

Patrones de tomate

Resistencia variable frente al nematodo *Meloidogyne*

Estudio realizado para paliar los daños y pérdidas que causan los nematodos en el cultivo del tomate

L. Cortada¹, F. J. Sorribas², C. Ornat²,
I. Kaloshian³, S. Verdejo-Lucas¹

IRTA. Protecció Vegetal¹. Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. Universitat Politècnica de Catalunya². Departamento de Nematología, Universidad de California³.
soledad.verdejo@irta.cat

Los patrones de tomate se han propuesto como una alternativa no química al uso del bromuro de metilo. En este estudio se evaluó la respuesta de resistencia de diez patrones de tomate (comerciales y experimentales) a nematodos del género *Meloidogyne* mediante un ensayo de campo realizado en un invernadero de plástico cuyo suelo se hallaba infestado por *Meloidogyne javanica*. Al finalizar la campaña agrícola (marzo a julio), siete de los patrones ensayados mostraron altos niveles de resistencia, uno presentó resistencia intermedia y dos resultaron ser susceptibles al nematodo.

Los cultivares de tomate resistentes portadores del gen *Mi* son eficaces para el control de nematodos fitoparásitos del género *Meloidogyne* spp. y se pueden cultivar en suelos infestados sin que se produzca una reducción significativa del rendimiento del cultivo (Philis y Vakis, 1977; Rich y Olson, 1999; Sorribas et al., 2005). La resistencia vegetal también tiene un efecto beneficioso en los sistemas de rotación que introducen cultivos susceptibles al nematodo (Ornat et al., 1997), no comporta costes adicionales para el agricultor y resulta especialmente indicada en sistemas de producción sostenible como la producción integrada y la agricultura ecológica. Así, el Reglamento de la Producción Integrada de Cultivos Hortícolas Protegidos del año 2007 insta a emplear,

siempre que sea posible, el uso de cultivares resistentes o tolerantes a las enfermedades asociadas a cada cultivo. La mayor limitación que presenta la resistencia en tomate es que ésta deja de ser funcional cuando la temperatura del suelo supera los 28°C. En estas condiciones, el nematodo se reproduce en las plantas resistentes igual que en las susceptibles.

Sin embargo, a pesar de las ventajas citadas, el uso de tomates resistentes todavía no está ampliamente extendido como herramienta de control. Este hecho se

Una forma de aunar los intereses de los agricultores y de los consumidores y de superar las pérdidas causadas por los nematodos en tomate es el injerto de los cultivares susceptibles en patrones resistentes

debe a que ciertas variedades de tomate resistente no son demasiado apreciadas por los consumidores (ej. la piel del tomate resulta demasiado dura) y a la demanda creciente de los propios productores de variedades con alto rendimiento o con cualidades específicas (ej. tomates tipo Cherry o Raff).

Así pues, una forma de aunar los intereses de los agricultores y de los consumidores y de superar las pérdidas causadas por los nematodos en tomate es el injerto de los cultivares susceptibles en patrones resistentes. En la actualidad, el injerto de



hortalizas está en expansión en Europa y ha sido adoptado como una alternativa no química al uso del bromuro de metilo en numerosos países.

Las plantas injertadas, incrementan el vigor y el crecimiento de las plantas (Foto 1) y el rendimiento del cultivo en condiciones de estrés (ej. bajas temperaturas, salinidad o exceso de agua) (Iannou, 2001; Miguel, 2002; Lee, 2003). Los patrones de tomate además incorporan resistencia frente a otros patógenos como hongos y virus (Marín, 2005). En concreto, se han empleado para combatir al hongo *Pyrenochaeta lycopersici*, causante del acorchado de las raíces.

Sin embargo, la información disponible sobre la capacidad de los patrones de tomate de controlar el nematodo agallador se limita a unos pocos estudios que señalan grandes diferencias entre patrones respecto a la infectividad y reproducción del nematodo en los mismos (Graf et al., 2001; Miguel, 2002; López-Pérez et al., 2006; Verdejo-Lucas y Sorribas, 2008). Cortada et al. (2008) compararon la resistencia de un conjunto de patrones de tomate en condiciones controladas encontrando que ciertos patrones respondían consistentemente como altamente resistentes y otros, como completamente susceptibles. Así pues, el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de resistencia frente a *Meloidogyne javanica* de este conjunto de patrones de tomate en condiciones de campo bajo cubierta de plástico.

