



# **Los nemátodos y la Tierra**

conservación y  
medición de los  
cambios en el suelo

Hugo H. Mejía Madrid



Los nemátodos son los metazoarios más abundantes que existen en nuestro planeta. Alguna vez J.B.S. Haldane dijo que el creador tiene cierta pasión por las estrellas y los escarabajos, los animales más diversos conocidos hasta ese momento en comparación con las aves y los mamíferos, que por entonces en su mayoría habían sido descubiertos. Pero no se conocía a fondo los nemátodos, de los cuales hasta la fecha se han descrito cerca de veinticuatro mil especies, de ellas doce mil son parásitos de animales y es entendible que hoy día éstos reciban mucha mayor atención y prensa que los de vida libre debido a que afectan directamente al ser humano y lo que come, mientras los otros son muy pequeños y sus efectos en los ecosistemas son aparentemente menos notables; sin embargo, su abundancia los hace resaltar.

Según Gregor Yeates, uno de los investigadores que han revolucionado recientemente el estudio de los nemátodos, en un metro cuadrado de suelo se han encontrado alrededor de 200 especies distintas con densidades de más de tres millones de individuos en algunos sitios. Esto ha llevado a estimar que existen, según un cálculo conservador, alrededor de un millón de especies de nemátodos, mientras otros han llegado a la audaz conclusión de diez millones de especies viviendo sobre y bajo tierra.

Debido a su ubicuidad, se encuentran en todos los hábitats imaginables:

pueden ser marinos, de agua dulce y terrestre; los hay parásitos de plantas, de animales, de hongos; viven en ambientes extremos: se les ha encontrado congelados (anhidrobiosis) en el suelo de la Antártida y a profundidades de cerca de 4000 metros en el fondo marino. Pero eso no es todo, se conocen al menos cuatro especies de nemátodos que habitan a un kilómetro de profundidad por debajo del suelo... ¡en la mina de oro Beatrix Au Mine en Sudáfrica! Se había tan sólo descubierto bacterias en esas zonas, pero los únicos organismos que las acompañan en tales sitios son los nemátodos que se alimentan de ellas. Además, se ha descubierto que pueden metabolizar aeróbicamente en ambientes hipóxicos en donde la presión parcial de oxígeno es de 0.4 kPa en experimentos con *C. elegans*. Es por eso que no ha faltado algún investigador que los clasifique al interior de los organismos "extremófilos". Los nemátodos son buenos bioindicadores de la "salud" de los ecosistemas en donde habitan, dada su abundancia, su ubicuidad y su contacto íntimo con el medio, como veremos más adelante.

#### Una forma de vida muy diversa

La forma del cuerpo de los nemátodos es sencilla al parecer, son como cilindros largos aguzados en ambos extremos, con uno más chato (cabeza) que otro (cola); pero si se les observa con

detenimiento encontraremos una enorme diversidad de formas, sobre todo en las estructuras bucales que, al ser estudiadas desde el punto de vista ecológico, nos ofrecen indicios sobre su papel en las redes tróficas del suelo y de las aguas, tanto marinas como continentales. Y aún más, nos pueden aportar información invaluable sobre los efectos de nuestras actividades en los servicios ecosistémicos gracias a los cuales hemos sobrevivido en este planeta desde el origen de nuestra especie.

En efecto, en las últimas dos décadas se ha descubierto que los nemátodos de vida libre son muy importantes en los ecosistemas: junto con otros metazoarios del suelo son responsables en su mayoría del recambio de materia orgánica que ocurre en los suelos que nos dan de comer. Esto no se debe a su tamaño, sino a su enorme abundancia. Por si fuera poco, los nemátodos comen de todo: hay desde los que son bacteriófagos hasta los que son carnívoros y practican el canibalismo; comen hongos, es decir, son fungívoros o bien son herbívoros fitoparásitos e incluso omnívoros. No existe un solo phylum de animales que vivan en el suelo que haya evolucionado en formas de alimentación tan diversas.

#### Los nemátodos y la salud del suelo

Los organismos del suelo probablemente representan tanto como 25% de las



1.5 millones de especies vivientes descritas a nivel mundial, esto es cinco veces más que su diversidad conocida en el dosel de los bosques. La pregunta obligada es: si los organismos del suelo son tan diversos, ¿por qué no pensar que pueden ser los mejores bioindicadores de la salud de los ecosistemas?

