Efectos genéticos en cruzas de variedades de tomate y su reacción a *Fusarium*

Genetic Effects in Tomato varieties and their F_1 crosses and their reaction to *Fusarium*

Julio Narcizo Ek-Maas[*1], Alfonso López-Benítez[1], José Espinoza-Velázquez[1], Fernando Borrego-Escalante[1]

[1]Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, CP 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: julionems89@hotmail.com (*Autor responsable)

RESUMEN

El tomate es una especie ampliamente cultivada debido a su diversidad de usos tanto en forma directa como industrial. En este trabajo se estimó aptitud combinatoria para características de rendimiento de nueve variedades de tomate saladette, bola y cherry y sus 36 cruzas F1, así como su reacción a la raza 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Los híbridos F1 y sus progenitores se evaluaron en campo, en el ciclo primavera-verano (PV 2014). La inoculación del hongo se hizo en plántulas de 30 días de emergidas: se sumergieron sus raíces durante 10 min en una suspensión de 1 x 106 conidios por mL de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, raza 3. Las variables que se evaluaron fueron: rendimiento (RDT), peso promedio de fruto (PPF), peso total de fruto por planta (PTFPP), número de frutos por planta (NFPP), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE). Los resultados mostraron diferencias ($p \leq 0.01$) en ACG para todos los caracteres, a excepción de RDT y PTFPP. Para ACE se observaron diferencias de ($p \leq 0.01$) para NFPP, DP, DE y de ($p \leq 0.05$) para RDT y PTFPP. Los progenitores con mayor ACG fueron SALTILLO 1, MOLINO y D4, con frutos tipo bola. La contribución a la varianza de RDT y PTFPP para la fuente de variación genotipos se constituyó por efectos no aditivos (ACE); los efectos aditivos (ACG) se presentaron en mayor proporción para PPF, NFPP, DP, DE. El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) mostró un resultado menor al progenitor VITA, con un porcentaje por día de 780, y el híbrido D4 x VITA reportó 740; por lo tanto, los valores menores corresponden a los más resistentes.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, resistencia genética

ABSTRACT

Tomato is a species widely cultivated because of its diversity of uses as direct consumption as well as industrial uses. In this work there was estimated combining ability for agronomic and yield traits of nine varieties of tomatoes (saladette, ball and cherry) and their 36 F1 hybrids as well as their reaction to race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. The hybrids F1 and their progenitor were evaluated in the field in the cycle spring-summer 2014. Seedlings were inoculated at 30 days old by immersion the root for 30 min in a 1 x 106 conidia per ml of suspension of race 3 of the fungus. Evaluated variables were Yield (RDT), fruit average weight (PPF), total weight of fruit per plant (PTFPP), number of fruits per plnt (NFPP), fruit polar diameter (DP), equatorial diameter (DE). Results showed differences ($p \leq 0.01$) in GCA for all traits but RDT and PTFPP. For SCA differences ($p \leq 0.01$) were found for NFPP, DP, DE; and differences ($p \leq 0.05$) for RDT and PTFPP. Progenitors having the greatest GCA were Saltillo 1, Molino and D4 which have fruit ball type. The contribution to the variance of RDT and PTFPP for the source of variation genotypes was formed by non-additive effects (ACE) and additive effects (ACG) occurred in greater proportion to PPF, NFPP, DP, DE. The area under the disease progress curve (ABCPE), showed with lower results the parent VITA with 780 percent per day; and the hybrid D4 x VITA reported 740; therefore, the lower values correspond to the more resistant.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, genetic resist

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicon* L.) es la especie hortícola más ampliamente cultivada debido a sus altos rendimientos, su gran redituabilidad económica y su diversidad de usos tanto en forma directa como industrial. Rodríguez *et al*. (2004) señalan que el mejoramiento genético del tomate está esencialmente orientado a incrementar los rendimientos, tolerancia a condiciones ambientales adversas bióticas y abióticas. Características como rendimiento, resistencia a enfermedades, a estrés abiótico y calidad de frutos como sabor, viscosidad, color, materia seca, sólidos solubles y pH, se han mejorado genéticamente con el propósito de favorecer tanto el consumo directo como el procesamiento industrial. También se busca mejorar las características agronómicas como tamaño y firmeza del fruto y porte uniforme de las plantas para facilitar una cosecha mecanizada (Saavedra *et al*., 2006; Saavedra y González, 2006; Cámara, 2007). El empleo actual de los diseños dialélicos tienen su origen en el desarrollo de los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG), y aptitud combinatoria específica (ACE), establecidos por Sprague y Tatum (1942), quienes definen la ACG como el comportamiento promedio de una línea o clon en combinaciones híbridas, y la ACE como las desviaciones de ciertas cruzas que son mejores o peores con base en el comportamiento promedio de las líneas o clones que intervienen en el cruzamiento.

