz, aunque tenemos un nematodo del nudo de la raíz "dinosaurio". Este nematodo es el nematodo del nudo de la raíz de la uva de Michigan, *Meloidogyne nataliei*. Su distribución mundial actual es de dos municipios del suroeste de Michigan. Sus restos fósiles se descubrieron en 1977 (es broma lo de los restos fósiles).

**10. Ciclo vital de los nematodos de los nudos de la raíz e inversión del sexo.** Los nematodos del nudo de la raíz son endoparásitos sedentarios. Un nematodo joven eclosiona de un huevo presente en el suelo (existen cuatro estadios preadultos conocidos como juveniles, la primera muda se produce en el huevo y emerge un juvenil de segundo estadio), localiza una raíz y penetra en ella. Estos nematodos se sienten atraídos por una región de la raíz conocida como zona de elongación, un área en la que el tejido vascular (floema y xilema) aún no se ha diferenciado. Un vídeo que muestra la penetración en las raíces de *Arabidopsis thaliana* del nematodo del sur de la raíz, *M. incognita*, puede verse aquí <https://www.youtube.com/watch?v=BTXW7OHxL-Q>. El nematodo comienza a alimentarse en el tejido pro-vascular de células especializadas llamadas células gigantes producidas por su huésped. Si el nematodo no puede iniciar esta respuesta dentro del huésped, muere. Cuando las raíces infectadas empiezan a crecer, el nematodo se incrusta en el tejido vascular de la planta y puede robar a su huésped los azúcares que produce mediante la fotosíntesis. El nematodo juvenil se hincha mientras se alimenta. Si el nematodo es una hembra, adquiere forma de globo y pone huevos (a menudo unos 500) en un material gelatinoso que ella produce en la superficie de su cuerpo. Si el nematodo juvenil es macho, tiene forma de gusano y sale de la raíz para poder aparearse con las hembras. Las hembras son

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

glotonas, pero los machos no se alimentan. Los nematodos del nudo de la raíz tienen una asombrosa capacidad de comunicación dentro de los invertebrados y pueden regular sus propias poblaciones para no sobrecargar a sus huéspedes y matarlos. Lo hacen mediante la inversión del sexo. Los nematodos juveniles, programados genéticamente para ser hembras, cambian de sexo y se convierten en machos. Como los machos no se alimentan, la planta conserva más azúcares. ¿Cómo saben los nematólogos que esto ha ocurrido? Los machos con sexo invertido tienen dos testículos, mientras que los machos "normales" (sin sexo invertido) tienen uno. Las hembras tienen dos ovarios. Casi, ¡alucinante, sostengo! ¿Se te ocurre algún otro animal que pueda cambiar de sexo? Los fans de la película *Buscando a Nemo* podrían tener una pista.



Ciclo de vida de los nematodos parásitos de las raíces, *Meloidogyne* sp. El ciclo de vida de un nematodo parásito de las plantas suele comenzar con un huevo, seguido de 4 estadios juveniles (preadultos) y una hembra o un macho.

Esta imagen procede de APS.net.

