

Agallas inducidas por *Meloidogyne* sp. en raíces de tomate y masas de huevos expuestas sobre la superficie de la raíz teñidas de azul-verdeoso con Erioglaurine 0.1 gramo/litro para facilitar su conteo (M. López-Gómez).

**Soledad Verdejo-Lucas**

Área de Protección Vegetal Sostenible.  
IFAPA. Centro La Mojonera. La Mojonera, Almería

**F. Javier Sorribas**

Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología.  
Universitat Politècnica de Catalunya. Castelldefels, Barcelona.

**Miguel Talavera**

IFAPA, Centro Alameda del Obispo, Córdoba.

Correo electrónico  
soledadverdejo@gmail.com, francesc.xavier.sorribas@upc.edu, miguel.talavera@juntadeandalucia.es

## Los nematodos en el tomate: ¿riesgo emergente o persistente?

Los nematodos fitoparásitos son patógenos causantes de enfermedad. Las especies de *Meloidogyne* son los nematodos que principalmente afectan la funcionalidad de las raíces de tomate al interferir con la absorción de agua y el transporte de nutrientes. Los nematodos son los enemigos ocultos, puesto que no se ven pero sí sus efectos nocivos sobre la planta a densidades altas de población. Son difíciles de controlar, ya que a pesar de reducir sus densidades aplicando medidas de control, éstos persisten para causar daño económico en un plazo de tiempo variable según la gestión que se realice de la explotación. Además de las especies de *Meloidogyne* presentes en España, otras especies exóticas, capaces de adaptarse pueden ser introducidas generando nuevos problemas, por lo que constituyen un riesgo emergente.

Los problemas nematológicos en el cultivo de tomate se deben a *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* seguidas de *M. arenaria*. En zonas de tomate en monocultivo predomina *M. javanica*, mientras que *M. incognita* domina en las de pimiento (Flor-Peregrin y col., 2012). Algunas especies exóticas del nematodo representan un riesgo emergente ya que pueden sobrevivir y desarrollarse en nuestras condiciones agroclimáticas y disponen de una amplia gama de huéspedes. Este es el caso de *M. ethiopica*, presente en Chile, muy adaptada a condiciones de clima mediterráneo. *Meloidogyne enterolobii* no es controlada por los genes de resistencia *Mi* en tomate ni *N* en pimiento, aunque su área de distribución en Europa se restringe actualmente a Suiza. Otra especie de riesgo es *M. luci*, detectada en Italia, Grecia, Eslovenia, Portugal y Turquía, y de la que se han descrito poblaciones virulentas al gen *Mi*.

Los nematodos se distribuyen en el suelo en agregados o focos. Su principal mecanismo de dispersión es pasivo mediante el movimiento de tierra, herramientas o material vegetal infectado. La distribución en focos posibilita aplicar medidas de control localizadas dirigidas únicamente al foco de infestación. La inducción de agallas en las raíces por *Meloidogyne* (Foto 1) permite identificar las plantas infectadas y utilizar ésta información para construir mapas de distribución, monitorear la evolución de la enfermedad tras un tratamiento y evaluar la eficacia del mismo.

Las medidas de control disponibles para gestionar los nematodos son diversas (Talavera y Verdejo-Lucas, 2015). Entre ellas, los cultivares resistentes de tomate portadores del gen *Mi* (híbridos de *Solanum lycopersicum* x *S. peruvianum*) son un método de control sostenible y económicamente rentable que reducen significativamente la reproducción de *M. incognita*, *M. javanica* y *M. arenaria* en comparación con los tomates susceptibles (Sorribas y col., 2005, Talavera y col., 2009). Los patrones de tomate aportan vigor a la variedad injertada, son resistentes a patógenos y toleran bajas temperaturas y salinidad. La eficacia de los