Material y métodos

Se ensayaron diez patrones de tomate,



Evaluación de la respuesta de resistencia de patrones de tomate frente a *Meloidogyne javanica* en un invernadero con cubierta de plástico.

1.- Comparación del vigor de una planta del patrón Maxifort sin injertar y del cultivar susceptible Durinta. Como puede observarse, el patrón (en segundo plano) presenta un elevado porte y frondosidad con hojas muy grandes y extensas comparado con el cultivar (primer plano).
2.- Vista general del invernadero con cubierta de plástico en el que se llevó a cabo el experimento.

disponibles comercialmente o en fase experimental, cuyas principales características se describen en la Cuadro 1. El estudio se realizó en un invernadero de plástico con un historial de problemas causados por *M. javanica*. Cada parcela experimental (3,4 m x 1 m) se compuso de dos hileras con seis plantas por hilera espaciadas 50 cm dentro de cada fila y de 55 cm entre hileras (Foto 2). Los cultivares de tomate resistente Monika y Caramba y el susceptible Durinta se incluyeron como controles de referencia frente al nematodo. Para determinar los niveles iniciales de infestación del suelo del invernadero, se recogieron muestras de cada una de las parcelas experimentales antes del trasplante (Cortada et al., 2008), detectándose unos niveles promedio de infestación de 2050 ± 900 de juveniles infectivos (J2) del nematodo en 250 cm³ de suelo. Las plántulas de los patrones sin injertar se trasplantaron el 15 de marzo y el cultivo

Cuadro 1:
 Características de los patrones y de los cultivares de tomate evaluados frente a *Meloidogyne javanica* en un invernadero de plástico durante un ciclo de cultivo.

Variedad	Disponibilidad	Empresa	Resistencias ¹
Patrones			
PG76	Experimental	Gautier Seeds	AR ² : TMV/ Fol:2 /For / Va/ Vd/ Pl/ Ma/ Mi/ Mj
Gladiator	Comercial	Rij Zwaan	AR: ToMV/ Fol 0, 1/ For/ Pl/ Va; MR: Mi
MKT-410	Experimental	Agrisets Seeds	No disponible
Brigeor	Comercial	Gautier Seeds	AR: TMV/ Fol:2/ For/ V/ Ma/ Mi/ Mj
42851	Experimental	Syngenta Seeds	No disponible
43965	Experimental	Syngenta Seeds	No disponible
Big Power	Comercial	Rij Zwaan	AR: ToMV /Fol 0-1, For/ Pl; MR: Mi
He-man	Comercial	Syngenta Seeds	AR: ToMV/ Va/ Vd/ Fol: 1, 2/ For/ Ff/ Sbl; MR: Ma/ Mi/ Mj
Beaufort	Comercial	De Ruiters Seeds	AR: ToMV/ Fol:0,1/ For/ Pl/ Va/ Vd/ Ma/Mi/ Mj
Maxifort	Comercial	De Ruiters Seeds	AR:ToMV/ Fol:0,1/ For/ Pl/ Va/ Vd/ Ma/ Mi/ Mj
Cultivares			
Caramba	Comercial	De Ruiters Seeds	AR: ToMV/ Ff:1-5/Fol:0,1/ Va/ Vd/ Ma/ Mi/ Mj
Monika	Comercial	Syngenta Seeds	AR: ToMV: 0-2/ Fol:1/ Va/ Vd; IR: Mi/ Ma/ Mj
Tyrmes	Comercial	Syngenta Seeds	AR: ToMV: 0-2/ Fol:1,2/ Va/ Vd; T: TYLCV
Durinta	Comercial	Western Seeds	AR: ToMV/ Fol:1-2/ Va/ Vd

¹Información obtenida directamente de los productores de semillas y de Marin (2005).