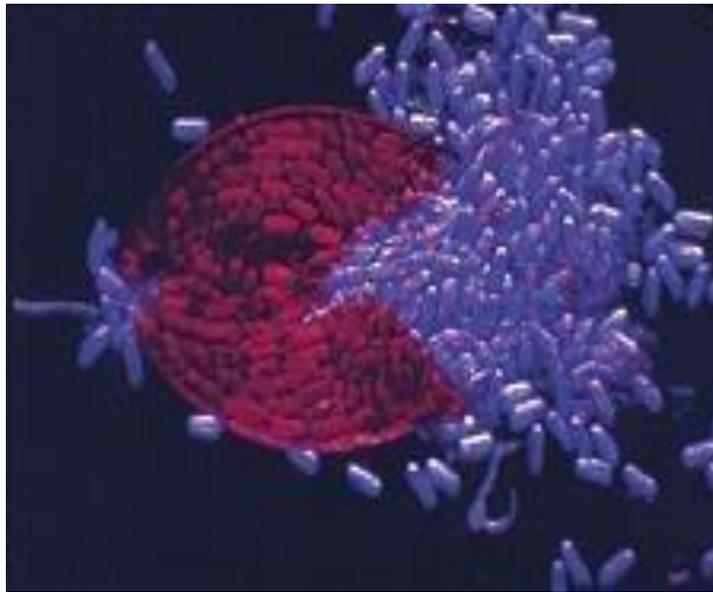
**11. Protección de la planta hospedadora frente a nematodos hembra preñados.** El hospedador también presta otro servicio a los nematodos. A medida que los nematodos se alimentan, se producen nudos o agallas que envuelven a las hembras hinchadas y les proporcionan cierta protección frente a los enemigos que existen en el suelo. Por lo tanto, un síntoma característico de una infestación de nematodos de la raíz es la presencia de agallas en las raíces. El tamaño de las agallas varía en función de la especie de nematodo del nudo de la raíz y del número de hembras de nematodos dentro de cada agalla. Dado que los juveniles de segunda fase se sienten atraídos por una región específica de la raíz, es lógico que los nematodos se agrupen. Las raíces anudadas no compiten

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

bien, especialmente por el agua, y las plantas infestadas de nematodos parecen a menudo "hambrientas" de agua.

**12. Nematodos enquistadores.** Otro grupo de nematodos parásitos destructivos de las plantas son los quistes. Existen múltiples géneros de nematodos del quiste, pero los dos más importantes son *Globodera* spp. y *Heterodera* spp. El nematodo del quiste dorado, *G. rostochiensis*, es el más reglamentado de todos los nematodos fitoparásitos, ya que más de 100 países promulgaron cuarentenas dirigidas a este importante patógeno de la patata. La contención de este nematodo en el norte del estado de Nueva York en la década de 1900 puede representar el programa de regulación de mayor éxito en la historia de la agricultura estadounidense.

Al igual que los nematodos de la raíz, los nematodos del quiste son endoparásitos sedentarios. Los ciclos vitales de ambos grupos son algo similares, pero la alimentación de los nematodos del quiste no da lugar a la formación de agallas en las raíces. Los nematodos del quiste deben su nombre al hecho de que las cutículas de las hembras se endurecen cuando sus cuerpos se llenan de huevos, de modo que forman "casas protectoras" para los huevos en desarrollo y los juveniles (preadultos).



Un quiste abierto para revelar cientos de huevos.

Esta imagen procede de la colección de diapositivas del Dr. George Bird, de la Universidad Estatal de Michigan.

Los nematodos quísticos son adversarios formidables por tres razones principales:

- a. Son parásitos destructivos y causan graves pérdidas en los cultivos;
- b. tienen altos índices de fecundidad, ya que cada hembra puede producir varios centenares de huevos según la especie, y
- c. quistes pueden permanecer latentes en el suelo durante una década o un poco más en ausencia de cultivos huéspedes.

A menudo les digo a los agricultores, cuando les hablo de los nematodos del quiste, que, si sus campos se infestan con ellos, van a tener que aprender a maximizar el rendimiento en presencia de los nematodos del quiste de estos gusanos. En la mayoría de los casos, su erradicación no es una realidad

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

Los nematodos del quiste parecen más aptos para sobrevivir en climas templados que la mayoría de las especies de nematodos de la raíz.

**13. SCN: ¡el destructor de la soja!** La especie más notable de *Heterodera* es probablemente *H. glycines*, conocida comúnmente como nematodo del quiste de la soja (SCN). Se le considera el patógeno más grave de la soja en cualquier lugar donde exista, y sólo en EE.UU. causa pérdidas en las cosechas superiores a los dos mil millones de dólares al año. Esta especie es originaria de Asia y se ha extendido a las principales zonas productoras de soja del mundo. El SCN se alimenta también de otros cultivos (sobre todo de la familia de las judías), pero la soja es su huésped más importante. Los agricultores ignoran al SCN por su cuenta y riesgo. Si optan por no controlar el SCN, normalmente perderán el 50% o más de sus cosechas de soja en los campos muy infestados. Para obtener mucha más información sobre el SCN y algunos vídeos educativos, visite el siguiente sitio web, <https://www.thescncoalition.com/lets-talk-to-des/research-collection>. Este vídeo de YouTube también ofrece información pertinente sobre el SCN acompañada de música <https://www.youtube.com/watch?v=G1IKzS7hw8Q>.