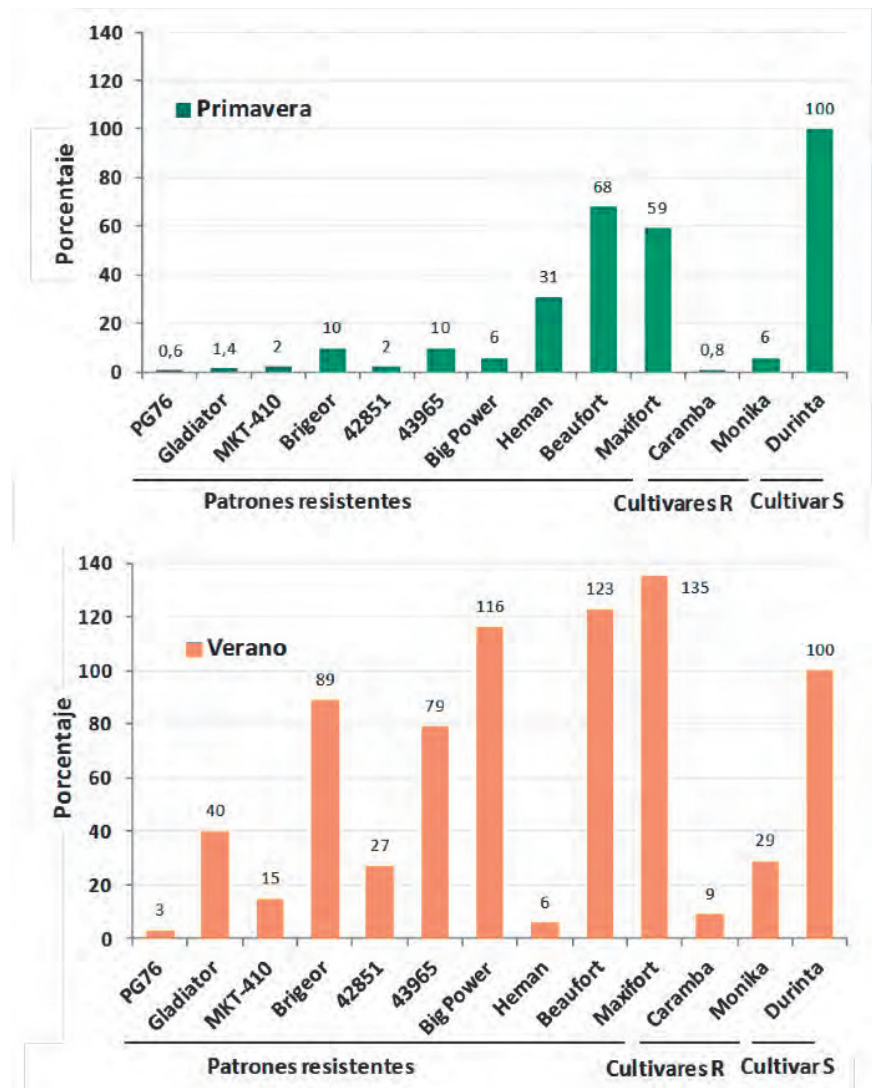


Figura 1. Índice de reproducción de *Meloidogyne javanica*, expresado en porcentaje de reproducción del nematodo en el tomate resistente referido a la reproducción en el tomate susceptible, en cultivares susceptible (S) y resistentes (R) y en patrones de tomate portadores del gen *Mi* de resistencia en primavera (grafico superior) y en verano (grafico inferior). Índices de reproducción <10% indican alta resistencia, valores entre 10% y 50%, resistencia intermedia, y >50%, susceptibilidad.

patrones con el gen *Mi* varía entre altamente resistente y susceptible (Figura 1) (Cortada y col., 2009, López-Pérez y col., 2006), mientras que la resistencia de otros patrones varía dependiendo del aislado del nematodo (Cortada y col., 2010). El fondo genético del patrón de tomate y la composición genética de la población del nematodo son la causa de dicha variación.

A pesar de las ventajas de la resistencia vegetal, ésta presenta limitaciones que deben remarcar para hacer un uso adecuado de la misma. El cultivo continuado de plantas resistentes en un mismo suelo es un riesgo para la durabilidad de la resistencia, ya que puede selec-

cionar individuos virulentos capaces de sobrepasar la resistencia (Verdejo-Lucas y col., 2009; Expósito y col., 2019) y esto ocurre de forma progresiva según la frecuencia con que se cultivan (Giné y Sorribas, 2017), o instantáneamente, cuando la población es naturalmente virulenta (Ornat y col., 2001). La Figura 2 muestra el incremento del parasitismo y de la enfermedad tras el cultivo repetido de tomate durante tres ciclos en un invernadero infestado con *M. javanica*. Las poblaciones virulentas se caracterizan por reproducirse en los tomates resistentes de forma similar que en los susceptibles (Verdejo-Lucas y col., 2009). El examen de poblaciones de *Meloidogyne* procedentes de invernaderos comerciales



