



APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE LÍNEAS DE TOMATE TIPO DETERMINADO EN COAHUILA, MÉXICO

GENERAL AND SPECIFIC COMBINING ABILITY OF LINES OF DETERMINATE TYPE TOMATO IN COAHUILA, MEXICO

Nanci A. Pérez-Godínez¹, Neymar Camposeco-Montejo^{1*}, Juan S. G. J. Alcalá-Rico², Josué I. García-López¹, Antonio Flores-Naveda¹ y Xóchitl Ruelas-Chacón³

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México. ³UAAAN, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia (neym_33k@hotmail.com)

RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas más importantes de México y del mundo; no obstante, la producción en México se sustenta en el uso de semillas híbridas importadas por empresas transnacionales; por ello, se busca generar semillas híbridas mexicanas, que estén adaptadas a las condiciones particulares de las zonas productoras, especialmente del noreste de México. La estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) y de efectos maternos es un paso importante para la selección de líneas progenitoras con fines de hibridación. El objetivo de esta investigación fue estimar la aptitud combinatoria general y específica en líneas de tomate de crecimiento determinado bajo condiciones de invernadero en el sureste de Coahuila y noreste de México. Se sembraron cuatro líneas junto con sus cruza directas y recíprocas utilizando un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El análisis genético fue con el método I, modelo II de Griffing. Durante el ciclo del cultivo se evaluaron variables como altura de planta, diámetro de tallo, grosor de mesocarpio, número de lóculos, sólidos solubles totales, número de frutos por planta y rendimiento de fruto. La línea L6 presentó efectos positivos de ACG en rendimiento ($t\ ha^{-1}$) con 8.08, éste fue 0.22 en rendimiento (kg) por planta y de 0.16 °Brix en sólidos solubles totales. Así mismo, la línea L6 sobresalió con los valores más altos y positivos en efectos maternos en rendimiento de fruto con $3.27\ t\ ha^{-1}$. La cruce L9 × L12 destacó con los efectos de ACE más altos y significativos en kg por planta (0.34), rendimiento de fruto ($12.50\ t\ ha^{-1}$) y diámetro de fruto (2.51 mm). Se identificó a la línea L6 como buen progenitor femenino, ya que destacó con valores altos y positivos de ACG en diversas variables relacionadas con rendimiento de fruto, y por los efectos maternos presentados. Se identificaron dos híbridos sobresalientes con altos valores de ACE.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L. cruza directas y recíprocas, rendimiento, semillas.

SUMMARY

Tomato is one of the most important vegetables in Mexico and the world; however, production in Mexico is based on the use of hybrid seeds imported by transnational companies; therefore, efforts are made to generate Mexican hybrid seeds adapted to the specific conditions of the producing areas, especially Northeastern Mexico. Estimation of general (GCA) and specific combining ability (SCA), as well as maternal effects is an important step for selecting parental lines for hybridization. The objective of this research was to estimate the general and specific combining ability in tomato lines of determinate growth under greenhouse conditions in Southeastern Coahuila

and Northeastern Mexico. Four lines were planted along with their direct and reciprocal crosses, using a randomized complete block design with four replicates. Genetic analysis was performed using Griffing's method I, model II. During the crop cycle, variables such as plant height, stem diameter, mesocarp thickness, number of locules, total soluble solids, number of fruits per plant and fruit yield were evaluated. Line L6 showed positive GCA effects in yield ($t\ ha^{-1}$) with 8.08, it was 0.22 in yield per plant (kg), and 0.16 °Brix in total soluble solids. Likewise, line L6 stood out with the highest and most positive values in maternal effects on fruit yield with $3.27\ t\ ha^{-1}$. The L9 × L12 cross stood out with the highest and most significant SCA effects in kg per plant (0.34), fruit yield ($12.50\ t\ ha^{-1}$) and fruit diameter (2.51 mm). Line L6 was identified as a good female parent, since it stood out with high and positive GCA values in several variables related to fruit yield, and maternal effects. Two outstanding hybrids with high SCA values were identified.