**14. Preferencias geográficas.** Se calcula que existen unos 200 géneros y 4.300 especies de nematodos parásitos de plantas. No debería sorprender que algunas especies sean importantes en algunas regiones geográficas, pero no en otras, lo que refleja la temperatura (los nematodos son invertebrados de sangre fría) y las especies hospedadoras. Por ejemplo, los nematodos virulentos del arroz no preocupan a los cultivadores de regiones como Michigan, donde no cultivamos esta planta.

**15. ¿Cómo sabemos si tenemos nematodos?** Dado que los nematodos parásitos de las plantas son animales microscópicos, para detectar su presencia y cuantificarlos es necesario recoger muestras de tejidos vegetales y del suelo. La toma de muestras para detectar nematodos suele tener dos objetivos: evitar problemas y diagnosticar problemas. Tras la recogida de muestras, éstas deben entregarse o enviarse a cualquier laboratorio local de diagnóstico de plantas que cuente con un nematólogo en plantilla, como el que tenemos aquí en la Universidad Estatal de Michigan.

Los productores de plantas deben tomar medidas para evitar los nematodos. Dado que son el enemigo invisible, es más fácil decirlo que hacerlo. Antes de sembrar cualquier cultivo anual susceptible o plantar cualquier cultivo perenne, deben tomarse siempre muestras de los campos en busca de nematodos. Si el control químico es una opción, hay que tener en cuenta que muchos nematicidas (sustancias que matan a los nematodos) suelen ser tóxicos para las plantas y, por tanto, no pueden aplicarse a los cultivos existentes. Además, el número de nematicidas es limitado y, para algunos cultivos, no hay ninguno registrado para su uso. Si un agricultor planta un viñedo, por ejemplo, y se entera de que tiene un problema de nematodos 3 o 4 años después de la plantación, suelo preguntarle: "¿Ya está el caballo en el prado y ahora quieres cerrar la puerta del establo?". Es posible que ya se haya cerrado la ventana para controlar los nematodos.

A menudo, los síntomas de causa(s) indeterminada(s) se hacen evidentes en el transcurso de una temporada de cultivo. Para determinar o descartar que los nematodos sean los agentes causales es necesario recoger muestras. El número de nematodos parásitos de las plantas suele ser mayor en los márgenes de las zonas enfermas, especialmente si algunas de las plantas del centro de estas zonas están muriendo. Suelo recomendar la recogida de dos muestras, una de las zonas enfermas y otra de las zonas aparentemente sanas, con fines comparativos.

Los nematodos parásitos de las plantas tienden a agruparse en sus distribuciones, por lo que los síntomas causados por su alimentación tienden a estar en grupos. Cuando los cultivos están presentes y los síntomas son evidentes, localizar estos puntos suele ser bastante fácil. Sin embargo,

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

no puede decirse lo mismo después de retirar las plantas de los campos. Existen muchos artículos científicos sobre el muestreo de nematodos. El muestreo y la interpretación de los resultados pueden ser fuente de frustración para los productores de plantas. Una enorme variabilidad suele ser el resultado de múltiples muestras tomadas en lugares infestados de nematodos. No trataré este tema con más detalle.

**16. Tenemos un problema de nematodos. ¿Qué hay que hacer?** No se preocupe, no es ni el primero ni el último en enterarse de que tiene niveles perjudiciales de nematodos parásitos de las plantas. Siempre me gusta decir a mis clientes que se informen y aprendan todo lo posible sobre los nematodos presentes en sus campos. Los nematodos parásitos de las plantas difieren enormemente en su virulencia (la cantidad de daño que causan), así que centre sus esfuerzos en las especies (géneros) más destructivas. Si desea maximizar los beneficios y optimizar la salud de las plantas, a menudo es necesario centrarse en los principales factores limitantes de la producción de un cultivo.