Se ha considerado que los bioindicadores son organismos sensibles a los cambios ambientales, por lo tanto, su estudio podría indicarnos sobre cambios de distintos tipos, por ejemplo, los causados por perturbación. Los organismos que habitan el suelo son sensibles a los cambios que allí ocurren y son mucho más fáciles de estudiar que las plantas mismas. Tan sólo la medición de ciertos parámetros en las plantas lleva a conclusiones de gran esca-



la. En cambio, los organismos del suelo se pueden estudiar puntualmente porque son pequeños y auxilian a detectar el estado de conservación o perturbación del suelo debido a la erosión inducida por pastoreo o tala de bosques (templados o tropicales, húmedos y secos, como los que tenemos en México), la presencia de fertilizantes químicos, el exceso de introducción de nitrógeno para aumentar la fertilidad de los suelos, la presencia de contaminantes de productos de fábricas que se pueden introducir al suelo por arrastre (lixiviación), la presencia de aceites, de petróleo, etcétera.

Por varias décadas los ecólogos pensaron que con sólo medir la distribución y abundancia de los organismos en una localidad se podría detectar perturbaciones ambientales, por ejemplo, detectando dominancia *vs.* equidad en las comunidades de organismos. Sin embargo, los nematólogos, como el holandés Tom Bongers, se dieron cuenta de que en distintos ambientes edafícolas los índices tradicionales de diversidad no detectaban ninguna diferencia entre un ambiente conservado y uno perturbado.

Pero eso no es todo. Los organismos del suelo que presenten las características de un buen bioindicador deben, además de ser altamente sensibles a la presencia de alteraciones de todo tipo en el suelo, tener un contacto íntimo con el mismo, ser fácilmente colectables (que su recolección no provoque destrucción o disminución considerable de sus poblaciones), que tengan poca movilidad y, principalmente, que representen a todos los segmentos (nodos) de una trama alimentaria, llamados grupos tróficos: bacteriófagos, fungívoros, herbívoros, carnívoros y omnívoros en un solo phylum. Únicamente los nemátodos, como hemos visto, cumplen



con tales requisitos a cabalidad; por no ser buenos dispersores, representan el "sello" de un tipo de suelo o vegetación.

Aunado a esto, la teoría acerca de los bioindicadores se encuentra más desarrollada en los nemátodos que en cualquier otro grupo de metazoarios del suelo. A diferencia de los monitoreos por bacterias, las cuales presentan muchas adaptaciones a los cambios ambientales, los nemátodos son más conservadores y fácilmente contables con un microscopio e identificables morfológicamente (físicamente), mientras las bacterias sólo se pueden identificar con técnicas de taxonomía molecular.

¿Qué dice la teoría sobre los nemátodos como bioindicadores? Sostiene que éstos representan a todos y cada





uno de los niveles tróficos de la trama alimentaria. Primero, debemos entender que un organismo cualquiera debe cumplir con todas las funciones de la vida: alimentarse, crecer, reproducirse y finalmente fenecer. Una medida utilizada en el monitoreo de la presencia de distintos grupos (familias generalmente o inclusive géneros) de nemátodos es su abundancia por cada grupo trófico. Esto llevó al nematólogo agrícola holandés Tom Bongers en los noventa a crear una medida ecológica que estimara no sólo la diversidad (como los índices de Simpson, Shannon, Brouillon, entre otros), sino la abundancia ponderada (en este caso que se multiplicaran aritméticamente) con un valor de 1, 2, 3, 4 y 5 a fin de medir la perturbación ambiental basándo-



se en la composición diferencial de los grupos tróficos de nemátodos. Los valores numéricos mencionados corresponden al espectro de estrategias de reproducción y ciclos de vida (longevidad) de los organismos, llamadas estrategias *r* y *K*, muy conocidas entre los ecólogos. Así, hay nemátodos que son estrategias *r* extremos, esto es, tienen longevidad corta, huevos pequeños, altas tasas de reproducción y pueden tener etapas de resistencia conocidas como larvas dauer (*dauer*, duración en alemán).

Bongers dio a estos gremios los valores 1 y 2, los primeros con larvas dauer y sin ellas los segundos. Ambos son bacteriófagos, se les considera coloni-



zadores y, por lo tanto, pioneros en la sucesión ecológica de los suelos. Los 1 son oportunistas enriquecedores, mientras que los 2 son también oportunistas pero generalistas. A los nemátodos fungívoros también se les incluye en este número. Los 3, 4 y 5 tienen longevidades mayores, huevos grandes, tasa de reproducción más baja y son generalmente carnívoros y omnívoros (5 y 4, respectivamente). A los herbívoros, por sus características tróficas, se les asigna el numeral 2. Esto quiere decir que los estrategias *K* extremos son los carnívoros, con el número 5.