Index words: *Solanum lycopersicum* L. direct and reciprocal crosses, seeds, yield.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la primera hortaliza en México y en el mundo por su valor económico; su demanda se incrementa año con año y con ello su comercio, lo que genera más empleos. Por su importancia en la dieta mexicana, el tomate es muy apreciado, pues sus frutos son fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes, como carotenoides y polifenoles (Zamora-Oduardo *et al.*, 2020). Estas características han posicionado al tomate como la hortaliza más consumida, tanto en fresco como industrializada (SADER, 2022). En 2023 el tomate se sembró en los 32 estados de la República Mexicana, con una producción total de 3,636,927 t, donde Sinaloa destaca con una producción de 712,013 t, lo que lo hace acreedor al primer puesto en producción a nivel nacional. Por su parte, Coahuila obtuvo una producción de 70,470 t, pero con un rendimiento de $164.34\ t\ ha^{-1}$ en promedio, que es superior al de Sinaloa con $60.12\ t\ ha^{-1}$, lo que probablemente se debe a que la mayor parte de la superficie es bajo agricultura protegida. En cuanto al valor económico, ese mismo año el valor de la producción en México alcanzó 36,508 millones

de pesos mexicanos (SIAP, 2023).

El incremento de la producción de tomate se ha logrado gracias a las tecnologías agrícolas que se emplean en la actualidad, entre las que destacan el uso de variedades mejoradas, construcciones agrícolas, control climático, sistemas de fertirrigación, entre otras. De todo esto, los resultados más sobresalientes se han logrado gracias a la utilización de nuevas variedades, que derivan de los esquemas de mejoramiento de plantas, donde los diseños genéticos permiten determinar los efectos y variaciones dentro de una población (Lagos y Criollo, 1997). Los análisis dialélicos se usan en la experimentación y mejoramiento de plantas, ya que son una herramienta útil para estimar parámetros genéticos de progenitores y sus cruzas por medio de la estimación de aptitud combinatoria general y específica, también permite seleccionar el método de mejoramiento más adecuado (Wong *et al.*, 2007). En 1956 se desarrollaron cuatro métodos para calcular aptitud combinatoria general y específica, donde se incluyen las cruzas directas y recíprocas, efectos maternos, acción génica, heterosis, y otros (Griffing, 1956; Lynch y Walsh, 1998; Saavedra *et al.*, 2021). Las estimaciones de aptitud combinatoria general y específica en tomate son de gran utilidad porque permiten la identificación de progenitores sobresalientes (Martínez-Solís *et al.*, 2013).

Las variedades e híbridos de tomate presentes en el mercado son generados y comercializados en su mayoría por empresas transnacionales (Sánchez *et al.*, 2010). Ante la baja disponibilidad de semillas mejoradas nacionales que estén adaptadas al noreste de México y sureste de Coahuila, se busca avanzar en los programas de mejoramiento genético de este cultivo mediante la estimación de la aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica y efectos maternos, con el fin de formar híbridos adaptados a dichas regiones. Por lo tanto, el objetivo fue estimar la aptitud combinatoria general y específica, y efectos maternos en líneas experimentales de tomate tipo determinado en el sureste de Coahuila, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material genético

Esta investigación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en un invernadero de baja tecnología del Departamento de Fitomejoramiento, con coordenadas geográficas 25° 21' 15" latitud norte, 101° 02' 03" longitud oeste y una altitud de 1774 msnm, con temperatura promedio anual de 16.4 °C, precipitaciones de 370 mm anuales, con un clima cálido-templado semidesértico. Para la investigación se utilizaron cuatro

líneas experimentales de tomate tipo determinado, las cuales se identificaron como L6, L9, L12 y L13, que fueron desarrollados en el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Manejo agronómico

La siembra de las líneas progenitoras se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades con una mezcla de sustrato compuesto por 70 % peat moss y 30 % perlita. Treinta días después, se trasplantaron en macetas de plástico con capacidad de 10 L, donde se utilizó el sustrato antes citado. Se establecieron en un invernadero de baja tecnología (con ventanas laterales y cenitales sin control climático) del Departamento de Fitomejoramiento. Durante la primera semana después del trasplante en las macetas solo se aplicó agua de riego. A partir de la segunda semana post-trasplante se suministró solución nutritiva al 50 % (Cuadro 1), a las cuatro semanas al 75 % y a partir de las ocho semanas se mantuvo al 100 %.

La poda se inició con la eliminación de los brotes axilares a los 25 días después del trasplante; posteriormente, se podaron las hojas senescentes con la finalidad de mejorar la aireación, luminosidad y sanidad de las plantas. El tutorado se realizó a los 15 días después del trasplante, de forma individual, para dirigir la planta verticalmente y evitar fracturas en el tallo de la planta.

Formación de híbridos

Se realizaron cruzas directas, recíprocas y autofecundaciones con las líneas antes mencionadas siguiendo el método 1, modelo II de Griffing. Al inicio de floración, se realizaron las cruzas de manera manual, dos veces al día, antes de las 11:30 am y después de las 4:00 pm. Se realizó emasculación en las flores de plantas hembra para posteriormente ser polinizadas con el polen de las plantas macho. Cuando los frutos presentaron madurez fisiológica, se cosecharon y se extrajeron las semillas, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente y almacenadas en bolsas de papel; posteriormente, las semillas se sembraron para evaluar los híbridos obtenidos, con el mismo manejo agronómico mencionado para la realización de las cruzas.