Si necesita reducir las densidades de población (número) de especies perjudiciales de nematodos, puede emplear seis tácticas principales: los controles biológicos, biotecnológicos, químicos, culturales, genéticos y físicos son los principales.

Algunas tácticas son más sostenibles que otras. Por ejemplo, los controles culturales son muy eficaces contra la mayoría de los nematodos, especialmente los que tienen una gama limitada de hospedadores. Las rotaciones que incluyan cultivos no hospedadores reducirán las densidades de población de la mayoría de los nematodos. Sin embargo, para utilizar eficazmente las rotaciones de cultivos, es importante conocer las preferencias de hospedadores de los nematodos de su explotación. Desafortunadamente, algunos nematodos tienen rangos de hospedadores extremadamente amplios que superan las 300 - 400 especies de plantas, por lo que estos patógenos son difíciles de controlar sólo con rotaciones.

Los controles genéticos suelen consistir en el uso de cultivares/variedades de plantas con resistencia a determinadas especies de nematodos parásitos de las plantas. La resistencia suele utilizarse contra los nematodos del quiste y los nematodos del nudo de la raíz. La resistencia suele ser eficaz, pero los nematodos a menudo la superan, por lo que no es una panacea para siempre.

Mi mejor consejo es que, si se entera de que tiene un problema de nematodos, consulte a los expertos locales. En nuestro laboratorio, además de diagnosticar e identificar problemas de nematodos, también asesoramos a nuestros clientes sobre lo que creemos que son las tácticas óptimas de gestión. No todos los laboratorios funcionan así. Algunos se limitan a dar cifras, dejándole a usted la tarea de investigar cómo controlar los nematodos en cuestión.

**17. Estoy intrigado, ¡quiero ver algunos nematodos!** Bueno, si aún no lo has averiguado, vas a necesitar un microscopio. Puedo identificar los nematodos parásitos de las plantas hasta el género utilizando un aumento de 40X, pero como bromeo con mis alumnos, "soy un experto entrenado". Para ver los nematodos en detalle, se necesitan de 100 a 1000 aumentos. Utilizo un microscopio para contar e identificar los nematodos hasta el género. Si necesito identificar alguna especie, los paso a un microscopio óptico compuesto y los observo a 400, 1000 o 1500X. También utilizamos procedimientos moleculares en nuestro laboratorio para identificar los nematodos por especies.

Para ver los nematodos, es necesario extraerlos de los tejidos vegetales o del suelo. En nuestro laboratorio, para extraer los nematodos del suelo, utilizamos tamices y un procedimiento llamado centrifugación/flotación. La Universidad de Florida tiene un vídeo en el que se muestra este proceso [https://www.youtube.com/watch?v=x\\_X08MdV5qk](https://www.youtube.com/watch?v=x_X08MdV5qk). Sin embargo, los nematodos pueden extraerse del suelo de forma económica utilizando cubetas de Baermann. Para construir los moldes de Baermann, recoja dos moldes de tarta o latas y corte el fondo de uno de ellos. Coloque la parte cortada dentro de la intacta con una sección de malla sobre ella (utiliza una pantalla flexible para que se amolde al

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

Contorno del molde). Coloca dos pañuelos de papel sobre la pantalla y vierte un poco de tierra sobre los pañuelos. Llena el molde inferior con agua suficiente para que toque los pañuelos. Dobla los pañuelos sobre la tierra y coloca los moldes en algún lugar durante 48 - 72 horas. Retire la bandeja superior con la malla y vierta el líquido en un vaso de precipitados o en cualquier recipiente que contenga agua. Deje que los nematodos se depositen en el fondo y extraiga algunos con una pipeta. Ponga de dos a cuatro gotas en un portaobjetos de microscopio y busque nematodos. Lo más probable es que te sorprendas al verlos nadar.

