

HORTICULTURA

Avances en la mejora genética de tomate para industria

G.S. Gallardo¹; R. Masuelli² y S. Ferrer²



¹INTA EEA La Consulta. CC 8 (5567) San Carlos, Mendoza. ²Laboratorio de Biología Molecular, INTA-FCA (UNCuyo). ggallardo@laconsulta.inta.gov.ar

Recibido: 2/3/12

Aceptado: 10/4/13

Resumen

Gallardo, G.S.; Masuelli, R. y Ferrer, S. 2013. Avances en la mejora genética de tomate para industria. Horticultura Argentina 32 (78): 5-14.

En el 2001, en la EEA La Consulta, INTA, se comenzó un trabajo de mejora genética en tomate para industria, asistido por marcadores moleculares, con el objetivo principal de generar cultivares autopolinizados, especialmente orientados a pequeños productores, como opción al uso de cultivares híbridas, resistentes a nematodos (*Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* y *M. javanica*), peste negra (TSWV) y peca del tomate (*Pseudomonas tomato syringae* pv. *tomato*). En el proceso de mejora se siguió el método de retrocruza y selección genealógica. Las determinaciones de marcadores moleculares fueron realizadas por el Laboratorio de Biología Molecular INTA-Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo). Las líneas

avanzadas fueron evaluadas en el Programa Tomate 2000, con testigos híbridos difundidos en el gran cultivo. De los materiales evaluados a 2010-11, se han identificado homocigotos para resistencia combinada a nematodos y peste negra; igualmente para nematodos, peste negra y peca del tomate y homocigotos a nematodos, peste negra y peca del tomate. También se han determinado materiales heterocigotos en distintas combinaciones de los genes bajo estudio. Líneas avanzadas del programa de mejora, no arrojaron diferencias significativas con los testigos híbridos, en ensayos comparativos de rendimiento (kg·ha⁻¹). Se analizan recomendaciones de cultivo y destino de los materiales.

Palabras clave adicionales: mejoramiento genético, biología molecular, marcadores moleculares.

Abstract

Gallardo, G.S.; Masuelli, R. and Ferrer, S. 2013. Advances in genetic breeding for processing tomatoes. Horticultura Argentina 32 (78): 5-14.

At the EEA La Consulta, INTA, a molecular assisted breeding program for processing tomatoes started in 2001 with the aim to generate self-pollinated cultivars, specially oriented for small growers. One of the main objectives of breeding program is the introduction of resistance to nematodes (*Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* y *M. javanica*), tomato spotted wilt virus (TSWV) and, tomato speck (*Pseudomonas tomato syringae* pv. *tomato*) as an alternative to use foreign and expensive hybrids cultivars. Breeding lines were obtained by pedigree and backcross selection methods. Early selection of resistant plants was done using molecular markers linked to nematode and TSWV. Molecular marker determinations were performed by the Laboratory of Molecular Biology of

the INTA-Faculty of Agricultural Sciences (UNCuyo). Advanced breeding lines were tested against commercial hybrids in the Tomato 2000 Program. From all the materials evaluated up to 2010-11, we have identified homozygous lines that combine resistance to nematodes and tomato spotted wilt virus; homozygous lines that combine resistance to nematodes, tomato spotted wilt virus and tomato speck and homozygous lines resistant to nematodes, tomato spotted wilt virus and tomato speck (in separate genotypes). Also, heterozygous lines in different combinations for the genes under study. In comparative trials, the yield (kg·ha⁻¹) of the new lines did not have significant differences from controls. Horticultural recommendations are discussed.

Additional keywords: genetic breeding, molecular biology, molecular markers.

1. Introducción

El cultivo de tomate para industria en Argentina tiene una larga tradición, que se remonta a los años '30 del Siglo XX y creció considerablemente a partir de la Segunda Guerra Mundial. Actualmente se cultivan alrededor de 7.500 ha, con una producción estimada de 380.000 t (Asociación Tomate 2000, 2010). En tecnología varietal, se han difundido y adoptados los híbridos, asociados a una técnica de manejo de cultivo de-

terminada. Si bien el alto valor unitario de la semilla híbrida se ha morigerado con la menor cantidad de plantas por hectárea, los costos igualmente se han elevado por el uso de plantines, producidos industrialmente. De cualquier modo, la aplicación de la tecnología INTA (Asociación Tomate 2000), por parte de los productores asociados, ha elevado considerablemente el rendimiento promedio por unidad de superficie.

Sin embargo, otra es la situación de los pequeños productores de tomate, unos 900 en Mendoza, la mitad

de los cuales hace cultivo, de esta especie, para industria (Dirección de Contingencias Climáticas, 2009). La mayoría de ellos son dependientes del turno de riego y no poseen los recursos estructurales y financieros para hacer frente a una inversión intensiva en capital. El caso es que, al margen de las técnicas de manejo, las opciones varietales autopolinizadas a los híbridos no existen con semejanzas competitivas. Las viejas cultivares han desaparecido del mercado (Gallardo, 2006; Gallardo, 1990) y las cultivares INTA de los años '80 y '90 (Gallardo & Calvar, 1992) solo tienen resistencia a nematodos o peste negra, no combinadas en una misma cultivar (Gallardo, 1988).

Si bien en una especie autógama como el tomate, los híbridos se justifican, en buena medida, por la protección comercial, inherente a su genotipo no reproducible, también es cierto que han representado un cambio tecnológico radical, por la acumulación de características superiores en un solo genotipo; por ejemplo, resistencias múltiples a plagas y enfermedades, mayor firmeza de frutos, maduración concentrada, etc. Esto también se puede lograr en cultivares autopolinizados, en trabajos de mejora de largo plazo, pero con la desventaja para los obtentores que sus productos (cultivares) pueden ser fácilmente apropiados, en las actuales condiciones de protección de la propiedad intelectual.