La marchitez vascular del tomate que causa *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Fol), se encuentra distribuida en todo el mundo donde se cultiva el tomate, lo que causa grandes pérdidas en el cultivo. La propagación de este hongo la favorecen las temperaturas cálidas asociadas a alta humedad relativa. El hongo penetra en la planta a nivel del suelo, ya sea por el tallo o por las raíces superficiales y luego se traslada por haces vasculares a toda la planta (González, 2003). Los marchitamientos que provoca se deben a la presencia y actividad del patógeno en los tejidos vasculares xilémicos de las plantas. En pocas semanas el patógeno puede ocasionar la muerte de plantas completas o de sus órganos, que se localizan por arriba del punto de invasión vascular en la mayoría de las plantas (Romero, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético para el presente trabajo consistió de nueve líneas de tomate: cuatro del tipo bola, tres de saladette y dos de Cherry (Cuadro 1). Este material se utilizó para obtener la generación F1, con un cruzamiento dialélico durante el ciclo PV 2013, en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Los cruzamientos se efectuaron con base en el método II modelo I de Griffing (1956). Los frutos de cada cruza se cosecharon en etapa de madurez comercial, a los que se les extrajo la semilla F1; posteriormente

Cuadro 1. Variedades de tomate utilizadas como progenitores y empleadas en los cruzamientos dialélicos.

No.	Variedades	Hábito	Tipo de fruto
1	D4	Determinado	Bola
2	IR9	Indeterminado	Saladette
3	D6	Determinado	Cherry
4	IR13	Indeterminado	Saladette
5	MOLINO	Determinado	Bola
6	VITA	Indeterminado	Cherry
7	SALTILLO1	Semi-indeterminado	Bola
8	SALTILLO2	Semi-indeterminado	Bola
9	NOVA	Determinado	Saladette

se evaluó la generación F1 en campo, para obtener las características agronómicas y de rendimiento, y en el invernadero para detectar su reacción a la inoculación con *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Evaluación del material genético

En el ciclo PV 2014 se realizó la evaluación de los 45 materiales: nueve progenitores y 36 cruzas F1 en un lote experimental de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, Coah., México, localizado entre las coordenadas geográficas 25° 22' latitud Norte y 101° 02' longitud Oeste, y a una altitud de 1742 msnm, con un clima muy seco: BW hw (x') (e) y semicálido. Las plantas de tomate se podaron a dos tallos. El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de cinco plantas, en surcos de 1.5 m de largo, con una distancia entre surco de 1 m y .30 cm entre plantas, de las que se evaluaron las tres plantas centrales de cada genotipo.

Variables de rendimiento evaluadas

Rendimiento (RDT). Se evaluó el rendimiento en t ha^{-1} considerando la producción de tres plantas centrales y una densidad de siembra de 33,333 plantas por ha.

Peso promedio de frutos (PPF). El peso total que se obtuvo se dividió entre el número de frutos totales de cada genotipo por planta y se midió con una báscula digital.

Peso total de fruto por planta (PTFPP). Este valor se determinó con base al peso de los frutos obtenidos de cinco cortes, que se dividió entre las tres plantas muestreadas.

Número de frutos por planta (NFPP). Se determinó por el número de frutos obtenidos de cada genotipo entre el número de plantas muestreadas.

Diámetro polar (DP). Se tomó una muestra de cinco frutos al azar por cada progenitor y cruza de la tercera cosecha, a los cuales se les midió con un calibrador vernier convencional para obtener su media, que se reportó en milímetros (mm).

Diámetro ecuatorial (DE). Se determinó de forma similar a la variable diámetro polar: con la medición perpendicular al eje de los polos.

El análisis de varianza para calcular la ACG y ACE con p (p+1)/2 combinaciones, se realizó de acuerdo con el método II de Griffing (1956), considerando el modelo I en el que los progenitores se escogen deliberadamente.

El modelo para el análisis de aptitud combinatoria fue:

$$X_{ijkl} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + b_k + (gb)_{ijk}\ 1/bc + \Sigma\Sigma e_{ijkl}$$

l, j = 1, 2, …, p

K = 1, 2, …, b

I = 1, 2, …, c

Dónde: X_{ijkl} = valor fenotípico observado;

μ = media general del experimento,

gi y gj= efecto de ACG de los progenitores,

Sij = efecto de ACE para el cruzamiento i x j (Sij = Sji),

Bk = efecto del bloque k,

(gb)ijk = efecto de la interacción del genotipo ij y el bloque k, $1/bc\Sigma\Sigma e_{ijkl}$= efecto residual de la observación ijkl.

Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tuckey al 0.05 de probabilidad. El análisis estadístico se realizó con el programa Statitical Analysis System (SAS Versión 9.0.), y se utilizó el programa Diallel-SAS (Zhang y Kang, 2003) para los análisis de varianza y estimación de efectos.

Reacción a la inoculación con la raza 3 de Fol

Este experimento se estableció en el invernadero No. 7 de la UAAAN. Se inocularon los nueve progenitores y sus 36 híbridos F_1 a los 30 días posteriores a la siembra: tres plantas de cada material con tres repeticiones. Primero se extrajeron con cuidado las plántulas de las celdas semilleros y con una piceta se les eliminó el exceso de sustrato, luego se cortaron dos centímetros de las puntas de las raíces y se sumergieron por 10 minutos en una suspensión de 1 x 10^6 conidios por mL, de una cepa de la raza 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Después de la inoculación, las plántulas fueron trasplantadas en charolas de plástico de 5 L de capacidad que contenían suelo estéril y *peat moss* en proporción de 1:1. La reacción a la inoculación *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* se registró 16 días después de la inoculación según Marlatt *et al*. (1996) (Cuadro 2).