²AR: Altamente resistente; IR: Moderadamente resistente; T: Tolerante

TMV: Tobacco Mosaic Virus; ToMV: Tomato Mosaic Virus; TYLCV: Tomato yellow leaf curl virus; Ff: 1-5: *Fulvia fulva* races 1, 2, 3, 4, 5; Fol: 0-2: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races 0, 1, and 2; For: *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*; Pl: *Pyrenochaeta lycopersici*; Sbl: *Stemphylium botryosum* f. sp. *lycopersici*; Va: *Verticillium albo-atrum*; Vd: *Verticillium dahliae*; Ss: *Stemphylium solana*; Si: *Silvering*; Cmm: *Clavibacter* pv. *michiganensis*; Pst: *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*; Mi, Ma, Mj: *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica*.

se mantuvo hasta el 19 de julio de 2007. Al finalizar el ensayo, se determinó el índice de agallas (IA) como medida de la severidad de la enfermedad: las plantas fueron arrancadas del suelo con la máxima cantidad de raíces, se examinaron y se indexaron en base a una escala de 0 a 10, donde 0 equivalía a una planta sana con un sistema radical libre de agallas y 10 indicaba la muerte de las raíces y de las plantas infectadas (Zeck, 1971). Para evaluar la respuesta de resistencia de los patrones se determinó la reproducción del nematodo (huevos por gramo de raíz) mediante la maceración de las raíces (Cortada et al., 2008). Para clasificar la respuesta de resistencia de los patrones, se calculó el índice de reproducción (IR%) definido como la reproducción del nematodo (huevos/g de raíz) en un patrón resistente

respecto a la reproducción alcanzada en el control susceptible (Durinta), y expresado en porcentaje. Las categorías en las que puede clasificarse la resistencia de una planta en función de su IR% (Hadi-soeganda y Sasser, 1982) pueden observarse en la Cuadro 2.

Resultados

La media diaria de la temperatura del suelo en el invernadero de plástico desde el 15 de marzo al 19 de julio 2007 osciló entre los 15,1°C y los 28,5°C (x = 23,6 °C). La incidencia de la enfermedad en los patrones, medida como el número de plantas con agallas en las raíces, osciló entre el 12.5% (una planta infectada) en el patrón MKT-410 hasta el 100% en los patrones Brigeor, Beaufort y Maxifort.

En los restantes patrones la incidencia



Cuadro 2:

Clasificación de la respuesta de resistencia frente a *Meloidogyne* basada en el índice de reproducción (IR%) del nematodo calculado como la reproducción del nematodo en una planta resistente respecto a la reproducción en un control susceptible de referencia (Hadisoeganda y Sasser, 1982).

Categoría	Índice de reproducción (IR%)
Altamente resistente	$IR < 1\%$
Muy resistente	$1\% \leq IR < 10\%$
Resistencia intermedia	$10\% \leq IR < 25\%$
Moderadamente resistente	$25\% \leq IR < 50\%$
Susceptible	$IR \geq 50\%$

3.- Raíz de una planta del cultivar susceptible Durinta severamente agallada debido a la infección del nematodo *Meloidogyne*, en la que se observa como una gran parte del tejido radical se hallaba muerto al final del experimento (flechas negras). 4.- Sistema radical del patrón Maxifort. 5.- Sistema radical del patrón Beaufort. En el caso de Maxifort, la planta presenta una infestación masiva y gran profusión de agallas, mientras que en el caso de Beaufort se observa menor nivel de agallas pero una gran abundancia de masas de huevos en la totalidad del sistema radicular (puntos marrones).

osciló entre el 25% y el 62.5%. La severidad de la enfermedad, medida como el índice de agallas en los patrones y cultivares resistentes fue menor a la obtenida en el control susceptible Durinta (Foto 3), aunque los patrones Maxifort y Beaufort mostraron índices de agallas altos y moderadamente altos, respectivamente (Foto 4 y 5). La cantidad de huevos por gramo de raíz en los patrones y cultivares resistentes fue inferior a la alcanzada en el cultivar susceptible Durinta, a excepción de los patrones Heman, Beaufort y Maxifort, donde el número de Huevos por g de raíz no difirió del control susceptible (Figura 1). Por tanto, al final del ensayo se apreciaron diferencias en la respuesta de resistencia entre los distintos patrones cuyos índices de resistencia oscilaron entre el 1% (altamente resistente) y el 68% (susceptible) (Figura 2).