En estas circunstancias, en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) La Consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), se ha diseñado un plan de mejora para el desarrollo de cultivares y genotipos autopolinizados, que resultaran una opción varietal de calidad a los híbridos, fundamentalmente orientada a los pequeños productores de tomate para industria en la región de Mendoza y San Juan. Ello, sin perder de vista la importancia estratégica de generar germoplasma propio, aumentando la variabilidad existente en esta especie y convirtiéndola en disponible para nuevos planes de mejora a nivel local. Esto adquiere mayor relevancia, en las actuales condiciones, cuando las normativas de protección de la propiedad intelectual, dificultan la libre circulación del conocimiento y bienes tecnológicos a nivel internacional.

El plan de mejora genética ha contemplado, prioritariamente, el desarrollo de líneas y cultivares autopolinizadas resistentes a nemátodos (*Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* y *M. javanica*, peste negra (*TS WV*) y peca del tomate (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*), con los genes *Mi* (Gilbert & McGuire, 1955), *SW-5* (Stevens *et al.*, 1996; Stevens *et al.*, 1995; Stevens *et al.*, 1992) y *Pto* (Pitblado & Kerr, 1980), respectivamente, genes simples dominantes. Los genes

Mi y *SW-5* han sido introducidos en el tomate cultivado *S. lycopersicum* L., desde la especie silvestre *S. peruvianum* (Smith, 1944; Stevens *et al.*, 1992). La resistencia horizontal a enfermedades, reflejadas en un buen comportamiento sanitario general a campo, especialmente frente a las enfermedades mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*) y oidiopsis (*Leveillula taurica*), también ha sido registrada, así como la evaluación agronómica e industrial, en las condiciones locales de producción.

2. Materiales y métodos

Los trabajos de mejora se concentraron en el campo experimental de la EEA La Consulta del INTA y la evaluación de resistencia a nematodos y peste negra, por marcadores moleculares, en el Laboratorio de Biología molecular INTA-Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo).

2.1 Líneas en mejora y selección a campo

El germoplasma utilizado en el plan de mejora, proviene de la colección propia de la institución sede del programa, que incluye introducciones de especies silvestres de la Universidad de California, Davis, Estados Unidos.

En el proceso de mejora se siguió el método de retrocruza y selección genealógica. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las observaciones y determinaciones correspondientes al descriptor de International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), actualmente Biodiversity International, complementadas con las requeridas por el Instituto Nacional de Semillas (INASE), para el registro de variedades y las propias desarrolladas en el plan de mejora. Se informan las siguientes:

Generales: observación subjetiva.

- Sanidad: 1 a 5: mayor número mejor sanidad, previa a la cosecha.

Planta

- Tipo: determinada; indeterminada; semideterminada.

Fruto

- Forma.

- Color: observación subjetiva, 1 a 5, mayor número mejor color.

- Peso medio (g).

- Firmeza: determinación subjetiva, 1 a 5, mayor número mejor cualidad.

Pedicelo: expresión de genes *J+*; *J-2* y *J-2in*.

Industriales

- °Brix.

El material bajo estudio, en la campaña 2010-11, estaba entre generaciones F₂ y F₁₀ del cruzamiento original y generaciones de retrocruzas F₈R₁ a F₆R₄.

Los tratamientos fitosanitarios respondieron a un plan de control preventivo. Al momento del trasplante de los cepellones, las plantas se trataron por inmersión con un preparado de insecticida, fungicida y bactericida; a mediados de diciembre con fungicidas y bactericidas y a mediados de enero con fungicidas, bactericida y plaguicida.

Las evaluaciones y selecciones a campo comenzaron desde principios de floración, para algunos caracteres, como precocidad, sanidad y tipo de planta. La selección definitiva, con los primeros frutos maduros hasta maduración plena. A las plantas selectas se les extrajo semilla y parte de los frutos fueron utilizados para las determinaciones de °Brix, acidez y pH.

Para la resistencia a nematodos se realizó una adaptación del método de Laterrot (Laterrot, 1968; Gallardo, 1988) y luego con marcador molecular. Para la evaluación de resistencia a peca del tomate se aplicó el método Fenthion (Laterrot, 1985). En el caso de peste negra, se procedió, en una primera etapa, a la selección de líneas mediante observaciones subjetivas (líneas apareadas resistentes y susceptibles) y posteriormente mediante marcador molecular. Para la evaluación del comportamiento sanitario general se realizaron evaluaciones subjetivas.

Las líneas avanzadas fueron incluidas para su evaluación en ensayos comparativos de rendimiento (ECR), desde las generaciones tempranas, especialmente en el Programa Tomate 2000 (Asociación Tomate 2000, 2011; 2010; 2009; 2008), utilizando como testigos los híbridos identificados como superiores y de mayor difusión en el gran cultivo, por el mencionado programa. El diseño estadístico fue de bloques al azar con tres repeticiones. Se trasplantaron cepellones, al estado de tres hojas verdaderas expandidas, a 1,40 m entre líneas de plantas y con una distancia de plantación de 0,25 m, lo cual determinó 28.572 plantas·ha⁻¹. Para la evaluación de la producción de frutos (kg·ha⁻¹), se realizó el análisis de la varianza, con la prueba Duncan de medias, con nivel de significancia $\alpha = 0,05$. El programa estadístico utilizado fue INFOSTAT.

2.2 Análisis de marcadores moleculares

Stevens *et al.* (1996; 1995) desarrollaron el marcador *Sequence Characterized Amplified Region (SCAR)* 421 ligado, aproximadamente, a un centimorgan del gen *SW-5*. Este marcador es codominante, con una banda de 940 pares de bases (pb) para el resistente y de 900 pb para el susceptible. Por otro lado, Williamson *et al.* (1994) crearon un marcador *Cleaved Ampli-*

fied Polymorphism (CAP) ligado al gen *Mi*. El marcador CAP, REX-1, amplifica una banda de 750 pb tanto en el susceptible como en el dominante y es necesario cortar con la enzima *TaqI* para diferenciar los genotipos. Al cortar la banda de 750 pb con la enzima de restricción se logra diferenciar el genotipo susceptible del resistente, ya que el primero no cuenta con el sitio de corte y el segundo da lugar a dos bandas, una de 570 pb y otra de 180 pb.