Los valores de la escala asignados a los síntomas en las plántulas se transformaron a un índice de enfermedad en porcentaje para cada uno de los progenitores y cruzas, que se obtuvieron de la siguiente manera:

$$IE = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}\right) 0.2\right] 100$$

Donde:

Xi = Severidad de la enfermedad en la i-ésima plántula

n = Número de plántulas evaluadas

0.2 = Factor de corrección para porcentajes de enfermedad

Cuadro 2. Niveles de severidad de los síntomas de la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) en el cultivo de tomate.

Niveles	Intensidad de la enfermedad
0	Planta libre de síntomas
1	Planta ligera clorosis en hojas inferiores
2	Planta con ligera clorosis y ligera marchitez y achaparramiento
3	Clorosis moderada, marchitamiento y achaparramiento
4	Severa clorosis, marchitamiento y achaparramiento
5	Planta muerta

Fuente: Marlattet *et al*. (1996).

Los índices de enfermedad que se obtuvieron en las diferentes cruzas y progenitores se utilizaron para determinar el avance de la enfermedad y la respuesta a la inoculación del patógeno, el cual se obtuvo mediante el cálculo del área bajo la curva de crecimiento de la enfermedad (ABCDE), de acuerdo con Shaner y Finney (1977).

$$ABCDE = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{(X_{i+1}) + X_i)}{2}\right] (T_{i+1} - T_i$$

Donde:

Xi= Proporción de enfermedad en la i-ésima observación

T (i+1) – T1= Tiempo entre dos lecturas

n= Número de evaluaciones

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios del análisis genético dialélico (Cuadro 3) mostraron diferencias ($p \leq 0.01$) de ACG para las variables PPF, NFPP, DP y DE, lo que puede explicarse por la gran diversidad en la genética manifiesta, y por la expresión de sus caracteres fenotípicos como tipo y forma del fruto, hábito de crecimiento de la planta. Las variables RDT y PTFPP no presentaron diferencias significativas, en lo que probablemente influyó el número de cortes, que por lo general fueron cinco, además de que los rendimientos fluctuaron entre 40 y 50 t ha^{-1}, además, aunque los frutos tipo cherry presentaron tomates más pequeños pero fueron más numeroso, con lo que aseguraron una mayor producción.

El cuadrado medio para ACE mostró diferencias ($p \leq 0.01$) para NFPP, DP, DE y diferencias ($p \leq 0.05$) en RDT y PTFPP; con respecto a PPF no se observaron diferencias significativas. Debido a la interacción entre los genes, resultó una correcta complementación y mejor expresión fenotípica al incrementar el número de frutos, lo cual ocasionó mayor peso total por planta debido a la presencia de un hábito intermedio entre determinado e indeterminado, y una resistencia de mayor peso y más racimos fuertes de frutos.

En la fuente de variación genotipos, la contribución a la variable RDT fue de 15.97% para los efectos aditivos (ACG) y 84.03% por efectos no aditivos (ACE); en PPF fue de 64.97% y 35.03% para los efectos de ACG y ACE. En cuanto a PTFPP, obtuvo 15.95% de ACG y 84.05% de ACE, y respecto a la variable NFPP, tuvo 56.15% de ACG y 43.85% de ACE. Algunos autores como García y Vallejo (1990) encontraron diferencias significativas tanto para ACG y mayor dominio para ACE en las variables producción por planta y peso promedio de fruto; además, en la variable número de frutos por planta encontraron diferencias para los dos tipos de AC. Para el tamaño y forma del fruto, la variable DP contribuyó con un ACG de 68.94% y 31.06% de ACE, y en la variable DE aportó 60.72% para ACG y 39.28% para ACE. Amaral *et al.* (1996), con el análisis dialélico evaluaron las características de peso del fruto comercial (CFW), espesor medio de la pulpa (ATP) y el número promedio de lóculos por fruto (NLF) de seis genotipos, las cuales presentaron efectos génicos no aditivos para CFW, efectos genéticos aditivos para ATP, en tanto que para NLF mostraron un valor igual para efectos aditivos y no aditivos.

En la estimación de los efectos de ACG de las líneas progenitoras del cruzamiento dialélico analizado bajo el método II modelo I de Griffing (1956), se observó (Cuadro 4) que la variable RDT en la va-

Cuadro 3. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis dialélico de nueve progenitores de tomate y sus 36 cruzas evaluadas en la localidad de Saltillo, Coahuila en el ciclo P-V-2014.

