

AGRICULTURA

CONTROL DE NEMATODOS CON AGUA OZONIZADA

1. QUÉ SON LOS NEMATODOS

Los nematodos (Del latín *Nematoda*, y este del griego νηματώδης *nēmatódēs* 'filiforme'), son un grupo diverso de animales con apariencia de gusano. Se encuentran prácticamente en todos los ambientes, siendo tanto parásitos como organismos de vida libre. Se trata, pues de gusanos, redondos o cilíndricos, generalmente de tamaño microscópico, aunque algunas especies pueden alcanzar varios metros de longitud.

Después de los protozoos, son el grupo animal más numeroso del suelo. De las 10.000 especies conocidas, solamente unas 1.000 habitan el suelo, aunque en una muestra de suelo, es posible que únicamente haya de 10 a 25 especies.

No participan directamente en la descomposición de la materia orgánica del suelo, son depredadores de otros microorganismos o parásitos de las plantas (fitoparásitos), y a su vez son parasitados o consumidos por otros organismos, como parte de la cadena trófica del suelo.

Los nematodos fitoparásitos se caracterizan por la presencia del llamado estilete, espina hueca por donde absorben la savia de las plantas. Dentro de las especies más corrientes se cuentan *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Ditylenchus* sp. (común en bulbosas, pero que puede atacar a otras muchas plantas), *Heterodera* sp., *Tylenchus* sp. (en frutales), etc.

Presentan altos niveles reproductivos, con 5 ó 6 generaciones anuales. Su ciclo de vida tiene una duración de unas 3-4 semanas en las condiciones más favorables.

No hay suelo que no tenga nematodos, aunque para producir daños, su número tiene que ser elevado y las especies de plantas, sensibles a ellos.

Los nematodos parásitos de plantas están asociados con el crecimiento de la planta y la producción del cultivo. Constituyen una limitación significativa para la agricultura

(sobre todo la de subsistencia) y son difíciles de controlar, ya que dañan las raíces de las plantas, introduciéndose en ellas y absorbiendo su savia. Paradójicamente, los síntomas inespecíficos causados por los nematodos se atribuyen habitualmente a otras causas que parecen más probables u obvias.

La realidad es que varios factores limitantes a menudo se combinan dando lugar a la **disminución de la producción agrícola** y es preciso cuantificar los principales factores limitantes de la producción, entre los cuales se incluyen los nematodos.

2. SÍNTOMAS DE LA INFESTACIÓN POR NEMATODOS EN LOS CULTIVOS

A nivel de campo, las enfermedades causadas por nematodos suelen manifestarse como rodales irregulares de crecimiento pobre, de forma circular o elipsoidal. Cuando se observan los síntomas más de cerca en la parte aérea de planta se observa atrofia vegetal, pérdida de vigor, clorosis foliar, marchitamiento, caída prematura de las hojas y senescencia. En las raíces, los nematodos pueden producir síntomas específicos como las agallas causadas por *Meloidogyne* spp., u otros más inespecíficos, como lesiones necróticas y pobre crecimiento radical.

El momento en que los síntomas se hacen visibles, depende de la población inicial del nematodo antes de la siembra o trasplante, la susceptibilidad del cultivo y las condiciones ambientales. Por ejemplo, cuando la población inicial es muy alta, los plantones pueden fallar en su desarrollo. Cuando las poblaciones iniciales son bajas, la expresión de los síntomas puede retrasarse hasta el final del ciclo de cultivo.

En general, todos estos síntomas son bastante inespecíficos y podrían estar causados por otros agentes patógenos, por lo que una correcta diagnosis nematológica debe estar basada no sólo en la observación de síntomas atribuibles a nematodos fitopatógenos sino además, en la confirmación del diagnóstico mediante el aislamiento del nematodo en laboratorio y la reproducción de los síntomas en el cultivo hospedador.

3. PÉRDIDAS OCASIONADAS POR NEMATODOS EN CULTIVOS

Dado que es difícil o imposible observar a simple vista los nematodos en el campo, y a que los síntomas que producen son a menudo inespecíficos, el daño que ocasionan frecuentemente se atribuye, como decíamos, a otras causas más evidentes, como estrés hídrico o causas nutricionales, que realmente también se dan como efecto secundario debido al daño que los fitoparásitos ocasionan en el sistema radicular.

Sin embargo, los nematodos pueden producir pérdidas en los cultivos mediante tres vías diferentes:

1. Como patógenos por sí mismos (*Meloidogyne*, *Globodera*, *Pratylenchus* y otros).
2. Como vectores de otros patógenos (*Xiphinema* es el transmisor del virus del entrenudo corto en viña).
3. Mediante interacciones con otros patógenos, (*Mesocriconema* y *Pseudomonas* interaccionan causando la muerte precoz en melocotón).