Este índice se conoce como índice de madurez (MI por sus siglas en inglés) y puede tomar valores que van de 1, es decir, un suelo enriquecido (rico en bacterias, por lo tanto, materia orgáni-



ca como en el caso de una parcela recién abonada), hasta 5, un suelo estable, en el cual se encuentran todos los niveles tróficos de los nemátodos, del 1 al 5. Por lo tanto, un suelo perturbado, por ejemplo, con metales pesados, tendrá valores de 1 a 2 aproximadamente, lo cual indica que es imposible sostener poblaciones de nemátodos que requieren ambientes estables y poco o nada impactados.

Ahora bien, identificar los nemátodos podría parecer una tarea infranqueable. Sin embargo, en el caso de los estudios de ecología de nemátodos del suelo esta labor es factible una vez entendido que la interacción de taxonomía (morfológica y molecular) y ecología tienen lugar en el campo de la





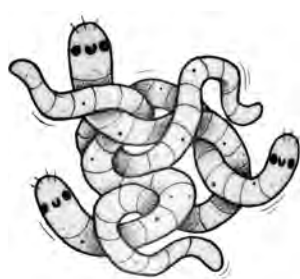
identificación de los grupos tróficos de nemátodos. Es aquí donde encontramos una de las más importantes interacciones de ambas disciplinas biológicas, algo que era inclusive epistemológicamente imposible hace apenas cincuenta años.

El aporte del cálculo del índice de madurez para la determinación del estado de perturbación de los suelos ha sido de suma importancia. Se han realizado estudios de contaminación don-

de la determinación de los índices de madurez ha sido concluyente.

Howard Ferris, de la Universidad de California en Davis, llevó a otro nivel el cálculo de los índices de madurez en de los noventa. En una serie de fórmulas y álgebra matricial logró conjuntar el aporte de los nemátodos al suelo en términos de respiración y biomasa, la huella metabólica (función) y la estructura (forma) de la comunidad de los nemátodos traducida a la estructura del ecosistema, lo cual toma en cuenta todas los niveles tróficos del mismo.

La huella metabólica del suelo es una medida indirecta que toma en cuenta dos componentes: la producción medida por la biomasa de éstos, que se obtiene de las miles de descripciones que



hay de nemátodos; su largo y ancho, esto es igual a  $Pt = Nt \cdot Mt / (cpt)$  en el cual  $Nt \cdot Mt$  es la medida de la biomasa del taxón y  $cpt$  representa el ciclo de vida ( $cp$  escala colonizador-persistente y  $t$  tiempo del ciclo de vida), ya que existe una relación entre la biomasa y el ciclo de vida. La taxonomía de los nemátodos de vida libre ha sido, por lo anteriormente expresado, instrumento para el cálculo de la biomasa de estos organismos mediante los niveles lineanos de géneros y familias.

El otro componente es el de la respiración, que se mide por la contribución de bióxido de carbono al sistema, expresada como,  $Rt = Nt \cdot Mt \cdot 0.75$ , que es

la fórmula de la tasa metabólica de los animales, lo cual indica que hay una relación directa entre biomasa y respiración. De esta forma se calcula la evolución de la tasa de respiración esperada y total de  $CO_2$  para todos los nemátodos del sistema, los indicadores de enriquecimiento (basal,  $c-p1$ , enriquecimiento,  $c-p2$ ), que son indicadores de la estructura de la trama trófica y conectividad y los taxones que participan en varios canales de flujo de energía. Esto equivale a expresar matemáticamente la huella metabólica como la sumatoria de toda la respiración de los nemátodos más la producción de biomasa, a saber:  $\Sigma (Rt + Pt)$ .