de tomate indicó que un 48% de las mismas mostraban virulencia al gen *Mi*. (Verdejo-Lucas y col., 2013). La selección de poblaciones virulentas en los patrones de tomates sucede tras dos o tres ciclos de cultivo mientras que en los cultivares resistentes, la resistencia es más duradera (Verdejo-Lucas y col., 2009; Expósito y col., 2019).

Otra limitación de la resistencia conferida por el gen *Mi* es que su expresión varía en función de la temperatura del suelo. Así, valores superiores a 28 °C reducen su expresión (Figura 1) y la resistencia se inactiva a temperatura continua de 32 °C durante 48 a 72 h (Dropkin, 1969). La expresión del gen *Mi* a altas temperaturas depende de los grados alcanzados (intensidad), duración de los periodos de elevada temperatura y de cuando suceden los picos de temperatura. Verdejo-Lucas y col. (2013) observaron que el gen *Mi* aún se expresaba cuando se producían picos intermitentes de temperatura superiores a 28 °C durante 7.5 h/día a lo largo del período experimental. Sin embargo, Cortada y col. (2008) señalaron la pérdida de la resistencia cuando los picos eran de 10-12 h/día y tenían lugar durante la primera semana post-infección. Los cultivares 'Caramba' y 'Firamó' y los patrones 'Morgan', 'King Kong' y 'Unifort' mostraron alta resistencia a *M. arenaria* y *M. javanica*, independientemente de los picos intermitentes de temperatura superiores a 28 °C, mientras que los patrones 'Multifort' y 'Maxifort' expresaron menor resistencia que los anteriores bajo las mismas condiciones experimentales (Figura 1). Con todo, los tomates con el gen *Mi* retienen parte de su resistencia, ya que el efecto puntual de las altas temperaturas es reversible (de Carvalho y col., 2015). Los tomates resistentes deben utilizarse considerando los factores que preservan su durabilidad. Se ha propuesto dos ciclos consecutivos de tomate resistente seguido de uno de tomate susceptible, como secuencia óptima de rotación para prevenir la selección de virulencia (Talavera y col., 2009). Para los patrones de tomate, será preciso establecer dicha secuencia para evitar la selección de virulencia. Recientemente, Expósito y col. (2019) observaron que la vi-