Establecimiento y manejo de híbridos F₁

Las semillas de las líneas progenitoras, junto con las de los híbridos obtenidos fueron sembradas el día 22 de julio de 2024, después de 30 días se trasplantaron. Se realizó el manejo agronómico citado en la primera etapa.

Cuadro 1. Solución nutritiva utilizada durante el ciclo del cultivo de tomate tipo determinado probado en el sureste de Coahuila, México.

Macroelementos										
SN	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻ y CO ₃ ⁻²	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	NH ₄ ⁺	Na ⁺
(%)	Miliequivalentes L ⁻¹									
100	3.2	12	1	7	1	7	4	11	2	3
75	3.2	8.6	0.75	5.2	1	5.2	3	8.2	1.5	3
50	3.2	6	0.5	3.5	1	3.5	2	5.5	1	3
Microelementos en partes por millón										
SN	Fe ⁺³	Mn ⁺²	H ₃ BO ₃	Zn ⁺²	Cu ⁺²	MoO ₄ ⁻²	CE (dS/m)	pH		
(%)										
100	3	1.48	0.28	0.24	0.12	0.08	2.7	5.9-6.1		
75	2.25	1.11	0.21	0.18	0.09	0.06	2.1	5.9-6.1		
50	1.5	0.74	0.14	0.12	0.06	0.04	1.5	5.9-6.1		

SN: solución nutritiva.

Variables morfológicas evaluadas

Se midió la altura de las plantas en cm con un flexómetro de marca Truper® y el diámetro de tallo en mm con un vernier digital (Truper®, México). A los 80 días se registró el largo y ancho de hoja en cm, con el mismo instrumento que para altura de planta.

Variables relacionadas con calidad del fruto

Los frutos se cosecharon cuando alcanzaron la coloración típica de los tomates maduros (color rosa en más de 60 % de su superficie). De cada repetición se seleccionaron cuatro frutos representativos, sobre los cuales se midieron las variables longitud y diámetro de frutos (mm) con un vernier digital (Truper®, México), grosor del mesocarpio (mm) de los frutos con un vernier digital, y número de lóculos por fruto; además, se evaluó el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) con un refractómetro (Modelo TD6010, Soonda, China).

Variables relacionadas con rendimiento

Para peso medio de frutos (PMF) se dividió el peso de los frutos cosechados de cada planta entre el número de frutos cosechados de la misma planta y se expresó en kg. Para número de frutos por planta (NFP) se cuantificó el número de frutos obtenidos de las cinco cosechas de cada planta. Se calculó el rendimiento en kg que se obtuvo de cada planta. El rendimiento en t ha⁻¹ (REND), se determinó

multiplicando el rendimiento en kg por planta por el número de plantas en una hectárea (la distancia entre hileras fue de 1.8 m y entre plantas de 30 cm).

Diseño experimental y análisis genético estadístico

La prueba se llevó a cabo utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, cada una con seis plantas útiles medibles. La estimación de ACG, ACE, efectos recíprocos y efectos maternos se realizó mediante el método I, modelo II de Griffing, utilizando la rutina computacional DIALLEL-SAS05 propuesta por Zhang *et al.* (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los valores de ACG. En la variable longitud de fruto en mm (LF) la línea L12 destacó con el valor positivo más alto (8.807), seguida de la línea L13, que también presentó valores positivos (Cuadro 2); en contraste, las líneas L6 y L9 registraron valores negativos de -6.1 y -5.9 mm, respectivamente, lo que sugiere que estas líneas podrían considerarse como malos combinadores para mejorar dicha variable (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2023). Los valores encontrados son superiores a los reportados por López-Benítez *et al.* (2012), quienes encontraron efectos de ACG que oscilaron entre -0.09 y 0.28 en líneas de tomate saladette de hábito de crecimiento indeterminado; no obstante, líneas con baja ACG también podrían generar buenos híbridos (Hernández y De León, 2021).

Respecto al diámetro del fruto (DF), la línea L6 registró el valor más alto de ACG (4.39 mm) en comparación con las líneas L9, L12 y L13. Se observó que las líneas L6 y L9 son las que presentaron valores positivos en la variable grosor de mesocarpio (GM), estos resultados indican que para las variables DF y GM, los efectos positivos de ACG se asocian con cruza que expresan ACE positiva (Cuadro 4), lo que coincide con lo señalado por Acevedo-Cortés *et al.* (2020) y Ubias-Serafin *et al.* (2024). En la variable número de lóculos (NL) la línea L9 fue la única que presentó valores negativos; por el contrario, la línea L6 obtuvo el valor más alto con 0.06. Las líneas L6 y L9 presentaron valores positivos en sólidos solubles totales (SST).