La medida directa del estado de salud de los suelos es la misma que la de la estructura del ecosistema, es decir, de las tramas tróficas, la cual es directa en este caso debido a que existe una correlación entre la complejidad de las tramas tróficas en las que participan los nemátodos y la salud del ambiente. Mientras más completas estén tales tramas (presencia de bacterívoros, fungívoros, fitófagos, carnívoros y omnívoros), mejores niveles de nitrógeno (C:N moderado) habrá en suelos maduros y



en suelos en maduración habrá mayor enriquecimiento de N (C:N bajo), de lo que se deduce que es una medida de la sucesión en el suelo, visto desde el punto de vista, muy completo, de los nemátodos. Esto ha servido para recomendar el uso menos intensivo de la labranza en los campos de cultivo, pues se ha visto que aumenta el enriquecimiento, lo cual se traduce en un aumento comparativo de nemátodos bacteriófagos.

Dado lo anterior, la medición de la abundancia de nemátodos en cualquier ecosistema, sea terrestre o marino, ofrecerá información que en el mediano y largo plazo pueda influir en establecer los estándares de los servicios ecosistémicos, acerca de los cuales todavía falta por conocer y sistematizar una gran cantidad de información.

### Los estudios de nemátodos en México

El primer estudio realizado en México para medir la biodiversidad de los nemátodos del suelo se realizó en Los Tuxtlas, Veracruz, con relación al uso intensivo del suelo, y se hicieron comparaciones de la diversidad de nemátodos en suelos de selva primaria, selva secundaria, pastizales y tierra cultivada con maíz. Allí se encontró una correlación positiva entre los nemátodos enriquecedores (bacteriófagos) en tierras de cultivo, donde la descomposición bacteriana es mayor, y los nemátodos ectoparásitos que se alimentan de la corteza de las raíces en selvas primarias y secundarias, donde la densidad de raíces con cortezas duras es más abundante por volumen de suelo.

Un segundo estudio realizado en el Valle de Tehuacán se efectuó sólo en época de lluvias e involucró nemátodos edáficos en la vegetación más abundante de esta parte del Valle de Tehuacán-Cuicatlán con el fin de conocer su

relación con la profundidad y abundancia, lo cual indica que no existen estudios comparativos de las costras de las plantas de forma estacional ni un buen conocimiento de la sistemática de los nemátodos de vida libre. En sus conclusiones, los autores aseguran que en la época de lluvias los nemátodos más abundantes son los fitoparásitos; sin embargo, hay estudios preliminares que indican que los nemátodos más abundantes son los omnívoros, obtenidos en las costras de las mismas especies de plantas (datos no publicados) y hay un cambio en la abundancia de los distintos grupos tróficos al pasar de la época de lluvias a la de secas.

Debido a que se requieren estudios comparativos entre distintos usos del suelo y suelos conservados, es necesario contar con un marco de referencia con respecto de los suelos poco perturbados que estén en proceso de recuperación o que no han sido cultivados durante largas temporadas (del orden de años) y su relación con el fenómeno de desertificación. Es en este contexto que se requiere contar con información de la diversidad de nemátodos que se encuentran en una de las coberturas vegetales más extensas de México, esto es, en los matorrales xerófilos y la selva baja caducifolia.

### Los nemátodos y el cambio climático

No podrían faltar los estudios sobre el efecto del cambio climático en los suelos del mundo. De nuevo, debido a que dichos organismos presentan los grupos tróficos más importantes, esto los hace un modelo único para estudiar dicho fenómeno en suelos. Uno de los estudios pioneros al respecto indica que existe una diferencia marcada entre las comunidades de nemátodos de suelos sujetos a altas temperaturas y



las de suelos normales, es decir, que están a temperaturas como las actuales; dicha diferencia consiste en la diversidad diferencial que hay entre suelos con mayor diversidad y aquellos suelos con monocultivos. Es decir, la mayor diversidad se encontró en suelos poblados con una cierta diversidad vegetal mientras que en monocultivos la diversidad es baja. Aun así, dada la alta temperatura en ambos, la diversidad de los nemátodos en suelos con plantas diversas está limitada a espe-




cies cercanamente emparentadas, lo cual podría representar un caso de vulnerabilidad ante cualquier cambio en el suelo que redundaría en impactos en otros niveles tróficos y en los phyla de animales y plantas.

### El futuro del estudio de los nemátodos

Los nemátodos son los mejores indicadores de salud del suelo, no solamente por sus características biológicas, sino porque su empleo se traduce en pro-

gramas de muestreo más baratos, menos impactantes para los ecosistemas y más eficientes. Donde interviene el músculo de los biólogos es en la determinación de los ejemplares, lo cual requiere cierta experiencia en laboratorio. Sin embargo, la publicación de claves locales, con profusión de dibujos y fotografías haría esta tarea mucho más fácil.