F.V	G.L	RDT	PPF	PTFPP	NFPP	DP	DE
REP	2	2885.88**	7226.42**	8.15**	356.01	4.70	7.94
GEN	44	555.53*	3007.59*	1.57*	746.12**	273.66**	166.45**
ACG	8	488.00	10747.26**	0.44	1306.71**	1037.57**	555.87**
ACE	36	570.539*	1287.66	0.51*	399.33**	103.90**	79.91**
ERROR	88	352.99	966.99	0.32	173.52	52.94	38.26
TOTAL	178	4852.94	23235.92	10.99	3981.69	1472.78	848.43
C.V.		39.01	37.11	39.03	33.14	15.41	14.20
MEDIA		48.16	83.80	1.44	39.75	47.23	43.56

*, ** Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01. FV= Fuente de Variación; GL= Grados de Libertad; REP= Repetición; ACG= Aptitud combinatoria general; ACE= Aptitud combinatoria específica; CV= Coeficiente de variación.

Cuadro 4. Se presenta la estimación de los efectos de ACG del cruzamiento dialélico analizado bajo el método II modelo I de Griffing (1956).

Variedades	RDT	PPF	PTFPP	NFPP	DP	DE
D4	-0.49	13.93**	-0.01	-7.56**	-2.53*	4.08**
IR9	0.52	2.22	0.02	-0.95	5.86**	0.00
D6	-4.78	-14.34**	-0.14	4.71*	-5.00**	-3.55**
IR13	-1.56	-0.90	-0.05	-1.95	7.55**	-1.49
MOLINO	4.95	6.85	0.15	-2.04	-2.21	2.56**
VITA	-4.84	-34.98**	-0.14	19.99**	-9.96**	-7.22**
SALTILLO1	6.56*	27.42**	0.20*	-7.04**	-0.68	6.48**
SALTILLO2	-1.06	9.76	-0.03	-4.65*	3.29**	0.66
NOVA	0.69	-9.21	0.02	-0.50	3.67**	-1.51

*, ** Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

riedad SALTILLO 1 obtuvo el valor más alto de ACG, con una diferencia ($p \leq 0.05$), mientras que las líneas MOLINO, NOVA e IR9 presentaron valores positivos. SALTILLO 1 y D4 presentaron los valores más altos para PPF ($p \leq 0.01$), y los progenitores SALTILLO 2, MOLINO e IR9 presentaron valores positivos.

Respecto a la variable PTFPP, los progenitores SALTILLO 1, MOLINO, IR9 y NOVA presentaron valores positivos, en tanto que el resto de los materiales reportaron valores negativos, lo que indica que estos progenitores no son aptos para programas de cruzamientos, aun cuando se aprovechen sus efectos aditivos. La característica NFPP encontró a VITA y D6 como sobresalientes ($p \leq 0.01$) y ($p \leq 0.05$), en tanto que las variedades D4 y SALTILLO 1 presentaron valores altos negativos. Lo anterior resalta a los progenitores SALTILLO 1 e IR9 que presentan valores positivos altos para las siguientes variables:

RDT, PPF, PTFPP y NFPP, lo que indica que son buena fuente de germoplasma para desarrollar futuros programas de mejoramiento. Todo lo contrario sucede con los progenitores IR13, VITA y D6 que tuvieron valores negativos para las cuatro variables arriba mencionadas. Para DP, los progenitores IR13, IR9, NOVA y SALTILLO 2 presentaron diferencias ($p \leq 0.01$); en contraste, VITA y D6 tuvieron valores negativos con diferencias ($p \leq 0.01$), así como D4, con diferencia ($p \leq 0.05$). Respecto a DE, los progenitores SALTILLO 1, D4 y MOLINO presentaron una diferencia ($p \leq 0.01$); en contraparte VITA y D6 presentaron diferencias de ($p \leq 0.05$) con resultados negativos.

En la estimación de los efectos de ACE del cruzamiento dialélico analizado bajo el método II modelo I de Griffing (1956), (Cuadro 5), para RDT se encontraron resultados positivos y significativos para los híbridos D6 x SALTILLO 2 y MOLINO x SALTILLO 1, con 31.05 y 24.20; en SALTILLO 1 X SALTILLO 2 mostró -25.50 con ($p \leq 0.01$). García y Vallejo (1990) mencionan que los sistemas de interacción, especialmente de complementación entre los genes responsables de la expresión del carácter, en ACE pueden reflejar resultados de efectos negativos en progenitores superiores o en híbridos inferiores. En PPF, las cruzas con valores positivos altos fueron de 49.45 ($p \leq 0.01$) para IR13 x SALTILLO 2 y de 34.06 ($p \leq 0.05$) para D6 x SALTILLO 2. En la variable PTFPP, las cruzas con valor positivo se presentaron para los híbridos D6 x SALTILLO 2 y MOLINO x SALTILLO 1 con valores de 0.93 y 0.73, y una diferencia de ($p \leq 0.05$) y ($p \leq 0.01$), respectivamente. Respecto a NFPP, se encontró a VITA x SALTILLO 2 con significancia ($p \leq 0.01$) y valor de 31.25, y a SALTILLO 1 x NOVA y con significancia ($p \leq 0.05$) y valor de 22.79. Leyva *et al.* (2013), señalan que la productividad en tomate se atribuye al número de frutos por planta y tamaño del fruto. En este caso, las cruzas presentaron un diámetro de fruto intermedio entre tomates tipo bola y tomates cherry, con lo que se generó mayor cantidad y tamaño aceptable en la generación F_1.