Discusión

Los resultados de este experimento de campo mostraron notables diferencias entre los patrones de tomate en cuanto a la incidencia y severidad de la enfermedad, así como en la reproducción de *M. javanica*. Del conjunto de los diez patrones evaluados, siete mostraron altos niveles de resistencia ($IR \leq 10\%$) (PG-76, Gladiator, MKT-410, Brigeor, 42851, 43965 y Big Power), Heman presentó resistencia intermedia ($10\% < IR\% < 50\%$) y Beaufort y Maxifort respondieron como susceptibles ($IR \geq 50\%$). La susceptibilidad del patrón Beaufort a poblaciones de *M. arenaria* y *M. incognita* ya había sido descrita por otros autores (Graf et al., 2001; López-Pérez et al., 2006), pero no había referencias sobre la susceptibilidad del patrón Maxifort. Así pues, estos dos patrones, definidos a nivel comercial como altamen-

te resistentes a *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* (Marín, 2005), respondieron como susceptibles a *M. javanica* de acuerdo con los criterios establecidos ($IR \geq 50\%$). Sin embargo, análisis previos mediante marcadores moleculares confirmaron la presencia del gen Mi de resistencia en Beaufort y Maxifort (Cortada et al., 2008). La discrepancia entre los resultados de los análisis moleculares (resistencia) y los resultados de campo (susceptibilidad) podrían deberse a una mutación espontánea en el gen de resistencia o a un proceso de silenciamiento génico causado por un fenómeno de metilación (Seah et al., 2007; Liharska, 1998). Una investigación más exhaustiva sería necesaria para poder determinar las causas de dicha susceptibilidad para poder así explicar, la falta de resistencia a *Meloidogyne* de estos dos patrones tanto en ensayos en maceta



Atlántica

Nemagold

Fitofortificante de origen natural frente a nemátodos, con fuerte efecto bioestimulante

CERTIFICACIONES ECOLÓGICAS



EMPRESA CERTIFICADA POR: FABRICANTE DE FERTILIZANTES



ATLÁNTICA AGRICOLA ESPAÑA C. Corredera, 33 C.P. 03400 VILLENA (Alicante)

Tel.: (34) 96 580 0358 Fax: (34) 96 580 0323 e-mail: info@atlanticaagricola.com - www.atlanticaagricola.com

Figura 1:

Reproducción (huevos por gramo de raíz) de *Meloidogyne javanica* en diez patrones de tomate, dos cultivares resistentes y un cultivar susceptible después de un ciclo de cultivo en un invernadero con cubierta de plástico infestado por el nematodo. Cada dato es la media de 8 plantas, excepto Durinta cuya media está compuesta de 12 plantas.