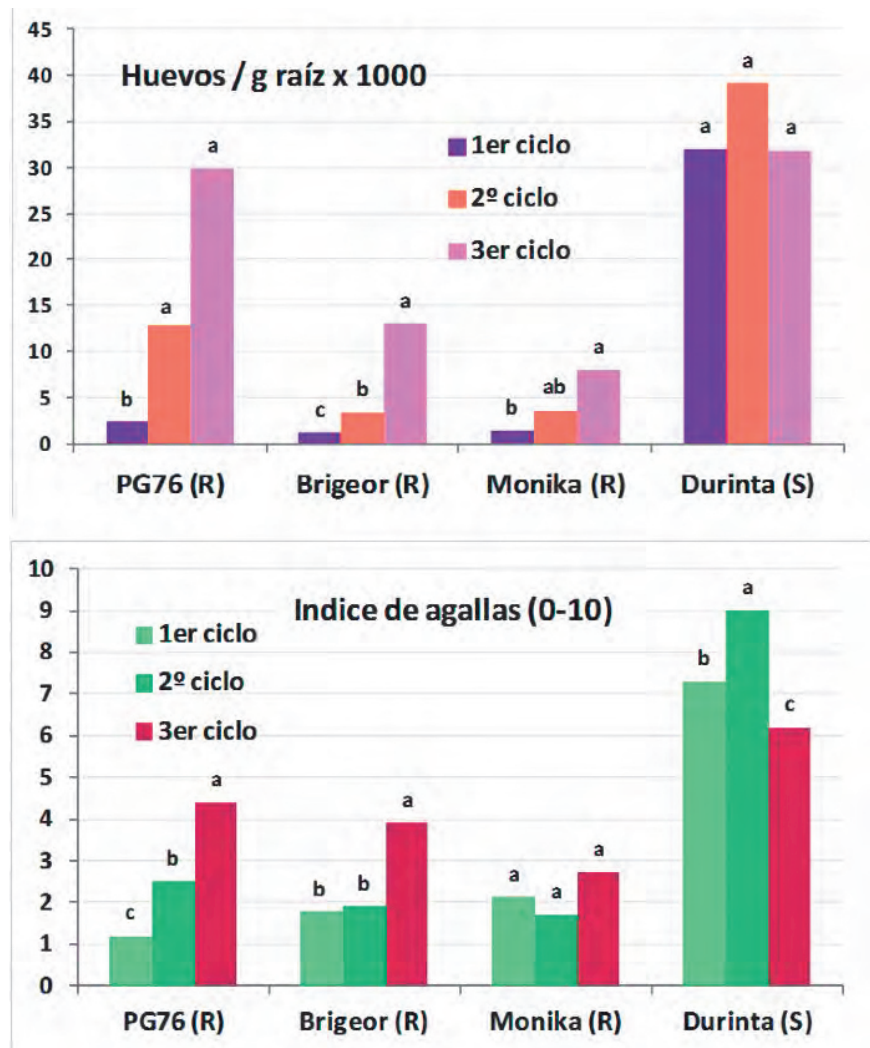


Figura 2. Incremento del parasitismo expresado en huevos por gramo de raíz (gráfico superior) y de la severidad de la enfermedad (gráfico inferior), basada en el índice de agallas en una escala de 0 a 10, tras el cultivo repetido del cultivar 'Monika' (R) y los patrones de tomate portadores del gen *Mi* de resistencia 'PG-76' (R) y 'Brigeor' (R) durante tres ciclos consecutivos de cultivo en un invernadero infestado con *Meloidogyne javanica*. El cultivar 'Durinta' (S) se utilizó como control de referencia. Barras con diferentes letras indican diferencias significativas de acuerdo con la Prueba LSD ( $P < 0.05$ ) entre los ciclos de cultivo para cada cultivar o patrón de tomate. (R) resistente; (S) susceptible.

rusencia seleccionada por el patrón 'Aligator' al finalizar el primer cultivo disminuía su nivel después del siguiente cultivo de melón injertado en *Cucumis metuliferus*. El tipo de patrón utilizado y los sucesivos cultivos en la rotación deben elegirse adecuadamente para evitar el fenómeno de la virulencia.

Otros aspectos influyen en la prevalencia de los problemas fitone-matológicos como son: i) el incremento del monocultivo de tomate y de otros cultivos, lo que favorece la persistencia del nematodo porque su ciclo vital no se interrumpe por ausencia de planta huésped; ii) el adelanto del trasplante del tomate de otoño a los meses de verano,

cuando prevalecen altas temperaturas, aumenta el riesgo de disminuir la expresión de la resistencia, y la prolongación de las mismas hasta finales de otoño favorece el desarrollo del nematodo ocasionando la aparición temprana de síntomas de daño y el acortamiento del ciclo productivo; iii) la aplicación de fumigantes a dosis inferiores a las recomendadas y sin sellado del suelo reduce la eficacia potencial de los mismos frente a nematodos; iv) la solarización realizada a temperaturas y/o durante tiempo insuficientes disminuye su eficacia potencial para el control del nematodo; v) El uso de patrones susceptibles al nematodo, como ocurre con la sandía, disminuye la eficacia de su rotación con to-

mate por dejar niveles poblacionales superiores al umbral de daño para el siguiente cultivo. El injerto con huéspedes pobres del nematodo y resistentes a enfermedades fúngicas, como son la sandía 'Robusta' o patrones de *Citrullus amarus*, puede revertir éste problema (García-Men-

dívil y col., 2019). El uso adecuado de las medidas de control en el marco de la gestión integrada permitirá mantener las densidades a niveles que no causen daño económico, a pesar de la persistencia del nematodo en la mayoría de los campos infestados.