Con respecto a las variables de rendimiento y sus componentes (Cuadro 2), la línea L6 presentó valores positivos en todas las variables, lo que sugiere la presencia de alelos favorables que contribuyen de manera consistente a la expresión de estos caracteres. En contraste, valores negativos indican menor contribución a la mejora de los mismos (Díaz-Juárez *et al.*, 2023). La línea L9 presentó valores negativos, excepto en número de frutos por planta (NFP). En la variable peso medio de frutos (PMF) la línea L13 destacó con 3.08 de ACG. De la Cruz-Lázaro *et al.* (2010) mencionaron que resultados positivos de ACG tienen una influencia de suma importancia en las variables de rendimiento en su descendencia, como se observa en la línea L6. Al respecto Martínez-Solís *et al.* (2013) mencionaron que los progenitores con mayor ACG pueden ser buenos progenitores para la producción de híbridos sobresalientes, como sería el caso de las líneas L12 y L6. La variabilidad que presentan las líneas en la mayoría de las variables se puede atribuir a la divergencia genética de cada línea, relacionada probablemente con su origen. Tendencias similares fueron reportados por Balbuena-Mascada *et al.* (2025) en tomates de crecimiento indeterminado.

En relación con las variables morfológicas (Cuadro 3), la

línea L6 presentó los valores más altos y positivos en altura de planta (AP) y diámetro de planta (DP) con 7.82 y 0.52 cm de ACG, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los intervalos reportados por Mendoza-de Jesús *et al.* (2010) (7.69 a -6.36 cm), lo que sugiere que la línea L6 es potencialmente buena para aportar genes que se traducen en alto vigor de la planta. En contraste, la línea L9 presentó valores positivos únicamente en diámetro de planta. La línea L12 presentó valores positivos en variables como longitud de hoja y ancho de hoja, en las cuales fueron los más altos, mientras que la línea L13 presentó valores positivos en altura de planta y longitud de hoja. En cuanto a la variable flores por racimo, la línea L12 fue la única que presentó valores positivos.

Aptitud combinatoria específica de cruza directas y recíprocas

En el Cuadro 4 se presentan los valores de aptitud combinatoria específica (ACE) para variables relacionadas con la calidad del fruto (LF, DF, GM, SST). La cruza L6 × L9 presentó valores positivos en la mayoría de las variables, con excepción del número de lóculos (NL). Tuxtla-Andrade *et al.* (2022) mencionaron que los efectos positivos de ACE son resultado de la combinación favorable de genes no aditivos. Para el caso de la cruza L6 × L12, se observó una ACE negativa en variables como longitud del fruto (LF) y sólidos solubles totales (SST) (Cuadro 4). La única línea que presentó ACG positiva fue la línea L6. Los híbridos obtenidos al cruzar esta línea con otra de ACG negativa o baja, dio como resultado cruza con alta ACE, con excepción de L9 × L6 y L13 × L6, cruza recíprocas con valores de -5.5 y -1.04 respectivamente (Cuadro 4). Lo anterior coincide con lo mencionado por Chura *et al.* (2021) y López-López *et al.* (2021), quienes observaron combinaciones sobresalientes al involucrar un progenitor con baja ACG con otro de alta ACG. Por lo tanto, estos análisis permiten a los fitomejoradores evaluar diversas combinaciones de líneas parentales para desarrollar híbridos con fenotipos

Cuadro 2. Aptitud combinatoria general (ACG) de líneas de tomate tipo determinado probadas en el sureste de Coahuila, México para variables de calidad de fruto y relacionadas con rendimiento.

Líneas	LF (mm)	DF (mm)	GM (mm)	NL	SST (°Brix)	NFP	KG/P (kg)	REND (t ha ⁻¹)	PMF (kg)
L6	-6.11**	4.39**	0.47**	0.06	0.16**	1.35*	0.22**	8.08**	2.70
L9	-5.98**	0.60	0.03	-0.14**	0.08*	0.18	-0.13*	-4.95*	-7.54**
L12	8.08**	-3.72**	-0.36**	0.03	-0.16**	-0.24	0.008	-0.27	1.75
L13	4.01**	-1.27**	-0.14	0.04	-0.08*	-1.29*	-0.08	-2.86	3.08

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente. LF: longitud de fruto, DF: diámetro de fruto, GM: grosor del mesocarpio, NL: número de lóculos, SST: sólidos solubles totales, NFP: número de frutos por planta, KG/P: kilogramos por planta, REND: rendimiento calculado, PMF: peso medio del fruto.