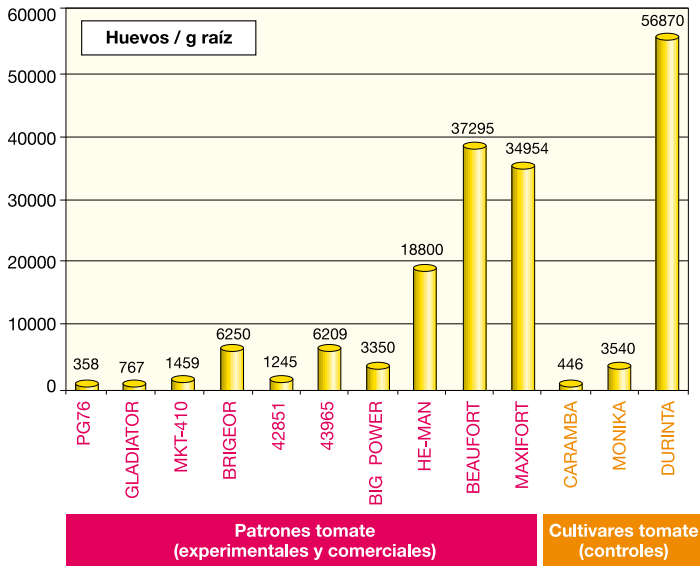
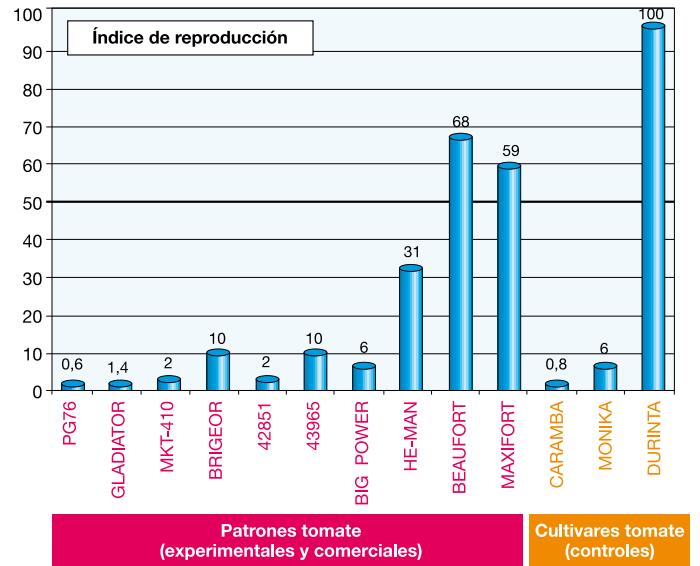


Figura 2:

Índice de reproducción (IR%) de *Meloidogyne javanica* en diez patrones de tomate, dos cultivares resistentes y un cultivar susceptible después de un ciclo de cultivo en un invernadero con cubierta de plástico infestado por el nematodo. Cada dato es la media de 8 plantas, excepto Durinta cuya media está compuesta de 12 plantas. La línea roja indica el valor del IR > 50%, a partir del cual se considera que una variedad de tomate es susceptible al nematodo.



(Cortada et al., 2008) como en condiciones de campo. La variabilidad en la respuesta de resistencia al nematodo observada en los patrones de tomate, en este experimento y en estudios previos (Cortada et al., 2008; Verdejo-Lucas y Sorribas, 2008) podría atribuirse en gran medida al trasfondo genético de los patrones ya que en este experimento todos los patrones se expusieron únicamente a una misma población de *M. javanica*. La reproducción del nematodo en una planta resistente es el resultado de la interacción ente el genotipo de la planta y la población del nematodo, pero ésta interacción no se explica por ninguno de los factores de forma individual (Jaquet et al., 2005). Si bien, la variabilidad en la infectividad y la reproducción del nematodo en cultivares resistentes de tomate había sido previamente documentada (Roberts y Thomason, 1989, Ornat et al., 2001, Jaquet et al., 2005), las diferencias observadas en los patrones resistentes, que implicaban cambios en la respuesta de resistente a susceptible, resultaron ser del todo inesperadas y difi-

les de explicar en patrones portadores del gen *Mi* de resistencia (Graf et al., 2001; López-Pérez et al., 2006, Cortada et al., 2008). El papel de la población del nematodo no fue abordado en este estudio aun-

Aunque el elevado vigor de los patrones pueda compensar las pérdidas de producción, el uso de variedades no resistentes en la lucha contra nematodos plantea numerosos inconvenientes a corto y a medio plazo para el agricultor

que también podría haber influido en las diferencias observadas en la respuesta de resistencia de los patrones. Los patrones Beaufort y Maxifort se comportaron como tolerantes al nematodo, es decir, el nematodo se multiplicó en ellos (Figura 1) pero

sufrieron menos daños en las raíces (menor IA) que el control susceptible Durinta (Figura 2; Foto 2).