Para DP se presentó valor positivo con significancia ($p \leq 0.01$) en SALTILLO 2 x NOVA con 11.01, así como IR9 x D6 con 9.77. En cuanto a DE, la cruza D6 x SALTILLO 2 y SALTILLO 1 x SALTILLO 2 presentaron valor positivo, con significancia ($p \leq 0.01$) respecto a los demás, y sus valores fueron de 11.27 y 8.57. Martínez *et al.* (1989), al utilizar el método experimental 2, modelo I (Griffing, 1956), para un cruzamiento dialélico, encontraron diferencias ($p \leq 0.01$) en los efectos de ACG y de ACE para todos los caracteres similares a los mencionados, a excepción del carácter producción de frutos de primera (frutos de más de 180 g).

Bajo el diseño de bloques al azar, se analizaron en nueve genotipos de tomate los cuadrados medios del ANOVA para la reacción a la inoculación de Fol (Cuadro 6). En el estudio la fuente de variación genotipo presentó diferencia ($P \leq 0.05$), lo cual se debió a la variabilidad presente en cada uno de los genotipos estudiados: algunos con hábito determinado e indeterminado (este último genera más follaje y es probable que genere mecanismos de defensa contra Fol), otros con marchitamiento involuntario o desprendimiento de hojas o vasos vasculares.

El área bajo la curva de desarrollo de una enfermedad (ABCDE) se considera como un parámetro epidemiológico que se utiliza en el estudio de la resistencia de las plantas a las enfermedades (Haynes y Weingartner, 2004). El Cuadro 7 en el Área Bajo la Curva del Desarrollo de la Enfermedad (ABCDE), se encontró a VITA con 780 y SALTILLO 2 con 800 porcentaje por día, respectivamente en el avance total en los cinco conteos realizados, confirmando con esto diferentes niveles de resistencia horizontal presente en todos los progenitores evaluados. Vanderplank (1984) señala a la resistencia horizontal como una forma de reducción de la tasa del incremento de la enfermedad de cada uno de los sitios de infección en la planta y, por lo tanto, retrasa la propagación de la enfermedad y el desarrollo de las epifitias en el campo, destacando que este tipo de resistencia no evita que las plantas sean infectadas. Ambos genotipos pueden ser elegidos para seguir un proceso de mejoramiento donde se aprovechen los genes de resistencia a este patógeno. Escalante y Farrera (2004) señalan que los menores valores de ABCDE corresponden a los materiales con menor incidencia de enfermedad, es decir con mayor nivel de resistencia.

En la Figura 1 se presenta la comparación del ABCDE de los nueve progenitores; los genotipos VITA y D6 con una mayor incidencia al inicio de enfermedad con respecto al resto de genotipos, esto pudo ser debido a que se caracterizaron por tener raíces cortas. La enfermedad continuó avanzando siendo el genotipo D6. Los progenitores VITA y SALTILLO 2 registraron menor grado de susceptibilidad; sin embargo, se puede observar que todos los progenitores son susceptibles a esta enfermedad.

Cuadro 5. Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 36 híbridos F1 evaluados en Buenavista, Saltillo, Coahuila, durante el ciclo P-V 2014.

Cruzas	RDT	PPF	PTFPP	NFPP	DP	DE
D4xIR9	-7.09	5.21	-0.21	-5.24	-9.83**	-2.84
D4xD6	-8.62	-3.46	-0.26	-10.90	-3.84	-4.08
D4xIR13	-7.07	4.39	-0.21	-4.90	0.28	-1.00
D4xMOLINO	-4.98	-21.74	-0.15	5.19	-2.02	-4.79
D4xVITA	-2.25	-15.15	-0.07	-0.51	0.59	-0.28
D4xSALTILLO1	0.67	19.01	0.02	-1.81	6.64	6.96*
D4xSALTILLO2	3.93	0.70	0.12	1.46	1.21	-2.23
D4xNOVA	2.80	-14.54	0.08	9.31	-4.30	0.35
IR9xD6	-2.48	13.27	-0.07	-13.18	9.77**	2.80
IR9xIR13	0.77	-11.79	0.03	2.49	2.42	0.40
IR9xMOLINO	0.29	11.40	0.01	-4.42	2.85	-0.05
IR9xVITA	-11.39	-24.37	-0.34	16.88*	-8.54*	-5.01
IR9xSALTILLO1	-9.11	-3.19	-0.27	-5.42	-1.42	-3.17
IR9xSALTILLO2	14.52	14.30	0.43	2.52	7.09	3.38
IR9xNOVA	-6.25	0.75	-0.19	-3.96	4.90	-1.18
D6xIR13	-5.97	-8.82	-0.18	-6.18	-0.05	2.63
D6xMOLINO	5.81	8.11	0.18	-4.08	0.58	2.57
D6xVITA	4.62	20.40	0.14	-9.78	5.92	0.41
D6xSALTILLO1	5.55	-4.91	0.17	-0.75	0.18	-0.74
D6xSALTILLO2	31.05**	34.06*	0.93**	0.52	6.21	11.27**
D6xNOVA	-16.23	1.95	-0.49	-16.63*	0.50	-1.56
IR13xMOLINO	-1.94	1.40	-0.06	-2.08	6.36	-0.56
IR13xVITA	2.65	-3.38	0.08	-1.78	-1.03	2.82
IR13xSALTILLO1	17.51	6.06	0.52	5.25	4.69	5.60
IR13xSALTILLO2	11.26	49.45**	0.34	-6.81	0.86	5.14
IR13xNOVA	-5.97	-5.01	-0.18	-1.63	-1.65	-0.42
MOLINOxVITA	-6.77	-9.74	-0.21	-5.69	-0.47	-0.77
MOLINOxSALTILLO1	24.20*	11.39	0.73*	8.34	3.52	7.01*
MOLINOxSALTILLO2	1.26	-21.33	0.04	6.28	0.09	-4.71
MOLINOxNOVA	-16.70	-11.18	-0.50	-2.21	-7.42*	-0.14
VITAxSALTILLO1	8.54	9.83	0.26	-13.36*	5.40	2.38
VITAxSALTILLO2	3.73	-27.31	0.11	31.25**	-5.36	0.20
VITAxNOVA	6.46	-27.31	0.19	-12.24	-4.14	-1.76
SALTILLO1xSALTILLO2	-25.50**	21.13	-0.76**	-13.05	0.89	8.57**
SALTILLO1xNOVA	18.05	30.09	0.54	22.79**	-5.09	-1.45
SALTILLO2xNOVA	23.58*	-22.61	0.71*	7.40	11.01**	2.43

*, ** Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente. Reacción de progenitores a la inoculación con Fol.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción del avance de la enfermedad de los nueve progenitores a la inoculación de Fol.

F.V	G.L	C.M
REPETICIÓN	3	150.00
GENOTIPO	8	366.321*
ERROR	24	130.21
C.V	27.76	
MEDIA	41.11	

** Altamente significativo a 0.01; FV= Fuente de Variación; GL= Grados de Libertad; C.M= Cuadrado Medio; C.V= Coeficiente de Variación.

Cuadro 7. Área bajo la curva de desarrollo de la enfermedad (ABCDE) e incidencia de la enfermedad de los nueve progenitores a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol).

Variedades	ABCDE total %/48 días	Incidencia de la enfermedad %/48 días
D4	1020	0.41
IR9	1160	0.23
D6	1580	0.29
IR13	980	0.22
MOLINO	1320	0.44
VITA	780	0.14
SALTILLO1	980	0.28
SALTILLO2	800	0.27
NOVA	860	0.19

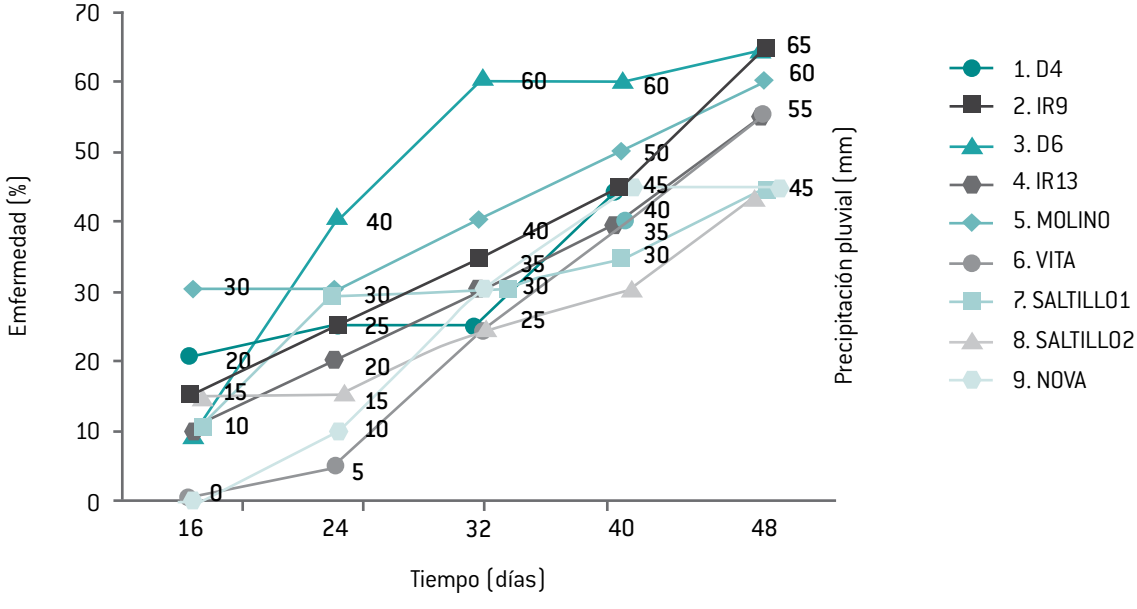

Figura 1. Área bajo la curva de desarrollo de la enfermedad (ABCDE) de nueve genotipos progenitores frente a Fol.