Se desarrolló una técnica en la que se realiza una sola amplificación con los dos marcadores (SCAR 421 y REX-1) y al cortar con la enzima de restricción *TaqI* se genera un patrón de bandas que permite diferenciar los genotipos susceptibles y dominantes para ambos genes en una sola reacción (Tabla 1). Al cortar con la enzima el fragmento de 940 pb del resistente da origen a dos nuevos fragmentos, uno de 500 y otro de 440 pb. Por otro lado, la banda de 900 pb del susceptible da lugar a una banda de 500 y otra de 400 pb. Esta técnica, llamada *multiplexing*, permite acelerar el proceso de evaluación de las plantas para los dos genes, ha sido desarrollada por Masuelli *et al.* (2000).

Se extrajo ácido desoxirribonucleico ADN total de hojas, tanto de planta adulta como de cotiledones, a través del método de microextracción de Dellaporta *et al.* (1983). Las reacciones se realizaron en 20 µL de 10 mM Tris-HCl (pH 9,0), 4,0 mM MgCl₂, 50 mM KCl, 0,1 % Triton X-100, 100 µM de cada dNTP, y se agregó entre 3 y 7 ng de ADN genómico y 1 unidad de *Taq* ADN polimerasa (Promega Corp., Madison, Wis.). En la reacción *multiplex* se utilizaron los iniciadores REX-1 y REX-2 para amplificar el CAP REX (Stevens *et al.*, 1996) y para amplificar el SCAR 421, ligado al gen *SW-5*, se utilizaron los iniciadores 421-1 y 421-2. Cada iniciador se agregó a la reacción a una concentración de 0,6 µM. El termociclador MJ Research PTC-100 fue programado de la siguiente manera: un paso inicial de desnaturalización de 94 °C por 30

Tabla 1. Fragmentos que se esperan luego de la reacción *multiplex* para genotipos resistentes y susceptibles para los marcadores SCAR y Rex.

Genotipos		Tamaño de la banda (pb)	
TSWV	Nematodo	SCAR-421	Rex-1
Sw-5 ^a	<i>mi</i>	500; 440	750
Sw-5	<i>mi</i>	500; 400	750
Sw-5	<i>Mi</i>	500; 400	570; 180
Sw-5	<i>Mi/mi</i>	500; 400	750; 570; 180
Sw-5/sw-5	<i>mi</i>	500; 440; 400	750

^aSw-5 y sw-5 indican genotipos resistente y susceptible para TSWV, respectivamente. *Mi* y *mi* indican genotipos resistente y susceptible para el gen *Mi* de resistencia a nematodo, respectivamente.

segundos y luego 35 ciclos de 94 °C for 20 segundos, 55 °C por 20 segundos y 72 °C por 2 minutos, y un paso final de extensión de 72 °C por 5 minutos.

El producto de la reacción de la PCR *multiplex* se digirió con una unidad de la enzima *TaqI* (Promega, Madison, Wisconsin, Estados Unidos). La reacción de digestión se incubó por una hora a 65 °C. Los fragmentos de ADN que se obtuvieron de la reacción de restricción se resolvieron en un gel de agarosa al 1,5 % y la electroforesis horizontal se realizó a 5 V·cm⁻¹ y se coloreó con bromuro de etidio (0,5 µg·mL⁻¹) y se visualizó bajo luz UV. Los marcadores moleculares se evaluaron en base a los fragmentos generados de la técnica *multiplexing*.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 2, se han resumido los principales resultados obtenidos a la campaña 2010-11, con el genotipo correspondiente a los genes *Mi*, *SW-5*, al estado homocigotos o heterocigotos y *Pto*, con las características fenotípicas principales. De los 44 materiales, 16 han resultado homocigotos para resistencia combinada a nematodos y peste negra (*Mi/Mi*, *SW-5/SW-5*), cuatro resistentes homocigotos a nematodos y susceptibles a peste negra (*Mi/Mi*, *sw-5/sw-5*), ocho resistentes homocigotos a peste negra y susceptibles a nematodos (*SW-5/SW-5*, *mi/mi*), uno resistente homocigoto a nematodos y heterocigoto para *SW-5* (*Mi/Mi*, *SW-5/sw-5*), uno resistente homocigoto a peste negra y heterocigoto para *Mi* (*SW-5/SW-5*, *Mi/mi*), dos heterocigotos resistentes a peste negra y nematodos (*SW-5/sw-5*, *Mi/mi*), cuatro homocigotos resistentes a nematodos y peste negra y resistentes a peca del tomate (*Mi/Mi*, *SW-5/SW-5*, *Pto*), cuatro homocigotos resistentes a nematodos, resistentes a peca del tomate y susceptibles

a peste negra (*Mi/Mi-sw-5/sw-5*, *Pto*), tres resistentes a peca del tomate (*Pto*) y uno resistente a peca del tomate y homocigota susceptible a nematodos y peste negra (*Pto*, *m/m*, *sw-5/sw-5*).

Los resultados en la Tabla 2 han mostrado una amplia variabilidad en las características de los distintos materiales. El tipo de crecimiento de las plantas, en todos los casos, fue determinado, razón por la cual esta observación no ha sido incluida en la misma. Como se puede apreciar, la sanidad de los materiales ha sido diversa. En los once casos de mejor sanidad (4 a 5), los genotipos fueron resistentes a peste negra, con el gen *SW-5* al estado homocigoto o heterocigoto.

El color exterior de los frutos ha sido muy bueno a excelente (4 a 5), en todas las líneas. El espesor de mesocarpio, en general, resultó muy bueno a excelente (4 o 5), mientras que en dos casos, LC185 y LC592.1, varió entre bueno y muy bueno (3 y 4).

La firmeza de los frutos ha variado, en general, entre buena y muy buena; las líneas LC573.1 y LC55.3, han sido determinadas como muy buenas a excelentes.

En cuanto a la forma de los frutos, ésta ha variado dentro del tipo pera-oblongo. A través del tiempo, independientemente del destino industrial, la mejora varietal se ha orientado a materiales con esta forma, como la más común en tomate para industria.