Cuadro 3. Aptitud combinatoria general (ACG) de líneas de tomate tipo determinado probadas en el sureste de Coahuila, México para variables morfológicas.

Líneas	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	FPR
L6	7.826**	0.522**	-2.091**	0.861	-0.208*
L9	-4.208**	0.226*	-1.090*	-2.008**	-0.027
L12	-3.736**	-0.193*	2.541	2.306**	0.277**
L13	0.118	-0.555**	0.640	-1.159*	-0.041

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente. AP: altura de planta, DP: diámetro de planta, LH: longitud de hoja, AH: ancho de hoja, FPR: flores por racimo.

específicos y deseables (Essa y Alwan, 2024). Las cruzas con valores positivos en número de frutos por planta (NFP) fueron L12 × L13, L6 × L12 y L9 × L12, esta última fue la cruce con los valores más altos. En relación con esto, se considera que las cruzas con alta ACE pueden incorporarse en programas de mejoramiento genético por hibridación específica únicamente (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2018).

Respecto a la variable de rendimiento por planta (KG/P) la cruce L6 × L9 directa fue la única que presentó valores negativos. La cruce L9 × L12 destacó con 0.348 de ACE en KG/P y 12.5 en REND. Los valores de ACE de las cruces fueron positivos, pero los progenitores presentaron valores negativos en ACG, lo cual concuerda con lo reportado por Rodríguez-Pérez *et al.* (2019), ya que mencionaron que algunas combinaciones específicas pueden superar las expectativas basadas en el rendimiento de cada línea individual.

En cuanto a altura de planta (AP), las cruces L9 × L13 y L12 × L13 presentaron valores negativos en cruces directas, mientras que L13 × L12 fue la única que mostró valores negativos en cruces recíprocas. En contraste, la cruce entre las líneas L6 y L12 registró los valores más altos tanto en su combinación directa como recíproca. En la variable diámetro de planta (DP), las cruces L6 × L12, L9 × L13 y L12 × L9 presentaron valores negativos, mientras que la cruce L6 × L9 presentó valores positivos y superiores, lo que puede atribuirse a la ACG o efectos aditivos de sus progenitores (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan con los reportados por Rodríguez *et al.* (2020), quienes señalaron que la expresión superior de caracteres cuantitativos puede deberse a la contribución aditiva de líneas parentales con alta ACG. En longitud de hoja (LH), la cruce L6 × L9 obtuvo los valores más altos (2.054 cm), y su cruce recíproca destacó con los valores más altos en ancho de hoja (AH). Finalmente, para la variable flores por racimo las cruces L6 × L13 y L9 × L12 fueron las que obtuvieron los valores más altos con 0.374 y 0.237, respectivamente.

Efectos maternos

En lo que respecta a los efectos maternos, la línea L13 fue la única que presentó valores positivos en variables como longitud de fruto (LF), diámetro de fruto (DF), grosor de mesocarpio (GM), número de lóculos (NL) y sólidos solubles totales (Cuadro 6), lo que indica su potencial para producir frutos grandes, con buen grosor de mesocarpio y elevado contenido de sólidos solubles totales en sus cruces directas; resultados similares han sido reportados en maíz para identificar líneas productoras de aceite con efectos maternos positivos; por tanto, la elección del progenitor femenino puede influir positivamente en el rendimiento y calidad del híbrido (Núñez-Terrones *et al.*, 2019). La única línea que presentó valores positivos en rendimiento (REND) fue la línea L6, con valor de 3.273 de efectos maternos, lo que sugiere un alto potencial productivo al ser utilizada como progenitor femenino (Martínez-Díaz *et al.*, 2025); así mismo, esta línea L6 presentó los valores más altos en las variables número de frutos por planta (NFP) y kg/planta (KG/P), resultados que indican la influencia de la L6 sobre el rendimiento en sus combinaciones híbridas. La determinación de los efectos maternos permite seleccionar adecuadamente el progenitor femenino para optimizar el comportamiento agronómico de los genotipos en sus combinaciones (Andrío-Enríquez *et al.*, 2015; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2018). En cuanto a la variable peso promedio de fruto (PMF) la línea L13 fue la que presentó los valores más altos; por lo tanto, las líneas L6 y L13, al presentar valores positivos en la mayoría de los componentes de rendimiento, pueden utilizarse como progenitores femeninos en las cruces, a fin de incrementar el rendimiento en híbridos de tomate.