Reacción de híbridos F_1 a la inoculación con Fol

Los cuadrados medios del ANOVA para la reacción a la inoculación de Folen 36 híbridos F_1 (Cuadro. 8), en las fuentes de variación genotipo presentó diferencias ($P \leq 0.01$), las cuales pueden atribuirse a la variabilidad presente en cada uno de los genotipos, algunos de hábito determinado e indeterminado.

En relación con el área bajo la curva de desarrollo de la enfermedad en los híbridos (Cuadro 9), ésta indica que la enfermedad progresó más lento en algunas cruzas que en otras. La cruza con menor nivel de incidencia fue D4 x VITA, con valor de 740 por día, con una incidencia media de 30% por cada conteo, seguida del híbrido VITA x SALTILLO 2 con valor de 760, de lo que se deduce que los genotipos presentaron resistentes a la infección debido a los genes menores presentes en sus progenitores, de los cuales VITA fue el de menor grado de infección ante *Fusarium*.

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción del avance de la enfermedad en 36 cruzas a la inoculación de Fol.

F.V	G.L	C.M
REPETICIÓN	3	1891.95**
GENOTIPO	35	1144.65**
ERROR	105	128.54
C.V	18.71	
MEDIA	60.61	

En la Figura 2 se presenta el ABCDE de 10 cruzas F_1. Con base en los resultados, hubo cinco cruzas sobresalientes en resistencia y cinco de los híbridos como susceptibles al hongo, de los que se muestran D4 x SALTILLO 1 y D6 x SALTILLO 1, como los más infectados. Los híbridos que contrarrestaron el avance del patógeno fueron IR13 x VITA e IR13 x MOLINO, probablemente debido a los genes de resistencia heredados de sus progenitores. Apodaca *et al.* (2001) encontraron un crecimiento rápido de dos días de Fol a la concentración de 1.75×10^4 microconidios, al inocular semillas de tomate expuestas sobre papel filtro; en otras evaluaciones en tomate, descubrieron un mejor desarrollo de infección y virulencia a 25° C de Fol. Estos estudios estiman y determinan el comportamiento de la enfermedad y pueden descubrir nuevas razas.

En estudios particulares de severidad de aislamientos de *Fusarium* en una región de Brasil, se encontró la raza 3 de *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici,* nunca antes documentada. Los lotes de semillas comerciales importadas a Brasil pueden ser la fuente de contaminación, por lo que la forma más acertada de controlar la infección de Fol es teniendo variedades adaptadas a dicha región (Reis y Boiteux, 2005).

Cuadro 9. Área bajo la curva de desarrollo de la enfermedad (ABCDE) de diez cruzas seleccionadas y sobresalientes ante Fol.

Cruzas	ABCDE total %/48 días	Incidencia de la enfermedad %/48 días
D4xVITA	740	0.30
VITAxSALTILLO2	760	0.38
VITAxSALTILLO1	860	0.19
IR13xVITA	860	0.25
D6xVITA	940	0.27
MOLINOxVITA	1000	0.33
IR9xVITA	1020	0.29
VITAxNOVA	1100	0.31
IR13xMOLINO	1160	0.39
IR13xSALTILLO2	1230	0.23

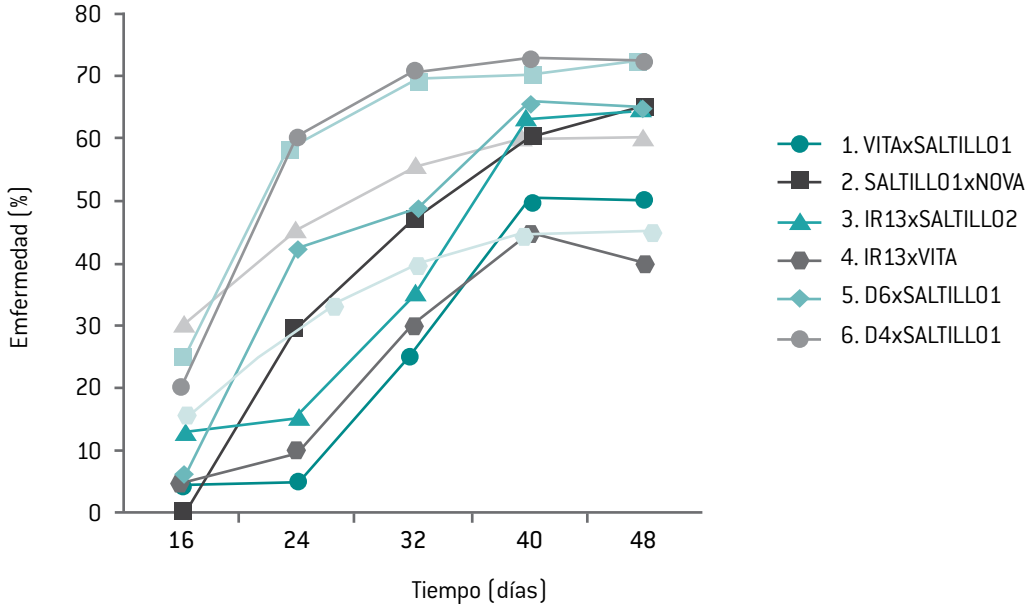

Figura 2. Área Bajo la Curva de Desarrollo de la Enfermedad (ABCDE) de 10 cruzas frente a Fol.