En el caso del pedicelo, solo en tres líneas, LC418, LC197.1 y LC419, se presentó el pedicelo articulado (*J+*); todas ellas orientadas a germoplasma, por estas y otras características genotípicas y fenotípicas. El resto de las líneas mostró pedicelo no articulado (*J-2*), o articulado no funcional (*J2in*). Se prefieren estos genes, porque retienen el fruto maduro a la planta y a la cosecha se desprenden sin el pedicelo, especialmente el gen *J-2*, condiciones estas que favorecen tanto la cosecha manual como mecánica.

En la determinación de °Brix, 19 líneas expresaron



Figura 1. Línea de tomate LC55.3.



Figura 2. Línea de tomate LC270.

Tabla 2. Genotipo y fenotipo de los materiales evaluados.

Material	Genotipo ¹							Características fenotípicas								Destino ⁸
	MM	Mm	mm	SS	Ss	ss	Pto	Sanidad ²	Color ²	Mesocarpio ³	Forma ⁴	Peso (g)	Pedículo ⁵	Firmeza ⁶	°Brix ⁷	
LC36.3	x			x				3-4	4	4-5	RC	81	J-2	3-4	5,2*	G
LC39.1	x			x				3	4	4	RC	83	J-2	4	4,8	G
LC40.2	x			x				4	5	5	RC	95	J-2	3-4	4,4	G
LC44.2	x			x				4	5	5	RC	87	J-2	3-4	4,4	G
LC55.3			x	x				3	5	4	OP	69	J-2	4-5	5,2*	ECR**
LC103.M	x					x	x	3	5	4	OP	74	J-2	3	4,4	G
LC109	x			x			x	3	4	4	O	80	J-2	3-4	4,4	G
LC116	x					x	x	2	4	4	O	73	J-2	3	5,4*	G
LC121.1	x				x		x	4-5	4	5	O	83	J-2	4	4	G
LC126	x					x		4	4	4	O	92	J-2	4	4	G
LC134.1	x				x		x	4	5	5	O	91	J-2	4	4	G
LC166.1	x				x			5	4	4	O	84	J-2	4	4	Sel
LC169.1	x			x				5	5	5	O	75	J-2	4	4,8*	ECR*
LC173	x					x		4	5	4	O	69	J-2	3	4	G
LC182.1	x			x				4	4	4	RA	80	J-2	3-4	5,0*	ECR
LC183.1		x			x			4-5	5	4	OP	85	J-2in	4	5,0*	ECR
LC185	x			x				2	4	3-4	O	78	J-2	3	6,4*	G
LC197.1			x	x				5	5	5	OR	35	J+	2	6,0*	G
LC201	x					x		4	5	4	O	96	J-2	4	4	ECR
LC202.1	x			x				3-4	4	4	O	73	J-2	3	4,8	G
LC205	x			x				3	4	4	O	67	J-2	4	5,8*	ECR
LC207	x			x				5	4	4	O	98	J-2	4	4	ECR**
LC207.1	x			x				3	5	5	O	73	J-2	4	5,6*	ECR**
LC210	x			x				4	5	4	O	84	J-2	4	4,4	ECR
LC267			x	x				3	5	4	OP	99	J-2	3-4	4,4	Sel
LC269			x	x				3	4	4	OP	96	J-2	3-4	4,2	G
LC270			x	x				5	4	5	O	72	J-2	4	5,8*	Sel
LC293			x	x				3	5		OP	66	J-2	3-4	4,8	G
LC365	x			x			x	4	5	4	O	83	J-2	4	4,2	ECR**
LC368	x			x			x	2	4	5	OP	80	J-2	4	5,6*	ECR
LC376.83	x			x			x	3	5	4	O	64	J-2	3	6,0*	G
LC400	x			x				4-5	5	5	O	75	J-2	4	4,2	Sel
LC416.17							x	3	4	4	O	59	J-2	3-4	5,4*	G
LC418			x			x	x	4	4	5	O	66	J+	3	5,0*	G
LC419							x	4	4	5	O	63	J+	3	5,0*	G
LC442			x	x				3-4	4	5	O	68	J-2	4	4,6	G
LC457			x	x				3-4	4	5	O	89	J-2	4	4,4	G
LC511	x				x			5	4	5	OR	81	J-2	3	5,0*	Sel
LC524		x			x			5	4	5	OP	76	J-2	3	5,2*	Sel
LC526							x	3	4	5	RC	57	J-2	3-4	5,4*	G
LC573.M	x			x				4	5	4	OP	68	J-2	4-5	4	G
LC579.M		x		x				4	4	4	OP	82	J-2	3-4	4,4	G
LC592.1	x			x				3	4	3-4	OP	72	J-2	4	4,8	G
LC740.3	x			x				4-5	5	4	OP	62	J2	3-4	5,3*	ECR**

¹MM, homocigoto para el gen *Mi*; Mm, heterocigoto para *Mi*; mm, homocigoto no resistente. SS; homocigoto para el gen *SW-5*; Ss, heterocigoto para *SW-5*; ss, homocigoto no resistente. ²Observación subjetiva; escala de 1 a 5, mayor número mejor cualidad; 1: mala, 3: buena; 5: excelente. ³Observación subjetiva; escala de 1 a 5, mayor número más espesor. ⁴O, oblongo; OP, oblongo pera; OR, oblongo rectangular; RA, redondo-alto; RC, redondo-cuadrado. ⁵J-2, no articulado; J-2in, articulado no funcional; J+, articulado. ⁶Evaluación subjetiva ejerciendo presión sobre el fruto con los dedos; escala de 1 a 5, mayor número mejor cualidad; 1: mala, 3: buena; 5: excelente. ⁷*superan la media = 4,8 °Brix. ⁸Orientación de trabajo en el programa; G, gemoplasma-plan híbridos; Sel., continuar selección; ECR, ensayo comparativo de rendimiento, **ECR y difusión inicial experimental.



Figura 3. Línea de tomate LC382.1.

valores por encima de la media (4,8) y de ellas siete alcanzaron valores superiores a 5,5 °Brix (LC185, LC 205, LC270, LC368, LC376.83, LC197.1, LC207.1), considerados muy elevados en la industria conservera del tomate. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la manifestación de los sólidos solubles, es ampliamente influenciada por el medio ambiente.