En el Cuadro 7 se muestran valores correspondientes a variables morfológicas donde la línea L6 presentó valores positivos en altura de planta (AP), diámetro de planta (DP) y ancho de hoja (AH), lo que indica que esta línea aporta genes favorables cuando se emplea como progenitor femenino. De manera concordante, Díaz-Juárez

Cuadro 4. Aptitud combinatoria específica (ACE) de líneas de tomate tipo determinado probadas en el sureste de Coahuila, México en rendimiento, componentes de rendimiento y calidad del fruto en cruzas directas y recíprocas.

Cruzas	LF (mm)	DF (mm)	GM (mm)	NL	SST (°Brix)	NFP	KG/P (kg)	REND (t ha ⁻¹)	PMF (kg)
Cruzas directas									
L6 × L9	2.02	0.73	0.23	-0.006	0.06	-0.81	-0.06	-2.41	2.48
L6 × L12	-0.85	2.14**	0.33	0.002	-0.11	1.61	0.20	7.23	1.51
L6 × L13	-0.38	1.39	-0.07	-0.79	-0.09	-0.39	0.05	1.70	4.24
L9 × L12	0.26	2.51**	0.35	0.10	-0.08	2.45*	0.34**	12.50**	5.08
L9 × L13	0.75	0.92	-0.02	0.35	-0.00	-0.19	0.06	2.18	2.13
L12 × L13	-1.84	0.12	0.21	-0.06	0.13*	0.79	0.04	1.57	-0.68
Cruzas recíprocas									
L9 × L6	1.49	-4.90	0.01	0.01	-0.06	-0.02	0.15	5.55	5.04
L12 × L6	-1.13	0.42	0.18	0.05	-0.07	1.41	0.23	8.58	-0.80
L13 × L6	-0.90	-0.12	0.03	-0.04	-0.03	0.91	-0.02	-1.04	-8.45*
L12 × L9	4.26*	-2.16*	-0.32	0.13	-0.12	0.64	0.01	0.57	-0.36
L13 × L9	-0.66	-1.66	0.27	-0.01	-0.06	1.11	0.02	0.86	-3.03
L13 × L12	-3.18	-0.43	-0.17	-0.06	-0.20*	-0.16	0.08	2.92	3.09

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente. LF: longitud de fruto, DF: diámetro de fruto, GM: grosor del mesocarpio, NL: número de lóculos, SST: sólidos solubles totales, NFP: número de frutos por planta, KG/P: kilogramos por planta, REN: rendimiento, PMF: peso medio del fruto.

Cuadro 5. Aptitud combinatoria específica (ACE) de cruzas directas y recíprocas de líneas de tomate tipo determinado probadas en el sureste de Coahuila, México en variables morfológicas.

Cruzas	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	FPR
Cruzas directas					
L6 × L9	0.756	0.341*	2.054*	1.956	0.084
L6 × L12	4.811*	-0.006	-0.371	1.596	0.222
L6 × L13	0.708	0.192	1.575	1.201	0.374
L9 × L12	0.708	0.094	-0.154	-0.721	0.237
L9 × L13	-3.144	-0.486**	-2.071*	-0.454	0.111
L12 × L13	-1.257	0.116	-0.077	0.128	-0.304
Cruzas recíprocas					
L9 × L6	0.168	0.277	0.138	2.267	-0.222
L12 × L6	3.972	0.087	-0.232	-1.315	-0.055
L13 × L6	2.333	0.492*	-0.203	1.087	0.222
L12 × L9	1.223	-1.223**	1.770	-0.948	-0.417
L13 × L9	1.722	0.032	0.705	0.565	-0.305
L13 × L12	-4.917*	0.440*	-2.000	-1.258	-0.082

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente. AP: altura de planta, DP: diámetro de planta, LH: longitud de hoja, AH: ancho de hoja, FPR: flores por racimo.

Cuadro 6. Efectos maternos de líneas de tomate tipo determinado probadas en el sureste de Coahuila, México en variables de calidad de fruto y relacionadas con rendimiento.

Línea	LF (mm)	DF (mm)	GM (mm)	NL	SST (°Brix)	NFP	KG/P (kg)	REND (t ha ⁻¹)	PMF (kg)
L6	-0.136	-0.049	0.058	0.005	-0.043	0.576	0.091	3.273	-1.054
L9	0.526	-0.835	-0.153	0.029	-0.030	0.445	-0.030	-1.027	-2.111
L12	-1.578	0.329	-0.009	-0.063	-0.001	-0.556	-0.043	-1.558	1.068
L13	1.189	0.555	0.104	0.029	0.075*	-0.465	-0.019	-0.688	2.097

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente. LF: longitud del fruto, DF: diámetro del fruto, GM: grosor del mesocarpio, NL: número de lóculos, SST: sólidos solubles totales, NFP: número de frutos por planta, KG/P: kilogramos por planta, PMF: peso medio de fruto.