La diversidad de nemátodos de vida libre que existe en nuestro planeta es todavía insospechada; sin embargo,

sus estrategias de sobrevivencia parecen apuntar hacia una diversidad mucho mayor a la que se conoce hoy en día. Crípticos, anhidrobióticos, capaces de formar etapas de resistencia y que tan sólo requieren una delgada capa de agua para poder sobrevivir, sensibles a los cambios en el suelo, el clima y por contaminantes, los nemátodos poseen una marcada adaptabilidad a ambientes extremos. Son los candidatos ideales para heredar la Tierra una vez que nuestra especie se haya extinguido. 



**Hugo H. Mejía Madrid**  
Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bongers, T., 1990. "The maturity index, an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition", en *Oecologia*, núm. 83, pp. 14–19.  
Bongers, T. y H. Ferris. 1999. "Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring", en *Trends in Ecology and Evolution*, núm. 14, pp. 224–228.  
Ferris, H. 2010a. "Contribution of nematodes to the structure and function of the soil food web", en *Journal of Nematology*, núm. 42, pp. 63–67.

\_\_\_\_\_. 2012. "Nematodes as bioindicators", en *Practical Plant Nematology*, Manzanilla López, R. H. y N. Marbán Mendoza (eds.). Biblioteca de Agricultura Básica, Colegio de Posgraduados, México. P. 677–698.

\_\_\_\_\_. T. Bongers, R.G.M. De Goede. 2001. "A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept", en *Applied Soil Ecology*, núm. 18, pp. 13–29.

Freckman, D. 1982. *Nematodes in Terrestrial Ecosystems*. University of Texas Press.

Klass, J. R., D.P.C. Peters, J. M. Trojan y S. H. Thomas. 2012. "Nematodes as an indicator of plant–soil interactions associated with desertification", en *Applied Soil Ecology*, núm. 58, pp. 66–77.

Pen Mouratov, S., S. Rodríguez-Zaragoza y Y. Steinberger. 2008. "The effect of *Cercidium praecox* and *Prosopis laevigata* on vertical distribution of soil free-living nematode communities in the Tehuacán Desert, Mexico", en *Ecological Research*, núm. 23, pp. 973–982.

Urzelai, A., A. J. Hernández y J. Pastor. 2000. "Biotic indices on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems", en *The Science of the Total Environment*, núm. 247, pp. 253–261.

Wilson, M.J. y Kakouli-Duarte, T. (eds.). 2009. *Nematodes as Environmental Indicators*. CAB International.

Yeates, G.W., T. Bongers, R. G. M. De Goede, D. W. Freckman y S.S. Georgieva, 1993. "Feeding habits in nematode families and genera – an outline for soil ecologists", en *Journal of Nematology*, núm. 25, pp. 315–331.

#### IMÁGENES

P. 18: Alice Bea Guerin. P. 19: Sonja Kaski. P. 20 arriba: Patrik Carter; Katy Wiedemann; abajo: Gabriel Sakovitz; Ian Reynold. P. 21 arriba y abajo derecha: Ian Reynold; centro: Bella Mercer; abajo izquierda: Mariélla Myers. P. 22 arriba: Patrik Carter; en medio: Mirabelle; abajo izquierda: Eastlake; derecha: Michael Ribeiro. P. 23: Adriana Drae Malliarou; abajo: Natia Swampost.

#### NEMATODES AND THE EARTH: CONSERVATION AND MEASUREMENT OF CHANGES IN THE SOIL

**Palabras clave.** Nemátodos, suelo, abundancia, conservación, perturbación.

**Key words.** Nematodes, soil, abundance, conservation, disturbance.

**Resumen.** Los nemátodos edafícolas son monitores modelo de la salud del suelo debido a que en este phylum están representados todos los grupos tróficos. Los cambios en su abundancia son indicadores de perturbación o conservación en los suelos de todos los ecosistemas

**Abstract.** Soil nematodes are model monitors of soil health because in this single phylum trophic groups are entirely represented. Changes in their abundance indicate disturbance or conservation of soils in all ecosystems

Hugo H. Mejía Madrid. Biólogo por la Facultad de Ciencias, UNAM. Ha publicado cerca de 20 artículos relacionados con ecología y filogenia de nemátodos en general y un libro sobre parasitología molecular. Actualmente es profesor titular de tiempo completo de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Recibido el 1 septiembre 2017; aceptado el 7 agosto 2018.