Los registros genealógicos, las observaciones y determinaciones realizadas, los resultados de los ECRs y parcelas demostrativas han orientado el tratamiento a seguir con los distintos materiales, lo cual se puede apreciar en la columna "Destino" de la Tabla 2.

3.1 Ensayos Comparativos de Rendimiento (ECR)

En las Tablas 3 a 6 se resumen los resultados de los ECR, desde la campaña 2006-07 a 2010-11.

En la Tabla 3, campaña 2006-07, se observa la primera evaluación de las líneas superiores con un testigo comercial (Choele F1), en rendimiento total, que es un buen índice de rendimiento potencial, que era del interés del programa de mejora, evaluar en ese momento. El mejor comportamiento, en este aspecto, correspondió a la línea LC 592, aunque sin diferencias significativas con los cinco primeros rendimientos, entre los cuales, el tercer lugar lo ocupó el testigo.

En la campaña 2007-08 y siguientes, la evaluación de las mejores líneas se realizó en los ECR del Programa Tomate 2000, donde se hace un riguroso análisis de la aptitud agronómica e industrial de las cultivares, comparados con testigos híbridos de amplia difusión en la región, lo que permite identificar los materiales promisorios, para su difusión inicial.

En la campaña 2007-08, Tabla 4, las líneas LC 383.2 y LC333.1 dieron la mejor expresión de rendimientos en producción comercial y total, sin diferencias significativas con el testigo híbrido Choele. Estos tres materiales difirieron significativamente con LC 391.1.

En frutos rajados, una de las evaluaciones que determina la adaptación a cosecha mecánica, LC383.2 ha tenido el más bajo porcentaje (22 %).

Tabla 3. Rendimiento Total. Campaña 2006-07.

Cultivar	Rendimiento total ¹ (t·ha ⁻¹)
LC592	149,4 a
LC676	132,3 ab
Choele	130,4 ab
LC765	127,6 ab
LC634	113,6 abc
LC755	104,7 bc
LC591	102,0 bc
LC752	81,9 c

¹Duncan (P ≤ 0,05); CV: 16 %.

Tabla 4. Análisis agroindustrial y características varietales. Fuente: Asociación Tomate 2000, 2008.

Cultivar	Producción comercial ¹ (t·ha ⁻¹)	Producción total ¹ (t·ha ⁻¹)	Peso frutos (g)	Precocidad ²	Frutos rajados ³ (%)	Mesocarpio (mm)	Sanidad ⁴	Frutos rojos con pedicelo ⁵ (%)	Índice de concentración ⁶	°Brix	Resistencias ⁷
LC383.2	98,1 a	136,6 a	75	84	22	6,1	3,2	0,0	76	4,1	N-TSW
LC333.1	96,4 a	165,5 a	84	84	44	6,2	3,8	0,8	62	4,8	N-TSW
Media	85,7	133,7	80	79	29	6,1	3,4	4,0	70	4,6	
Choele	84,4 a	118,9 a	78	74	25	6,9	3,0	12,0	78	4,5	V-F-F-N-Ps-TSW
LC391.1	63,8 b	113,7 a	83	75	27	5,2	3,7	3,3	64	5,1	N-TSW
C.V. (%)	12,2	16,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Duncan (P ≤ 0,05). ²Días a maduración. ³Porcentaje de frutos comerciales con rajaduras > a 5 mm arrojados desde 1,50 m de altura. ⁴Mayor número mejor sanidad. ⁵A cosecha, después de cortada y sacudida la planta. ⁶100 menos la suma de frutos verdes y maduros (%), > a 85 = alta, de 75 a 85 = media y <75 = baja. ⁷V: *Verticillium dahliae* raza 1; FF: *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lycopersici* raza 1 y 2; N: nematodos; Ps: peca del tomate; TSW: peste negra.

En espesor de mesocarpio el testigo tuvo el mejor valor, que supera en 0,8 y 0,7 mm a LC383.2 y LC 333.1, respectivamente.

En sanidad se destacó LC333.1. En la evaluación de frutos rojos con pedicelo, luego de sacudir la planta, técnica que evalúa aptitud para cosecha mecánica, LC383.2 no presentó frutos con pedicelos adheridos.

El mejor índice de concentración correspondió al testigo, Choele, seguido por LC383.2. La mejor expresión en °Brix, correspondió a LC391.1.

En la campaña 2008-09,

Tabla 5, el híbrido PS 2510198 presentó los mejores rendimientos en producción comercial y total, sin diferencias significativas, en el primer caso con LC 740.3 (LC333.1 campaña previa) y en el segundo, solo con LC16-M. En producción comercial, LC740.3 superó al otro testigo híbrido, Choele, con diferencia significativa. En frutos rajados, LC739.2 (LC383.2 campaña previa), tuvo el más bajo porcentaje (17 %).

En espesor de mesocarpio se destacó LC740.3, por encima de los dos testigos híbridos, al igual que en sanidad, junto con LC 739.2.

En la evaluación de frutos rojos con pedicelo, ambos testigos híbridos obtuvieron los porcentajes más bajos. El mejor índice de concentración correspondió al híbrido PS 2510198.

La mejor expresión en °Brix fue de LC740.3. Nuevamente en esta campaña, las líneas LC740.3 y LC 739.2, mostraron su alto potencial de rendimiento, buena sanidad y porcentaje de frutos rojos sin pedicelo.

La evaluación de los técnicos de Tomate 2000 (Asociación Tomate 2000, 2009) destacó la buena productividad de LC740.3, los altos °Brix, buena cobertura (del follaje sobre los frutos) y sanidad. Sin embargo, estimaron que su índice de concentración no fue apropiado para cosecha mecánica. De cualquier modo, se desprende que el rendimiento por unidad de superficie de °Brix aumentaría su valor agroindustrial para la elaboración de pastas, en compa-

ración con materiales de menor expresión en este índice.