Cuadro 7. Efectos maternos de líneas de tomate tipo determinado probadas en el sureste de Coahuila, México en variables morfológicas.

Línea	AP (cm)	DP (mm)	LH (cm)	AH (cm)	NFR
L6	1.61	0.213*	-0.074	0.510	-0.014
L9	0.694	-0.367**	0.584	-0.663	-0.125
L12	-2.528*	0.394**	-0.885	0.251	0.098
L13	0.215	-0.241**	0.375	-0.098	0.041

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente. AP: altura de planta, DP: diámetro de planta, LH: longitud de hoja, AH: ancho de hoja, FPR: flores por racimo.

et al. (2023) señalaron que los progenitores con valores elevados contribuyen con ADN citoplasmático favorable, lo que influyen positivamente en las características de su progenie.

CONCLUSIÓN

De acuerdo con los datos de aptitud combinatoria general (ACG), se identificó a la línea L6 como sobresaliente, ya que presentó los valores más altos y positivos de ACG en las variables de diámetro de fruto, grosor de mesocarpio, número de lóculos, sólidos solubles totales, número de frutos por planta, kilogramo por planta y rendimiento de fruto, por lo que puede ser aprovechada en un programa de mejoramiento genético para la generación de híbridos, sobre todo como progenitor femenino debido a sus efectos maternos y alta ACG en el rendimiento, L13 mostró tendencias similares. El híbrido L9 × L12 destacó en presentar los valores más altos en rendimiento y en variables relacionadas con el rendimiento, además de presentar una alta aptitud combinatoria específica, por lo que puede usarse como híbrido específico.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo-Cortés M. A., A. Castillo-Gutiérrez, M. Andrade-Rodríguez, M. E. Núñez-Valdez, F. Perdomo-Roldán y R. Suárez-Rodríguez (2020) Aptitud combinatoria y potencial agronómico de líneas de maíz

con diferente nivel de endogamia. *Acta Agrícola y Pecuaria* 6:E0061023, <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061023>

- Andrio-Enríquez E., F. Cervantes-Ortiz, J. G. Rivera-Reyes, L. P. Guevara-Acevedo, S. A. Rodríguez-Herrera, G. Rodríguez-Pérez, ... y M. Mendoza-Elos (2015) Aptitud combinatoria y efectos maternos en razas de maíz mexicanas por el modelo I de Griffing. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 31:5-14.
- Balbuena-Mascada S., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, E. Rodríguez-Guzmán y S. Cruz-Izquierdo (2025) Análisis dialélico de líneas de tomates de hábito de crecimiento indeterminado para rendimiento y calidad de fruto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 48:33-44, <https://doi.org/10.35196/rfm.2025.1.33>
- Cervantes-Ortiz F., J. Hernández-Esparza, J. G. García-Rodríguez, J. A. Rangel-Lucio, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, ... y D. Rodríguez-Mercado (2018) Aptitud combinatoria general y específica de caracteres agronómicos en líneas de maíz (*Zea mays* L.) de baja endogamia. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 34:33-42, <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000204>
- Chura C. J., G. García P. y R. Sevilla P. (2021) Aptitud combinatoria de la variedad de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) PMD-638. *Anales Científicos* 82:180-187, <https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1762>
- De la Cruz-Lázaro E., G. Castañón-Nájera, N. P. Brito-Manzano, A. Gómez-Vázquez, V. Robledo-Torres y A. J. Lozano R. (2010) Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 79:11-17.
- Díaz-Juárez R. C., F. Castillo-González, A. Santacruz-Varela, N. O. Gómez-Montiel, J. J. García-Zavala y A. Muñoz-Orozco (2023) Aptitud combinatoria de variedades y heterosis de cruces intervarietales divergentes de maíz de grano amarillo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10:e3790, <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3790>
- Essa B. A. and O. K. Alwan (2024) Impact evaluation combining ability of tomato hybrids and lines for production and fruit quality traits. *Agronomía Mesoamericana* 35:57558, <https://doi.org/10.15446/agr.35.57558>