La severidad de la enfermedad y la magnitud de las pérdidas causadas por los nematodos dependen de diversos factores: como la especie y raza del nematodo implicado, la susceptibilidad del cultivo hospedador, la población inicial, además de otros factores como la humedad del suelo, necesaria para su movimiento o la temperatura que activa su metabolismo de forma que a mayor temperatura, mayores velocidad de desarrollo, infección y tasas de reproducción.

Los agricultores y los técnicos a menudo subestiman el efecto de los nematodos en los cultivos. No obstante, diversas fuentes han estimado que los nematodos reducen entre un 12% y 20% la producción agrícola mundial, lo que representa aproximadamente unos 135.000 millones de euros anuales (Hassan *et al.*, 2013). Los principales nematodos que afectan a los cultivos en España aparecen en la Tabla 1 (Andrés Yeves y Verdejo Lucas, 2011) y sólo en el cultivo de tomate se han estimado pérdidas en torno al 43% en cultivos al aire libre y al 36% en cultivos protegidos (Verdejo Lucas *et al.* 1994). En los cultivos hortícolas bajo abrigo del litoral almeriense, los nematodos agalladores, principalmente *Meloidogyne incognita* y *M. javanica*, son los que aparecen con mayor frecuencia, con un porcentaje de invernaderos infestados entre el 15 y 30%. Dentro de los invernaderos, el promedio de la superficie infestada por los nematodos está en torno al 20% y las pérdidas de producción cercanas al 33% (Flor

Peregrín *et al.*, 2012). Esta estimación de pérdidas probablemente sería aún mayor si no se usaran medidas de control nematológico.

Nematodo	Sintomas	Cultivos
<i>Meloidogyne</i>	Agallas en raíces Debilitamiento de la planta	Cereales, Frutales, Horticolas, Ornamentales.
<i>Pratylenchus</i>	Lesiones y destrucción raíces Debilitamiento de la planta	Cereales, Frutales, Horticolas, Leguminosas
<i>Globodera; Heterodera</i>	Cuentas de collar en raíces Debilitamiento de la planta	Cereales, Horticolas (Patata), Industriales (Remolacha)
<i>Ditylenchus</i>	Distorsiones en hojas y bulbos	Horticolas (Cebolla, Ajo), Alfalfa
<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Debilitamiento de la planta	Cítricos
<i>Xiphinema; Longidorus</i>	Debilitamiento de la planta Transmisores de virus	Frutales, Viñedo
<i>Trichodorus; Paratrichodorus</i>	Debilitamiento de la planta Transmisores de virus	Numerosos cultivos
<i>Aphelenchoides</i>	Distorsiones y necrosis hojas	Arroz, Ornamentales, Fresa
<i>Anguina</i>	Distorsiones espigas y granos	Cereales, Pastos

Tabla 1. Síntomas y cultivos susceptibles a los principales nematodos fitoparásitos en España.

El nivel de daño que causan los nematodos depende de una amplia gama de factores tales como su densidad poblacional, la virulencia de las especies o aislados, y la resistencia (habilidad de la planta de reducir la población del nematodo) o tolerancia (habilidad de la planta de rendir una cosecha a pesar del ataque del nematodo) de la planta huésped. Otros factores que también contribuyen, aunque en menor medida, son el clima, disponibilidad de agua, condiciones edáficas, fertilidad del suelo, y la presencia de otras enfermedades y plagas.

Sin embargo, aunque tengamos conocimiento de la relación nematodo-cultivo y los factores que la influyen, todavía queda mucho por aprender. Por ejemplo, en la mayoría de los casos se desconoce los umbrales del nematodo que causan daño en diversos cultivos en varias partes del mundo y la amenaza que estos representan para los mismos.

4. MÉTODOS DE CONTROL DE NEMATODOS

Dado que se trata de organismos microscópicos, para saber si un suelo tiene niveles altos de nematodos es necesario tomar una muestra de tierra y raíces y analizarla en laboratorios especializados.

Existen diversos métodos de control de nematodos que suelen ser utilizados en diferentes combinaciones para conseguir mayor efectividad, aunque el control total es

prácticamente imposible. Entre ellos se cuenta la solarización, control biológico, biofumigación, resistencia vegetal, barbecho y rotaciones con cultivos no hospedadores, vapor de agua, cultivos sin suelo, etc.

Todos los métodos de control mencionados tienen ventajas y limitaciones y ninguna estrategia por sí sola puede considerarse universalmente eficaz. Sólo unas pocas medidas muestran eficacias de control cercanas al 100% de protección (cultivo sin suelo, algunos fumigantes o el uso de cultivares resistentes), pero son vulnerables al uso prolongado en el tiempo, por lo que la gestión de las enfermedades causadas por nematodos, debe involucrar la acción combinada de varios métodos de control, adaptados a las condiciones agro-ambientales locales, y aplicados de forma secuencial o simultánea.