En la Tabla 6 se consignan los datos correspondientes a la campaña 2009-10. Las líneas LC55.3 (LC739.2-

Tabla 5. Análisis agroindustrial y características varietales. Fuente: Asociación Tomate 2000, 2009.

Cultivar	Producción comercial ¹ (t·ha ⁻¹)	Producción total ¹ (t·ha ⁻¹)	Peso frutos (g)	Precocidad ²	Frutos rajados ³ (%)	Mesocarpio (mm)	Sanidad ⁴	Frutos rojos con pedicelo ⁵ (%)	Índice de concentración ⁶	°Brix	Resistencias ⁷
PS 2510198	83,1 a	102,59 a	64	74	41	6,1	2,8	1,5	94	4,6	V-F-F-N-TSW
LC740.3	74,5 ab	96,84 ab	59	83	48	7,0	3,5	6,8	84	5,3	N-TSW
Media	63,6	83,5	64	75	36	6,4	3,1	13,0	88	4,9	
LC739.2	62,0 bc	78,16 ab	70	87	17	6,0	3,7	0,3	88	4,7	TSW
Choele	61,4 bc	77,86 ab	67	71	35	6,8	3,0	15,0	92	5,2	V-F-F-N-Ps-TSW
LC58.4	50,8 c	77,37 ab	58	67	48	5,9	2,8	48,5	88	4,6	N-TSW
LC16.M	50,1 c	68,44 b	69	72	28	6,4	2,7	6,1	84	5,0	N-TSW
C.V. (%)	16,8	19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Duncan (P ≤ 0,05). ²Días a maduración. ³Porcentaje de frutos comerciales con rajaduras > a 5 mm arrojados desde 1,50 m de altura. ⁴Mayor número mejor sanidad. ⁵A cosecha, después de cortada y sacudida la planta. ⁶100 menos la suma de frutos verdes y maduros (%), > a 85 = alta, de 75 a 85 = media y <75 = baja. ⁷V: *Verticillium dahliae* raza 1; FF: *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* raza 1 y 2; N: nematodos; Ps: peca del tomate; TSW: peste negra.

Tabla 6. Análisis agroindustrial y características varietales. Fuente: Asociación Tomate 2000, 2010.

Cultivar	Producción comercial ¹ (t·ha ⁻¹)	Producción total ¹ (t·ha ⁻¹)	Peso frutos (g)	Precocidad ²	Frutos rajados ³ (%)	Mesocarpio (mm)	Sanidad ⁴	Frutos rojos con pedicelo ⁵ (%)	Índice de concentración ⁶	°Brix	Resistencias ⁷
LC55.3	133,4 a	161,8 ab	76	110	8	6,4	3,3	0,2	81	3,6	TSW
LC40.2	132,0 a	185,7 a	72	110	34	6,0	3,3	1,9	78	3,8	N-TSW
PX 2510198	129,9 a	153,2 abc	76	106	37	5,5	3,5	1,3	88	3,9	V-F-F-N-TSW
Choele	128,9 a	157,9 abc	84	106	38	5,5	3,8	27,8	88	3,7	V-F-F-N-Ps-TSW
Media	123,3	158,0	78	108	34	6,0	3,6	10,7	83	3,9	
LC255.1	120,5 ab	182,8 a	77	110	41	6,4	3,7	0,0	71	4,1	N-TSW
LC4.4.89	115,6 ab	137,3 bc	83	108	46	7,0	3,8	39,8	87	4,0	TSW
LC16.M.89	102,7 b	127,0 c	77	103	32	5,0	3,8	4,2	87	4,0	N-TSW
C.V. (%)	11,2	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Duncan (P ≤ 0,05). ²Días a maduración. ³Porcentaje de frutos comerciales con rajaduras > a 5 mm arrojados desde 1,50 m de altura. ⁴Mayor número mejor sanidad. ⁵A cosecha, después de cortada y sacudida la planta. ⁶100 menos la suma de frutos verdes y maduros (%), > a 85 = alta, de 75 a 85 = media y <75 = baja. ⁷V: *Verticillium dahliae* raza 1; FF: *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* raza 1 y 2; N: nematodos; Ps: peca del tomate; TSW: peste negra.

LC383.2 años previos) y LC40.2 dieron los mejores rendimientos en producción comercial y total, sin diferencias significativas, con los testigos híbridos PX 25110198 y Choele y el resto de las líneas, excepto con LC16-M-89, en producción comercial. En este aspecto, el mejor rendimiento correspondió a LC40.2, con diferencias significativas respecto de LC4-4-89 y LC16-M-89.

En frutos rajados, LC 55.3 tiene el más bajo porcentaje (8 %), lo cual lo destaca en aptitud para cosecha mecánica.

En espesor de mesocarpio se destacó LC4-4-89; las líneas LC55.3 y LC 40.2 tuvieron valores por encima de los testigos.

En sanidad, LC16-M-89 y LC4-4-89 se expresaron como las mejores. En la evaluación de frutos rojos con pedicelo, LC255.1 y LC55.3 tuvieron los más bajos valores.

Los mejores índices de concentración correspondie-



Figura 4. Línea de tomate LC511.

ron a los testigos híbridos, con una unidad de diferencia respecto de las líneas LC LC4-4-89 y LC16-M-89.

La mejor expresión en °Brix correspondió a LC 255.1, en un año caracterizado por los bajos sólidos solubles.

En la Tabla 7 se muestran los datos correspondientes a la campaña 2010-11. La línea LC55.3 dio los mejores rendimientos en producción comercial y total, sin diferencias significativas, con los testigos híbridos PX25110198 y HMX3861 y el resto de las líneas, excepto con LC 592.1 y LC511. En frutos rajados, el híbrido HMX 3861 presentó un valor de 7 % y LC55.3, 8 %.

En espesor de mesocarpio se destacó LC442, LC 400 y LC169.1. En sanidad, LC511, LC202.1 y LC183.1, se expresaron como las mejores.

En la evaluación de frutos rojos con pedúnculo, LC573.M, LC579.M y el híbrido HMX3861 tuvieron los mismos bajos porcentajes. El mejor índice de concentración lo obtuvo LC181.1.