- org/10.15517/am.2024.57558
- Griffing B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences* 9:463-493, <https://doi.org/10.1071/B19560463>
- Hernández A. E. y H. De León C. (2021) Comportamiento genético para componentes de rendimiento en una población de maíz enano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 26:131-144, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2943>
- Lagos B. T. C. y H. Criollo E. (1997) Algunos aspectos de los diseños genéticos. *Revista de Ciencias Agrícolas* 15:104-116.
- López-Benítez A., F. Borrego-Escalante, V. M. Zamora-Villa y L. Guerra-Zítalapa (2012) Estimación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agraria* 9:87-94, <https://doi.org/10.59741/agraria.v9i3.494>
- López-López C., M. Tadeo-Robledo, J. J. García-Zavala, A. Espinosa-Calderón y J. A. Mejía-Contreras (2021) Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12:699-711, <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2786>
- Lynch M. and B. Walsh (1998) *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. 359 p.
- Martínez-Díaz F. S., J. J. García-Zavala, A. Espinosa-Calderón, M. Tadeo-Robledo, R. Lobato-Ortiz y E. Ambrosio-Gil (2025) Aptitud combinatoria general y específica de maíz palomero para los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 16:e3064, <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3064>
- Martínez-Solís J., A. Peña-Lomelí, J. E. Rodríguez-Pérez, J. Sahagún-Castellanos y M. G. Peña-Ortega (2013) Heterosis intevarietal en jitomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19:5-21, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.012>
- Mendoza-de Jesús V., J. Sahagún-Castellanos, J. E. Rodríguez-Pérez, J. P. Legaria-Solano, A. Peña-Lomelí and M. Pérez-Grajales (2010) Interevarietal heterosis in indeterminate saladette tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16:57-66, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.007>
- Núñez-Terrones E., M. C. Mendoza-Castillo, A. Delgado-Alvarado, F. Castillo-González y F. J. Sánchez-Ramírez (2019) Análisis genético de componentes nutricionales en cruza simples de maíz de grano blanco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:163-172, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.2.163>
- Rodríguez P. G., J. E. Treviño R., M. C. Ojeda Z., F. Cervantes O., M. A. Avila P. y A. J. Gámez Vázquez (2020) Parámetros genéticos y aptitud combinatoria de líneas de maíz para grano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11:1867-1878, <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2085>
- Rodríguez-Pérez G., F. Zavala-García, J. E. Treviño-Ramírez, C. Ojeda-Zacarias, M. Mendoza-Elos, F. Cervantes-Ortiz, ... y J. L. Torres-Flores (2019) Estimación de componentes genéticos en líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 53:245-258.
- Rodríguez-Pérez G., A. García-Ramírez, F. Cervantes-Ortiz y E. Andrio-Enríquez (2023) Componentes genéticos bajo el diseño Carolina del Norte II en maíz (*Zea mays* L.) en el sur de Sonora, México. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 39:1-11, <https://doi.org/10.29393/CHJAA39-1CGGE40001>
- Saavedra G. C., D. J. Pérez L., A. González H., J. R. P. Franco M., M. Rubí A. y J. F. Ramírez D. (2021) Métodos de Griffing: revisión sobre su importancia y aplicación en fitomejoramiento convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12:1275-1286, <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.3040>
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022) El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es> (Marzo 2025).
- Sánchez A. D., F. Borrego E., V. M. Zamora V., M. M. Murillo S., A. Benavides M. y V. Robledo T. (2010) Efectos genéticos y heterosis de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en campo e invernadero para rendimiento y calidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:455-467.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México, México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Marzo 2025).
- Tuxtla-Andrade M. R. M., N. Magaña-Lira, A. Peña-Lomelí, H. Lozoya-Saldaña, S. G. Leyva-Mir y M. G. Peña-Ortega (2022) Compatibilidad de cruza entre poblaciones silvestres tolerantes a virus y cultivadas de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45:43-53, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.43>
- Ubias-Serafin E., J. C. Raya-Pérez, C. L. Aguirre-Mancilla, A. J. Gámez-Vázquez, J. Frías-Pizano y J. Covarrubias-Prieto (2024) Aptitud combinatoria en líneas de maíz derivadas del quinto ciclo de selección masal estratificada. *Revista Fitotecnia Mexicana* 47:451-457, <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.4-A.451>
- Wong R. R., E. Gutiérrez R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B. y J. J. Lozano G. (2007) Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30:181-189, <https://doi.org/10.35196/rfm.2007.2.181>
- Zamora-Oduardo D., P. Rodríguez-Fernández, A. Ferrer-Dubois, Y. Fung-Boix, E. Isaac-Aleman y G. Asanza-Kindelán (2020) Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. *Ciencia en su PC* 1:60-74.
- Zhang Y., M. S. Kang and K. R. Lamkey (2005) DIALLEL-SAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agronomy Journal* 97:1097-1106, <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0260>