## Bibliografía

- ! Cortada, L., Sorribas, F.J., Ornat, C., Kaloshian, I. Verdejo-Lucas, 2008. Variability in infection and reproduction of *Meloidogyne javanica* on tomato rootstocks with the *Mi* resistance gene. *Plant Pathology* 57: 1125-1135
- Cortada, L., Sorribas, F.J., Ornat, C., Kaloshian, I. Verdejo-Lucas, S. 2009. Patrones de tomate: Resistencia variable frente al nematodo *Meloidogyne*. *Horticultura* 212: 12-17.
- Cortada, L., Sorribas, F.J., Ornat, C., Andrés, M.F. Verdejo-Lucas, S. 2010. Patrones de tomate resistentes a *Meloidogyne*: Variabilidad de la respuesta de resistencia en función de la población del nematodo. *Horticultura Global* 288: 40- 45.
- de Carvalho L.M., Benda, N.D., Vaughan, M.M., Cabrera, A.R., Hung, K, Cox, T., Abdo, Z., Allen, L.H. Teal, P.E. 2019. Mi-1-mediated nematode resistance in tomatoes is broken by short-term heat stress but recovers over time. *Journal of Nematology* 47:133-140.
- Dropkin, V. H. 1969. The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne*: reversal by temperature. *Phytopathology* 59: 1632-1637.
- Expósito, A. , García, S. , Giné, A. , Escudero, N. Sorribas, F. J. 2019. *Cucumis metuliferus* reduces *Meloidogyne incognita* virulence against the *Mi1.2* resistance gene in a tomato-melon rotation sequence. *Pest Management Science* 75: 1902-1910.
- Flor-Peregrín, E., Talavera, M., Sayadi, S., Chirisa-Rios, M., Salmerón, T., Blanco, M., Verdejo-Lucas, S. 2012. Especies de *Meloidogyne* y su distribución en los cultivos hortícolas protegidos de Almería. *Agrícola Vergel* 361: 376-381
- García-Mendívil, H.A., Munera, M., Giné, A., Escudero, N., Picó, M.P., Gisbert, C., Sorribas, F.J. 2019. Response of two *Citrullus amarus* accessions to isolates of three species of *Meloidogyne* and their graft compatibility with watermelon, *Crop Protection* 119: 208-213.
- Giné, A, Sorribas F.J. 2017. Quantitative approach for the early detection of virulence selection of *Meloidogyne incognita* on resistant tomato in plastic greenhouse. *Plant Pathology* 66:1338-1344.
- López-Pérez, J., Le Strange, M., Kaloshian, I., Ploeg, A. 2006. Differential response of *Mi* gene-resistant tomato rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Crop Protection* 25: 382-388.
- Ornat C, Verdejo-Lucas, S. Sorribas F.J. 2001. A population of *Meloidogyne javanica* in Spain virulent to the *Mi* resistance gene in tomato. *Plant Disease* 85:271-276.
- Sorribas, F.J., Ornat C., Verdejo-Lucas. S., Galeano, M., Valero, J. 2005. Effectiveness and profitability of the *Mi*-resistant tomatoes to control root-knot nematodes. *European Journal of Plant Pathology* 111: 29-38.
- Talavera, M., Verdejo-Lucas, S., Ornat, C., Torres, J., Vela, M.D., Macías, F.J., Cortada, L., Arias, D.J., Valero, J., Sorribas, F.J. 2009. Crop rotations with *Mi* gene resistant and susceptible tomato cultivars for management of root-knot nematodes in plastic houses. *Crop Protection* 28: 662-667.
- Talavera M., Verdejo-Lucas, S. 2015. Gestión de nematodos fitoparásitos. *Horticultura* 316: 16-21
- Verdejo-Lucas, S., Blanco, M., Talavera, M., 2013. Detección de poblaciones virulentas de *Meloidogyne* frente al gen *Mi* de resistencia en tomate. *Phytoma* 245:22-26.
- Verdejo-Lucas, S., Cortada, L., Sorribas, F.J., Ornat, C. 2009. Selection of virulent populations of *Meloidogyne javanica* by repeated cultivation of *Mi* resistance gene tomato rootstocks under field conditions. *Plant Pathology* 58: 990-998.
- Verdejo-Lucas, S., Blanco, M., Cortada, L., Sorribas, F. J. 2013. Resistencia al nematodo *Meloidogyne* en patrones de tomate a temperaturas del suelo superiores a los 28°C. *Phytoma* 249: 24-29.