En °Brix, LC592.1 y el híbrido HMX3861 obtu-

Tabla 7. Análisis agroindustrial y características varietales. Fuente: Asociación Tomate 2000, 2011.

Cultivar	Producción comercial ¹ (t·ha ⁻¹)	Producción total ¹ (t·ha ⁻¹)	Peso frutos (g)	Precocidad ²	Frutos rajados ³ (%)	Mesocarpio (mm)	Sanidad ⁴	Frutos rojos con pedicelo ⁵ (%)	Índice de concentración ⁶	°Brix	Resistencias ⁷
LC55.3	114,0 a	157,6	77	91	8	6,1	3,8	0,5	78	3,7	N-TSW
XP 25110198	112,1 a	148,4	71	85	37	6,4	3,7	3,0	82	4,2	V-F-F-N-TSW
LC169.1	108,1 a	156,3	85	89	15	6,6	3,8	2,3	76	4,2	N-TSW-5
LC183.1	108,1 a	145,8	87	88	27	6,3	4,0	32,5	81	4,3	N-TSW-5
LC573.M	103,0 ab	140,7	80	88	27	5,9	3,7	0,1	82	3,9	N-TSW-5
LC579.M	99,3 ab	133,0	84	91	27	6,5	3,8	0,1	80	3,9	N-TSW-5
HMX3861	95,5 ab	140,2	76	83	7	6,1	3,3	0,1	71	4,7	V-F-F-N-Ps-TSW
Media	94,9	134,2	79	88	22	6,2	3,7	4,3	78	4,3	-
LC400.M	92,0 ab	132,4	74	90	12	6,6	3,3	1,7	77	4,2	N-TSW-5
LC182.1	91,8 ab	125,8	82	83	38	6,3	3,7	0,4	87	4,3	N-TSW-5
LC202.1	86,8 ab	120,4	72	91	15	6,1	4,0	2,2	78	4,5	N-TSW-5
LC442.M	86,7 ab	122,5	74	92	10	6,8	3,7	0,9	80	4,5	TSW-5
LC365.M	86,2 ab	115,4	76	88	23	6,3	3,8	1,8	78	4,1	N-TSW-5-Pto
LC592.1	73,4 b	113,9	88	83	31	5,7	3,3	14,1	73	4,7	N-TSW-5
LC511.M	72,2 b	127,0	86	91	28	5,2	4,0	1,0	63	4,2	N-TSW-5
C.V. (%)	19,8	15,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Duncan (P ≤ 0,05). ²Días a maduración. ³Porcentaje de frutos comerciales con rajaduras > a 5 mm arrojados desde 1,50 m de altura. ⁴Mayor número mejor sanidad. ⁵A cosecha, después de cortada y sacudida la planta. ⁶100 menos la suma de frutos verdes y maduros (%), > a 85 = alta, de 75 a 85 = media y <75 = baja. ⁷V: *Verticillium dahliae* raza 1; FF: *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lycopersici* raza 1 y 2; N: nematodos; Ps: peca del tomate; TSW: peste negra.

vieron el mejor índice, en un año, como el anterior, de baja expresión en sólidos solubles.

Como se ha explicado en la introducción, los híbridos en tomate dominan el mercado de semilla, tanto a nivel local como internacional. Una de las principales razones está justificada por la protección que se obtiene, indirectamente, por la condición no reproducible de las características del híbrido, en la siguiente generación. De este modo, los obtentores y/o empresas semilleras logran por medio de una técnica, lo que no consiguen, de una manera tan eficiente, en cultivares autopolinizados, a través de la legislación (Gallardo, 2012).

Además, la nueva orientación en la investigación y desarrollo (I+D) pública, iniciada en los años '70 y '80 del Siglo XX (Moscardi, 2007), que dejó en el sector privado, principalmente en los países desarrollados, la generación de bienes tecnológicos varietales, con normativas que avanzaron en una mayor protección de la propiedad intelectual, concentró en las universidades y otras instituciones públicas de ciencia y tecnología (CyT), la investigación básica, desalentando los planes de mejoramiento genético en el sector público. Gran parte de las variedades autopolinizadas que dominaron el mercado hasta los '70 del Siglo pasado fueron el resultado del trabajo de mejoramiento genético que se realizaba en el sector público de CyT, principalmente en los países desarrollados (Fernández Cornejo, 1999).

Así, con este panorama institucional, normativo y de actividad tecnológica, nuevas cultivares autopolinizadas dejaron de aparecer.

De cualquier modo, los híbridos efectivamente han significado un avance en la mejora varietal del tomate para industria. La técnica de mejora, cuando se tiene el germoplasma adecuado, se facilita y acorta el tiempo para la obtención del producto buscado, comparado con los tiempos necesarios para alcanzar materiales estabilizados en cultivares autopolinizados. Por otro lado, diversos autores (Kumari & Sharma, 2011; Sánchez Aspeytia, 2010; Kurian & Rajan, 2001) han encontrado evidencias de heterosis en tomate en distintas expresiones fenotípicas. Ahora bien, esto no significa que la mejora continua de cultivares autopolinizados deba ser abandonada o que su rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) no pueda ser, en materiales mejorados, equivalente a la de los híbridos. No ha sido encontrada bibliografía que haya considerado esta cuestión.

En este programa de mejora varietal, los híbridos han sido utilizados como testigos para evaluar el potencial de las cultivares autopolinizadas. En todas las campañas, algunas de estas cultivares no tuvieron diferencias significativas con los testigos híbridos en rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Otras características, como buen espesor de mesocarpio, frutos con pedicelo no articulado, variada expresión de °Brix, diferencias en la concentración de la cosecha y firmeza de frutos se encuentran presentes en el material estudiado, lo cual aumenta la variabilidad genética disponible y representan nuevas opciones de tecnología varietal para los pequeños productores, dos de los principales objetivos del programa de mejora. Además, algunas de las líneas evaluadas presentan características adecuadas para cosecha mecánica, en las cuales se debiera continuar trabajando con este objetivo.