5. EL OZONO COMO MÉTODO DE CONTROL DE NEMATODOS

Todos hemos oído hablar del ozono refiriéndose al conocido agujero de la capa de ozono, o cuando en verano se disparan los niveles de contaminación atmosférica en las ciudades. Sin embargo, es más desconocida su faceta como biocida potabilizador de agua. En efecto, el ozono, el mismo compuesto que forma la capa protectora de la troposfera, presenta una gran capacidad desinfectante gracias a su poder oxidante. Este hecho explica que sea utilizado desde hace décadas en distintas potabilizadoras de agua de consumo humano (como las ETAP del Canal de Isabel II de Madrid), en procesos de desinfección en la Industria Alimentaria, así como en aplicaciones en aire para la conservación de alimentos y tratamientos de ambientes interiores.

Mucho más novedoso es su uso en agricultura, a pesar de que existen numerosos estudios al respecto (sobre todo en Estado Unidos) desde hace tiempo.

De hecho, en Cosemar Ozono hemos realizado varias instalaciones para tratamiento de agua de riego en distintas plantaciones, en principio con el único fin de asegurar que el agua del riego, no potable, no trasladase a los cultivos bacterias, virus y hongos patógenos presentes en dicha agua.

No es este, como decíamos, el primer ensayo realizado con el fin de determinar la idoneidad del ozono como desinfectante de suelos en agua de riego. Según el ITAGRA (Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario):

La desinfección de los suelos, se lleva a cabo frecuentemente en cultivos intensivos, y tiene el objeto de evitar las plagas que afectan a las plantas y que pueden hacer peligrar la producción de dicho cultivo. Las técnicas de desinfección física tienen como principal problema su elevado coste de aplicación, por la cantidad de mano de obra necesaria para su aplicación o su coste energético, mientras que la desinfección química tiene dos problemas principales: la elevada toxicidad de los productos químicos utilizados, que requiere una utilización especializada y cuidadosa, y la ilegalización de muchos de los compuestos utilizados para desinfección, de acuerdo con la “Lista Única Comunitaria de Sustancias Activas” (cuyas bases fueron marcadas por la Directiva 91/414/CEE y trasladadas en España al Real Decreto 2163/94).

El ozono sin embargo, es una sustancia de rápida biodegradación, y si poseyese capacidad desinfectante, su aplicación como fitosanitario redundaría en una mejora de la salubridad de la producción.

La acción biocida del ozono se debe fundamentalmente a los radicales activos que reaccionan con diversos componentes orgánicos de las células animales, vegetales y microorganismos. Estos mecanismos son muy poco conocidos, pero se basan en el alto potencial reductor o de oxidación que tienen las disoluciones de ozono.

El mecanismo de desinfección de la ozonización se basa en el alto poder del ozono como oxidante protoplasmático general. Esta condición convierte al ozono en un eficiente destructor de bacterias y la evidencia sugiere que es igual de efectivo para atacar virus, esporas y quistes resistentes de bacterias y hongos.

De igual manera, existen estudios que prueban la eficacia del ozono en la destrucción de huevos de nematodos.

Nuestra experiencia en cultivo de sandías demuestra como, tanto el crecimiento de las plantas como su vigor, han sobrepasado con mucho nuestras expectativas: no sólo el crecimiento, el tamaño de las flores y el vigor de las plantas es extraordinario, sino que no ha habido líneas infectadas por los hongos habituales (*Mycosphaerella*, *Fusarium* o *Phytium*), y no se ha perdido ni una sola planta.

Al estar el agua y el suelo desinfectados, y al ser el ozono también utilizado en pulverizaciones en lugar del sulfatado, se han evitado infecciones, como era de esperar. Pero además, los tallos son mucho más gruesos, las flores más grandes, y **las raíces se ven perfectamente hidratadas ramificadas y libres de nematodos.**

De hecho, el buen estado de las raíces, que aparecen hidratadas y muy ramificadas, podría justificar, de alguna manera, estos inesperados efectos del ozono. Tanto es así, que incluso se ha dejado de añadir nutrientes químicos al agua. Tampoco ha habido necesidad de aplicar fitosanitarios.

Como decimos, los resultados observados en las plantas regadas y pulverizadas con agua ozonizada fueron tan espectaculares que en la actualidad estamos realizando un estudio en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, “*Estudio de control de nematodos mediante agua ozonificada*” cuyo objetivo es evaluar la eficacia del agua ozonificada en control de nematodos en una explotación comercial de tomate y pepino, a fin de determinar los mecanismos de acción del ozono como nematocida, y poder así comprender y aprovechar mejor esta tecnología que, a diferencia de los plaguicidas habituales, no deja residuos perjudiciales ni en el suelo ni en los frutos.

Mar Pérez Calvo
Dr. en CC. Biológicas
Director Técnico de Cosemar Ozono