Aunque el elevado vigor de los patrones pueda compensar las pérdidas de producción, el uso de variedades no resistentes en la lucha contra nematodos plantea numerosos inconvenientes a corto y a medio plazo para el agricultor. Por un lado, un incremento progresivo, campaña tras campaña, de la población del nematodo que queda remanente en el suelo puede resultar especialmente problemático cuando se intentan implantar sistemas de rotación de cultivos que incluyan especies o variedades susceptibles al nematodo después del cultivo de tomate (ej. rotación con calabacín). Este incremento continuado del inóculo remanente en el suelo puede provocar un aumento de las poblaciones del nematodo por encima del umbral de intervención, haciendo que la resistencia vegetal sea insuficiente para el control del nematodo, y por lo tanto la necesidad de aplicar otros métodos de control, como por ejemplo nematicidas, con el consi-

guiente encarecimiento de los costes de producción y de mano de obra. Hay que mencionar que actualmente el número de productos químicos de síntesis para el control de nematodos incluidos en el Anexo I de la nueva normativa europea sobre comercialización de productos fitosanitarios es muy reducido. Por último, otro de los interrogantes que plantea el uso de variedades no resistentes que presentan tolerancia al nematodo es cómo la tolerancia puede influir el incremento progresivo y continuado del inóculo en el suelo de cara a preservar la durabilidad de la resistencia de los patrones de tomate. Un aumento del número de individuos sometidos de forma continua a presión de selección del gen *Mi* de resistencia puede favorecer la reproducción de los individuos virulentos presentes en un campo en detrimento de los no virulentos, y finalmente, provocar la selección de una población virulenta que sobrepase la resistencia de los patrones de forma análoga a las resistencias que se producen hacia

ciertos antibióticos en seres humanos. La selección de poblaciones virulentas de *Meloidogyne spp* ha sido observada en patrones resistentes de pimiento después de tan sólo dos ciclos consecutivos de cultivo (Ros et al., 2004, 2006). Finalmente, se-

La aparición de poblaciones virulentas invalida totalmente el uso de la resistencia puesto que se trata de un carácter genéticamente estable que perdura en el tiempo, transmitiéndose de generación en generación

ñalar que la aparición de poblaciones virulentas invalida totalmente el uso de la resistencia puesto que se trata de un carácter genéticamente estable que perdura en el tiempo, transmitiéndose de generación en generación.

Por lo tanto, la correcta gestión de la

resistencia vegetal en los patrones de tomate no sólo es necesaria para reducir los niveles poblacionales del nematodos y por lo tanto evitar pérdidas económicas a corto plazo, sino también para garantizar a medio y largo plazo la utilidad de un método de control que ha demostrado ser muy efectivo en la lucha contra nematodos, barato, económico e inocuo para los seres humanos y el medio ambiente.

Agradecimientos:

- Este trabajo fue parcialmente financiado por una subvención de la Fundación Ramón Areces. La primera autora recibió una beca pre doctoral del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) para llevar a cabo esta investigación. Se agradece a las empresas de semillas la amabilidad de proporcionar gratuitamente semillas de los patrones de tomate para la realización de este trabajo. Así mismo, se agradece la asistencia técnica de O. Simón, V. Barnés, y O. Jurado.

La bibliografía de este estudio se encuentra en www.horticom.com?73645



ENVIRONMENTAL QUALITY
BIORREMEDIACIÓN DE LOS
SUELOS CONTAMINADOS



CARLA VAL ESPAÑA

AGRICULTURA

NUEVA ERA - NEW AGE

ECOBIOtecnología - ECOBIOTECHNOLOGY

BRIONHEIM - HUELQUEN

CARLA VAL DISPONE DE UNA EXTENSA LÍNEA DE PRODUCTOS DE LA MÁXIMA CALIDAD QUE HA SIDO DISEÑADA PARA ATENDER LAS DEMANDAS DE UNA COMUNIDAD SANA

AFIRMAMOS QUE LA CALIDAD NO ES CASUALIDAD SINO SIEMPRE EL RESULTADO DE LA UNIÓN DE ESFUERZOS INTELIGENTES



CARLA VAL ESPAÑA

INTERNATIONAL AGRICULTURA CORPORATION
Parque Industrial CIUDAD DE CARLET
C/ Xaloc, 7 - 46240 CARLET
Valencia-España (UE)
Tel. 0034 630 96 74 87
e-mail: carlaval@arrakis.es