Los resultados obtenidos han demostrado que los rendimientos por unidad de superficie ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de las cultivares autopolinizadas mejoradas son equivalentes a los obtenidos por los testigos híbridos. De este modo, los pequeños productores pueden acceder a tecnología varietal que no limita, por su costo, las opciones de manejo de cultivo.

4. Conclusiones

- Las líneas autopolinizadas han tenido rendimientos, en producción comercial y total, similares a los testigos híbridos.
- Las características fenotípicas, propias de cultivares para cosecha mecánica, también se expresan en las líneas autopolinizadas.
- Los materiales seleccionados para ECR y difusión experimental tienen características que los convierten, potencialmente, en una opción varietal superadora de las cultivares autopolinizadas para industria, existentes en el mercado local y de rendimiento comercial similar a las cultivares híbridas.
- Es posible generar, en tomate para industria, tecnología varietal no híbrida competitiva.

5. Bibliografía

- Asociación Tomate 2000. 2011. Informe de progresos: 2010-11. Ed. INTA, 188 p. ISSN1853-6972.
- Asociación Tomate 2000. 2010. Informe de progresos: 2009-10. Ed. INTA, 169 p.
- Asociación Tomate 2000. 2009. Informe de progresos: 2008-09. Ed. INTA, 184 p.
- Asociación Tomate 2000. 2008. Informe de progresos: 2007-08. Ed. INTA, 162 p.
- Dellaporta, S.L.; Word, J. & Hichks, J.B. 1983. A plant DNA miniprep: version II. Plant Molecular Biology Reporter, 1:19-21.
- Dirección de Contingencias Climáticas. 2009. Gobierno de Mendoza. Registro Único de la Tierra (RUT).

- Fernández Cornejo. 1999. The seed industry in US Agriculture. Economy Research Service, USDA.
- Gallardo, G.S. 2012. Desarrollo institucional y política científica: el caso de la producción nacional de semilla hortícola. Tesis de Maestría. Universidad Nacional General Sarmiento. Buenos Aires, Argentina.
- Gallardo, G.S. 2006. Proyecto Específico: Desarrollo de tecnologías y productos para el aumento de la competitividad del tomate. Módulo mejoramiento genético. INTA, 26 p.
- Gallardo, G.S. & Calvar, D.J. 1992. Tomato for industry breeding program in Argentina. *Acta Horticulturae*, 301: 87-90; January 1992.
- Gallardo, G.S. 1990. Introducción, evaluación y desarrollo de tecnología varietal en tomate para industria. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; Santiago (Chile), Red de cooperación técnica en producción de cultivos alimenticios, ACTAS: 139-160.
- Gallardo, G.S. 1988. Breeding of Processing Tomatoes with Genetic Resistance to Rootknot Nematodes (*Meloidogyne incognita*). Proceedings of the International Symposium on Integrated Management Practices. Tomato and Pepper Production in the Tropics. Asian Vegetable Research and Development Center. Taiwan, 1989. Publication N° 89-317: 107-112.
- Gilbert, J.C. & McGuire, D.C. 1955. Major gene for resistance to severe galling form *Meloidogyne incognita*. Report of the Tomato Genetic Cooperative 5: 15.
- Kumari, S. & Sharma, M. 2011. Exploitation of heterosis for yield and its contributing traits in tomato, *Solanum lycopersicum* L. *International Journal of Farm Sciences* 1 (2): 45-55.
- Kurian, A.K. & Rajan, S. 2001. Heterosis for yield components and fruit characters in tomato. *Journal of Tropical Agriculture* 39(2001): 5-8.
- Laterrot, H. 1985. Susceptibility of the (*Pto*) plants to Lebaycid insecticida: a tool for Breeders? Tomato Genetic Cooperative Report N°35, pág. 6.
- Laterrot, H. 1968. Contribution a l'amelioration de la tomate pour la resistance aus maladies. INRA. Station d'ameliotation des plantes maraicheres. 117 p.
- Masuelli, R.W.; Cuesta, G. & Piccolo, R. 2000. A multiplex PCR reaction for the screening of the nematode resistance gene, *Mi*, and the tomato spotted wilt virus resistant gene, *Sw-5*, in tomato. *Journal of Genetic & Breeding* 54:233-235.
- Moscardi, E. 2007. La política de vinculación tecnológica en el INTA 1987-2006: hitos de una estrategia innovadora. Ediciones INTA, 2007. 95 p.
- Pitblado, R.E. & Kerr, E.A. 1980. Resistance to bacterial speck (*Pseudomonas tomato*) in tomato. *Acta Horticulturae* 100: 379 - 382.
- Sánchez Aspeytia, D. 2010. Efectos genéticos y heterosis de tomate (*Lycopersicum escentum* Mill.) en campo e invernadero para rendimiento y calidad. *Revista Mexican de Ciencias Agrícolas*, vol. 1, núm. 4, octubre-diciembre, 2010, pp.455-467.
- Smith, P.G. 1944. Embryo cultura of a tomato species hybrid. *Proc. ASHS* 44: 413-416.
- Stevens, M.R.; Heiny, D.K.; Rhoads, D.D.; Griffiths, P.D. & Scott, J.W. 1996. A linkage map of the tomato spotted wilt virus resistance gene *Sw-5* using near isogenic lines and an interspecific cross. *Acta Horticulturae* 431: 885-392.
- Stevens, M.R.; Lamb, E.M. & Rhoads, D.D. 1995. Mapping the *Sw-5* locus for tomato spotted wilt virus resistance in tomatoes using RAPD and RFLP analyses. *Theoretical and Applied Genetic* 90:451-456.
- Stevens, M.R.; Scott, S.J. & Gergerich, R.C. 1992. Inheritance of a gene for resistance to tomato spotted wilt virus (*TSWV*) from *Lycopersicum peruvianum* Mill. *Euphytica* 59:9-17.
- Willianson, V.M.; Ho, J.Y.; Wu, F.F.; Miller, N. & Kaloshian, I. 1994. A PCR-based marker tightly linked to the nematode resistance gene, *Mi*, in tomato. *Theoretical and Applied Genetic* 87:757-763.