CONCLUSIÓN

Los efectos de ACE fueron superiores a los efectos de ACG, lo cual sugiere considerar el mejoramiento de los progenitores por hibridación. La variedad SALTILLO 2 mostró la mayor ACE y las más altas combinaciones hibridas, por lo que se sugiere considerarlo en un programa de mejoramiento donde se aprovechen los efectos aditivos y de dominancia como el método de mejoramiento por hibridación. La variedad D4 mostró el mayor efecto de ACG y alto rendimiento, por lo que cabe la posibilidad de que pueda ser usada en un programa de mejoramiento genético, como el método de Pedigree diseñado para explotar la acción génica aditiva. Las cruzas que dieron mayor rendimiento fueron: IR13 x SALTILLO 1, VITA x NOVA e IR9 x SALTILLO2 con 83.88, 73.46 y 73.38 t ha^{-1}, respectivamente. Para a FOL, el genotipo VITA mostró índice de enfermedad de 780, y los híbridos D4 x VITA y VITA x SALTILLO 2 reportaron 740 y 760, lo que se considera un nivel de resistencia parcial, aprovechable con el propósito de desarrollar genotipos con resistencia horizontal.

LITERATURA CITADA

Amaral, A. T., V. W. Días, C. A. Scapim, D. J. Henriques, & C. Damiao. 1996. Análise dialélica da capacida de combinatoria de cultivares de tomateiro. Bragantia, Campinas, 55(1):67-73.

Apodaca, M. A., E. Zavaleta, & S. Osada. 2001. Comparación de Técnicas Para Evaluar *in vitro* la Patogenicidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* y Efecto de la Temperatura. Revista Mexicana de Fitopatología 19(2): 196-202.

Cámara, H. 2007. Innovation in processing tomato: the lab and the field. Acta Horticulturae 2 758:97-102.

Escalante, O. M., & P. R. Farrera. 2004. Epidemiologia del Tizón Tardío (*Phytophthora infestans* Mont de Bray) de la papa en zonas productoras del Estado Táchira, Venezuela. Bioagro 16:47-54.

García, A., & F. A. Vallejo. 1990. Habilidad combinatoria para el carácter producción por planta y sus componentes primarios en un cruzamiento dialélico de siete líneas de tomate Chonto *Lycopersicon esculentum* Mill. Rev. Acta Agro. 40(1-2): 32-41.

Gonzáles, P. 2003. Enfermedades del tomate. Marchita_miento vascular del tomate (en línea). Facultad de agronomía / Unidad de Fitopatología. Montevideo. Uruguay. Consultado 10 agosto 2003. Disponible en http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/enfermedades/fusarium_tom.html

Griffing, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. Biol. Sci. 9: 463-493.

Haynes, K.G., & D. P. Weingartner. 2004. The use of area under the disease progress curve to assess resistance

to late blight in potato germplasm. Amer J Potato Res 81:137-141.

Leyva, R., C. Constán-Aguilar, B. Blasco, E. Sánchez-Rodríguez, L. Romero, T. Soriano, & J. M. Ruíz. 2013. Effects of climatic control on tomato yield and nutritional quality in Mediterranean greenhouse. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94, 63–70.

Marlatt, M., J. Correll, & P. Kaufman. 1996. Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. Plant. Dis. 80:1336-1342.

Martínez, B.A., R. Sanint, & F. A. Vallejo. 1989. Análisis de la heterosis y de la habilidad combinatoria entre diferentes cultivares de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill., a partir de un cruzamiento dialélico. Acta Agron. Vol. 39(1-2):24-33.

Reis, A. H., L. S. Boiteux, & C. A. López. 2005. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Brazil. Fitopatología Brasileira 30: 426-428.

Rodríguez, E., A. Carballo, G. A. Baca, A. G. Martínez, & M. R. Rosas. 2004. Genetic parameters of mean fruit weight and their components of tomato. Act. Hort. 637:145-148.

Romero, C. S. 1993. Hongos Fitopatógenos. Universidad Autónoma de Chapingo. Dirección General del Patronato Universitario. Texcoco, Estado de México. 347 p.

Saavedra, D., G. Escaff, P. Cortacáns, & C. Ruiz-Tagle. 2006. Recent Development in Processing Tomato Production in Chile. Acta Horticulturae 724:335-8.

Saavedra, D., & M. González. 2006. Seminario internacional: Producción de tomate para procesamiento. Serie Actas Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago (Chile).

Shanner, G., & R. Finney. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox. Phytopathology 67:1051-1056.

Sprague, G. F., & L. A. Tatum. 1942.General vs Specific Combining Ability in Single Crosses of Corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.

Vanderplank, J. E. 1984. Disease Resistance in Plants. Second Edition. Academic Press, Inc. Orlando, San Diego, San Francisco, N. Y., London. p. 194.

Zhang, Y., & M. S. Kang. 2003. DIALLEL-SAS: A program for Griffing´sdiallel methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders. *In*: Kang, M. S. (ed). FPP. New York. London. Oxford. 347p.