**18. *No todos los nematodos son microscópicos.*** Como nota final, aunque la mayoría, si no todos, los nematodos que habitan en el suelo son microscópicos, hay muchos nematodos parásitos de animales que pueden verse a simple vista. Dado que la mayoría de ellos permanecen dentro de sus hospedadores y sólo pasan sus huevos, nunca los verá a menos que esté observando una necropsia en una clínica u hospital veterinario. Como joven científico impresionable, presencié muchas necropsias en la clínica veterinaria en la que trabajaba y vi muchos corazones caninos llenos de gusanos del corazón. Los adultos eran claramente visibles para mí, ya que miden de 12 a 14 pulgadas (25 a 30 cm) de longitud. Sin embargo, en ocasiones, si tienes un perro de compañía infectado con ascáridos, pueden expulsar algunos en el vómito. ¡Qué asco!

**19. *Nuestra sociedad científica.*** La Sociedad de Nematólogos es un grupo cuyos miembros se dedican principalmente a la investigación de los nematodos parásitos de las plantas. La dirección del sitio web de la SON es <https://nematologists.org/>.

**20. *Únase a nosotros*** Los campos de la nematología y la parasitología siempre necesitan expertos. Los parásitos me parecen fascinantes. Espero que este artículo le haya resultado informativo y agradable de leer. ¿Cree que la nematología podría interesarle?

### Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Retos

- **Objetivo 2. Acabar con el hambre.** La tierra cultivable de nuestro planeta es finita, por lo que los productores de plantas van a necesitar maximizar la productividad de esa tierra para alimentar y vestir (algodón y cáñamo) a una población creciente. Dado que los nematodos parásitos de las plantas reducen el rendimiento de los cultivos, minimizar su impacto redundará en un aumento de la productividad. El objetivo es hacerlo con un mínimo de insumos químicos, ya que muchos nematicidas (productos químicos que matan a los nematodos) suelen ser muy tóxicos, persisten en el suelo y suponen un riesgo para el medio ambiente (contaminación de las aguas subterráneas) y la salud humana (carcinógenos).

Por otra parte, la mayoría de los nematodos presentes en los suelos de alta calidad se alimentan de bacterias y hongos. La alimentación de los nematodos que se alimentan de bacterias tiene como resultado el reciclaje de nutrientes, sobre todo nitrógeno, ya que los productos de desecho de los nematodos son el amoníaco y, en menor medida, la urea (hay otros). Tanto el amoníaco como la urea pueden ser utilizados por las plantas para su crecimiento y los nematodos que se alimentan de bacterias excretan estas sustancias en la superficie de las raíces, donde suelen colonizar las bacterias. Si es posible, deben tomarse medidas para aumentar el número de este tipo de nematodos en el suelo.

Para ello será necesario conocer la biología y ecología de estos nematodos. ¿Qué condiciones favorecen su florecimiento? Como productores de plantas, ¿qué medidas pueden tomarse para aumentar su presencia en el suelo? En los últimos 50 años, los nematólogos han hecho grandes progresos en la comprensión de los efectos de estos nematodos, pero aún queda mucho por aprender.

## Un marco educativo de microbiología centrado en la niñez

aprovechar sus capacidades para fertilizar las plantas de forma natural. La formación y contratación de más nematólogos es esencial para la educación y la investigación.

- **Objetivo 13. Combatir el cambio climático.** La liberación de carbono a la atmósfera desde el suelo contribuye al calentamiento del planeta. Los nematodos son los animales más abundantes en la mayoría de los suelos, por lo que parece obvio que desempeñan un papel en las redes tróficas del suelo a través de los impactos de sus interacciones con las plantas y otros organismos. La alteración del suelo mediante el cultivo y la labranza suele provocar la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera. A medida que los agricultores adopten cada vez más prácticas de labranza cero y labranza reducida, dependerán más de los organismos naturales del suelo para mantener suelos productivos, especialmente si estas prácticas se combinan con una reducción de los aportes de fertilizantes sintéticos y pesticidas. Será cada vez más importante comprender las funciones que desempeñan todos los nematodos en el ecosistema del suelo si los agricultores aplican prácticas agrícolas más sostenibles al depender menos de los combustibles fósiles.

Y: el secuestro de carbono por los suelos es actualmente un tema de gran interés en la búsqueda de soluciones al calentamiento global. ¿Es posible que los nematodos que habitan en el suelo desempeñen un papel (primario, secundario, terciario) en la eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera?