

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
PROGRAMA DE GRADUADOS



**POTENCIAL GENÉTICO EN TOMATE PARA RENDIMIENTO Y
RESISTENCIA A *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* (Fol) (SACC.)
SNYDER Y HANSEN**

ODILON GAYOSSO BARRAGAN

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial

para Obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

Saltillo, Coahuila, México, Junio de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

POTENCIAL GENÉTICO EN TOMATE PARA RENDIMIENTO Y RESISTENCIA

A *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* (Fol) (SACC.) SNYDER Y HANSEN

TESIS

POR

ODILON GAYOSSO BARRAGÁN

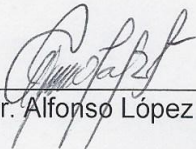
Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada

como requisito parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



Dr. Alfonso López Benítez

Asesor:

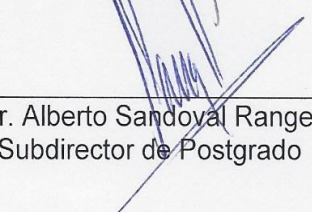


Dr. Fernando Borrego Escalante

Asesor:



Dr. José Espinoza Velásquez



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México, Junio de 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi “Alma Terra Mater”, **la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios y formarme profesionalmente, permitiéndome alcanzar una meta más en mi vida.

Al personal del **Departamento de Fitomejoramiento** en especial a los maestros por transmitirme parte de sus conocimientos y la mistad que me brindaron.

Al **Dr. Alfonso López Benítez**, por brindarme su apoyo en la realización de este trabajo, su constante asesoría, su tiempo y su amplio conocimiento en diversas áreas de la ciencia.

Al **Dr. Fernando Borrego Escalante**, por el gran apoyo que me brindo para poder llevar a cabo este trabajo, además de colaborar en la revisión y participar como jurado calificador.

Al **Dr. José Espinoza Velázquez**, por su apoyo en la realización y revisión de este trabajo y apoyo brindado en todo momento.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de Maestría.

A la Secretaria **Norma González**, por todo su apoyo brindado durante mi estancia en la maestría, por estar siempre pendiente en la realización de los documentos que se necesitaron.

A mis Compañeros del Postgrado y Amigos (Julio, Samuel, Carlos, Marco) por todo su apoyo brindado incondicionalmente y por todas las experiencias vividas en el transcurso de mis estudios de Maestría.

DEDICATORIA

A mis padres: **Sr. Francisco Gayosso Neri** y **Sra. Petra Barragán García** por darme el mejor de los regalos (la vida) acompañado de amor, ternura y cariño en todo momento, además de sus sabios consejos, valores y principios inculcados en mí para lograr con ello caminar por el camino de la verdad, humildad y el respeto. Para ellos con mi más grande amor, admiración y respeto.

A mi esposa **Josefina Neri Yáñez** con todo mi amor, gracias por estar conmigo y ser parte de este logro importante.

A mis hijos **Carlos Alberto** y **María José** que son lo más hermoso que me ha pasado en la vida

A mis hermanos: **Fernando, Mayolo, Eulogio, Dora y Robe** por ser parte importante en mi formación profesional. Para todos y cada uno de ellos con mucho cariño y admiración.

A mis sobrinos **Jony, Eulogio, Edgar, Michel, Kevin, Jeimy y Jocsan** para todos ellos que son el fruto y la semilla de la familia, con mucho cariño.

A mis primos, a todos y cada uno de ellos por todo el apoyo incondicional que me han brindado en cada momento.

COMPENDIO

POTENCIAL GENÉTICO EN TOMATE PARA RENDIMIENTO Y RESISTENCIA

A *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* (Fol) (SACC.) SNYDER Y HANSEN

POR

ODILON GAYOSSO BARRAGAN

MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARÍA “ANTONIO NARRO”

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO 2015.

Dr. Alfonso López Benítez -Asesor-

Palabras Clave: *Solanum lycopersicum*, Resistencia genética, Aptitud combinatoria general (ACG), Aptitud combinatoria específica (ACE), Heterosis.

El objetivo de este estudio fue estimar la Aptitud Combinatoria (AC) en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus 21 híbridos F₁ para características agronómicas importantes e identificar niveles de resistencia a la raza 3 de *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* (Fol). El trabajo se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en el ciclo agrícola O-I 2013 y P-V 2014; los efectos genéticos se analizaron usando el método 2 modelo I de Griffing (1956) y el método II de Gardner y Eberhart (1966); se estimó un índice de enfermedad para determinar el avance y la respuesta de los progenitores y su F₁ a Fol mediante el Área bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Especifica (ACE) para diámetro ecuatorial, diámetro polar, peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso de frutos por planta y rendimiento. Los valores más altos de ACG y ACE para rendimiento se observaron en las líneas D4, D3, K3 y en los híbridos K3xD4, R1xY53, D3xIR13 y F3xY53. Los efectos de tipo no aditivo (ACE) se observaron en mayor proporción que los efectos aditivo (ACG). La línea D3 presenta buena aptitud combinatoria para rendimiento y resistencia a Fol por lo que puede utilizarse en un programa de mejoramiento genético para estas características.

ABSTRACT

GENETIC POTENTIAL IN TOMATO FOR YIELD AND RESISTANCE TO
Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* (Fol) (SACC.) SNYDER Y HANSEN

BY

ODILON GAYOSSO BARRAGAN

MASTER OF SCIENCE IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARÍA “ANTONIO NARRO”

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO 2015.

Dr. Alfonso López Benítez -Advisor-

Key Words: *Solanum lycopersicum*, genetic resistance, General combining ability (GCA), Specific combining ability (SCA), Heterosis.

The objective of this study was to estimate the combining ability (AC) of seven lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and their 21 F₁ hybrids for important agronomic traits and to identify levels of resistance to race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol). The work was carried out in a greenhouse of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), at Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico, in the agricultural cycles autumn-winter 2013 and spring-summer 2014. Genetic effects were analyzed using the method 2 model I of Griffing (1956) and method II Eberhart and Gardner (1966). A disease index was estimated to determine the reaction of parents and F₁ crosses to Fol by means of the area under the disease progress curve (AUDPC). Significant differences were observed ($p \leq 0.01$) in general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) for equatorial diameter, polar diameter, fruit weight, number of fruit per plant, weight of fruit per plant and yield. The highest values of GCA and SCA for yield were observed in the lines D4, D3, K3 and in the hybrids K3xD4, R1xY53, D3xIR13 and F3xY53. The not additive effects (SCA) were observed in greater proportions than the additive effects (GCA). Line D3 showed good combining ability for yield and resistance to Fol and therefore may be used in a genetic improvement program to improve these traits.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen y distribución del cultivo de tomate	4
Clasificación taxonómica	4
Importancia económica.....	4
Mejoramiento genético en tomate	6
Efectos genéticos	7
Cruzamientos dialélicos.....	10
Problemas fitosanitarios	13
Resistencia genética a enfermedades de plantas	14
Resistencia Horizontal (RH)	14
Resistencia vertical (RV)	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Ubicación del Área de Estudio.....	17
Inóculo utilizado	18
Lugares de colecta para muestreo del patógeno.....	18
Obtención de híbridos (Método 2, Modelo I de Griffing, 1956)	20
Evaluación de híbridos y progenitores en campo	22
Variables evaluadas	24
Diseño genético.....	25
Identificación de razas de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici in vitro</i> , mediante cultivares diferenciales.....	28
Respuesta de genotipos de tomate a la inoculación de la raza 3 de Fol	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32

Análisis de varianza del análisis dialélico	32
Análisis de varianza debido a la heterosis.....	40
Estructura de la heterosis de las mejores cuatro cruzas de cada variable	45
Comparación de medias.....	48
Identificación de razas <i>in vitro</i> de Fol mediante cultivares diferenciales.....	50
Evaluación de progenitores a la infección de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	51
Evaluación de las generaciones F ₁ a la inoculación con <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	55
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. LITERATURA CITADA	59
VII. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Genotipos de tomate utilizadas como progenitores, en los cruzamientos dialélicos, método 2 de Griffing.	18
Cuadro 2. Formulación de fertilizantes (g) en 200 L de agua, en el cultivo de tomate.	20
Cuadro 3. Programa de Cruzamientos a través del diseño dialélico Método 2, Modelo I de Griffing (1956).	22
Cuadro 4. Escala para la evaluación de la severidad de los síntomas de la marchitez por <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Fol) en tomate.	29
Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia del análisis dialélico de 7 progenitores de tomate y las 21 cruzas F ₁	32
Cuadro 6. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de 7 líneas de tomate, evaluadas en Buenavista Saltillo, Coahuila, México.	36
Cuadro 7. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 21 híbridos F ₁ de tomate.	38
Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de siete líneas de tomate y sus 21 cruzas analizadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966).	40
Cuadro 9. Heterosis promedio (h), varietal (h _j) y específica (s _{ij}) para características de rendimiento en tomate analizadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966).	42
Cuadro 10. Estructura de la heterosis de las mejores cuatro cruzas de cada variable de acuerdo al valor más alto de heterosis específica.	47
Cuadro 11. Reacción de cuatro genotipos diferenciales de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) inoculados artificialmente con <i>Fusarium Oxisporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , para la identificación de razas en lotes comerciales de tomate en Metepec, Hidalgo.	51

Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para la reacción del avance de la enfermedad de los progenitores a la inoculación de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	52
Cuadro 13. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para la reacción del avance de la enfermedad en 21 F ₁ inoculadas con <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de siete progenitores de tomate a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	53
Figura 2. Curva de desarrollo de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> en siete progenitores de tomate.	54
Figura 3. Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de 21 híbridos de tomate a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	56
Figura 4. Curva de desarrollo de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> en seis híbridos de tomate.....	57

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico; su demanda aumenta continuamente y por lo tanto su cultivo, producción y comercio. México ocupa el onceavo lugar en producción, con una superficie total sembrada en 2013 de 48,234 ha y una producción total de 2.7 millones de toneladas (SAGARPA-SIAP, 2013). Tiene una trascendencia social muy importante, puesto que una parte considerable de la población económicamente activa se encuentra relacionada directa o indirectamente con este cultivo (Lucero *et al.*, 2012).

Las enfermedades en este cultivo son un factor importante que disminuye la cantidad y calidad de la producción; una de éstas, de alto impacto por su repercusión en la reducción en producción y calidad del tomate, es la marchitez vascular, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen, responsable de pérdidas en los rendimientos de hasta 60% (Amaral *et al.*, 2008). El uso de cultivares resistentes es un método de control barato, seguro, no contaminante y confiable para controlar las enfermedades en la producción agrícola (Stakman y Harrar, 1957; Oyervides, 1999). En particular, para ésta enfermedad en tomate es el método más satisfactorio (Blancard, 1997), de aquí que una de las soluciones más importantes, es encontrar variedades de plantas cultivadas capaces de resistir los daños causados por dichas enfermedades.

Los cruzamientos dialélicos en mejoramiento de plantas ha sido muy empleado con la finalidad de encontrar progenitores que muestren parámetros sobresalientes en cuanto a Aptitud Combinatoria y Heterosis (Dorantes *et al.*, 2008).

Entre los diseños genéticos (de apareamiento) más utilizados para encontrar genotipos con características sobresalientes por su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) son los propuestos por Hayman (1954), Griffing (1956) y Gardner y Eberhart (1966). Mediante estos diseños el mejorador logra una mayor eficacia en su programa de mejoramiento, pues le permite seleccionar líneas o genotipos de buen comportamiento promedio, provenientes de una serie de cruzamientos dialélicos (Gutiérrez *et al.*, 2004).

La creación constante de nuevas variedades por medio de la mejora genética tiene como principal objetivo mejorar distintos aspectos como productividad, calidad y adaptación a distintas condiciones de cultivo (Cruz *et al.*, 2003). En tomate, como en otros cultivos, cuando se cruzan un par de progenitores con alta habilidad combinatoria, se puede esperar heterosis alta. Considerando lo anterior, la presente investigación se planteó con los siguientes objetivos e hipótesis.

Objetivos

- ✓ Estimar la Aptitud Combinatoria General (ACG), Específica (ACE) y Heterosis en siete líneas de tomate y los cruzamientos posibles entre ellas para características agronómicas importantes.
- ✓ Identificar niveles de resistencia o susceptibilidad a la raza 3 de *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* en los materiales de tomate materia de estudio de esta investigación.
- ✓ Identificar razas de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* en materiales cultivados utilizados en predios tomateros de Metepec, Hidalgo.

Hipótesis

- ✓ Existen diferencias significativas en la variabilidad genética, en cuando a valores de ACG, ACE y heterosis para características importantes de rendimiento entre progenitores e híbridos.
- ✓ Se espera que al menos uno de los genotipos bajo evaluación resultará de alto rendimiento y resistente a la raza 3 de Fol.
- ✓ Podrán detectarse razas fisiológicas de *Fusarium oxysporum*. f. sp. *lycopersici* (Fol) en Metepec, Hidalgo, región importante en la producción de tomate en México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen y distribución del cultivo de tomate

El tomate es una hortaliza originaria de una amplia región que comprende partes de Perú y Ecuador en América del Sur y probablemente evolucionó a partir de *Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme (tomate silvestre). Sin embargo, fue domesticado y cultivado primero en regiones Mesoamericanas por las primeras civilizaciones indígenas de México (Maharaj y Autar, 2006).

Clasificación taxonómica

De acuerdo al Sistema Integrado de Información Taxonómica (Integrated Taxonomic Information System-ITIS, 2012), el tomate es clasificado como sigue.

Reino: Vegetal

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

Importancia económica

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Se cultiva en la mayoría de los países del planeta excepto en las regiones más frías (Hannan *et al.*, 2007). Es un cultivo con gran valor nutricional, considerado como una fuente importante de vitamina A y C, y minerales, constituye un ingrediente importante en la preparación de salsas, encurtidos, sopa, puré, etc. (Sekhar *et al.*, 2010).

La demanda de frutos de tomate aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. México ocupa el lugar número 11 en producción, con una superficie total sembrada en 2013 de 48,234 ha, y una producción total de 2.7 millones de toneladas. El promedio general de rendimiento calculada para ese año fue de 57.21 t ha⁻¹. Los principales estados productores de tomate en México son: Sinaloa, con 983,288.14 t, Baja California, 196,452.90 t, Zacatecas, 143,905.20 t, San Luis Potosí, 141,108.25, y Jalisco con 134,436.65 t. (SAGARPA-SIAP, 2013).

Este cultivo en México tiene una trascendencia social muy importante, puesto que una parte considerable de la población económicamente activa se encuentra relacionada directa o indirectamente con este cultivo. Es una importante fuente de empleo para un considerable número de familias en México. El comercio internacional del tomate se concentra principalmente en Estados Unidos de América y los países que conforman la Unión Europea. En el caso de EE.UU., su demanda proviene de México y de Canadá; países como Holanda y

España están destinando parte de su mercado al norteamericano y al canadiense (Lucero *et al.*, 2012).

Mejoramiento genético en tomate

El mejoramiento genético de tomate en el mundo es desarrollado principalmente por universidades extranjeras y empresas transnacionales, las cuales venden semillas híbridas que se cotizan en dólares o euros. Debido a esto, los costos de producción son considerablemente altos para muchos productores mexicanos de tomate (Juárez *et al.*, 2000).

El mejoramiento genético es una de las vías más rápidas y efectivas para alcanzar niveles competitivos de rendimiento. La selección del germoplasma inicial puede ser un factor crítico en el éxito de un programa de mejoramiento. Se requiere de información acerca del comportamiento *per se* y aptitud combinatoria del germoplasma disponible (San Vicente *et al.*, 2001).

Durante la mejora de un cultivo, se realizan cruces entre individuos portadores de las características de interés; de las semillas resultantes se seleccionarán las que presenten características que se quieren preservar. La obtención de mejores cultivos ha sido una de las principales aplicaciones de la genética y biotecnología y su contribución a la agricultura es significativa pues se han logrado un gran número de cultivos con diversos beneficios (Miyazaki *et al.*, 1997).

Guerra, (2010) en un estudio sobre potencial genético en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), determinó que los efectos de Aptitud

Combinatoria General fueron superiores a los de Aptitud Combinatoria Específica; logrando con esto identificar el método de mejoramiento más adecuado para las líneas progenitoras.

Hernández, (2013) realizó selección de genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con base en parámetros genéticos para rendimiento y resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) encontrando una gran variabilidad entre los genotipos y aptitud combinatoria general y específica con características sobresalientes para la selección y avance en la siguiente generación.

La estimación de aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica y heterosis para seis variables generó información sobre el potencial de nueve progenitores estudiados y de sus cruzas para el mejoramiento genético de jitomate de crecimiento indeterminado tipo saladete evaluados en un Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (Mendoza *et al.*, 2008).

Efectos genéticos

Dada la importancia que tienen los mecanismos genéticos para los investigadores en mejoramiento de plantas, es importante conocer la variación genética para los diferentes caracteres agronómicos al iniciar cualquier programa de mejoramiento genético (Chávez, 1995).

Los términos de aptitud combinatoria (AC), aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) fueron propuestos por Sprague y

Tatum (1942), posteriormente Griffing (1956) define a la AC como el comportamiento medio de una línea, en las combinaciones híbridas al cruzarse con otras líneas, o bien al comportamiento de una o varias líneas al cruzarse con una variedad de amplia base genética. El término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988).

La ACG se define como el efecto promedio que una línea imparte a sus cruza, medida como la desviación de la media general, es decir es lo que una línea hereda a sus descendientes en promedio de muchas cruza. Son una expresión de los efectos genéticos aditivos. Designa el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas.

La ACE se refiere a la desviación o sesgo del comportamiento predicho en base a las aptitudes combinatorias generales de los padres. Reflejan efectos genéticos no aditivos. Designa aquellos casos en que ciertas combinaciones tienen un comportamiento mejor o peor del que se puede esperar sobre la base del comportamiento promedio de las líneas consideradas.

Mediante el conocimiento de la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra una mayor eficiencia en el programa de mejoramiento, pues le permite seleccionar líneas con un buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de líneas que intervienen en el cruzamiento (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Ambos conceptos sirvieron de base para que Griffing (1956) estableciera sus cuatro métodos del diseño dialélico, los cuales constituyen las herramientas de uso más frecuente para estimar efectos y varianzas de ACG y ACE, así como para el estudio genético de poblaciones biológicas y el entendimiento de la acción génica en caracteres cuantitativos de importancia agrícola.

Heterosis, es simplemente la depresión endogámica invertida, dependiendo ésta del grado de dominancia, de las diferencias entre frecuencias alélicas y de la diversidad genética entre las dos poblaciones que se crucen, la heterosis es máxima cuando un alelo está fijado en una población y otro alelo en la otra población Falconer (1981). Es el comportamiento de la progenie más allá de los límites impuestos por los progenitores.

Hannan *et al.*, (2007) al realizar un análisis de la heterosis de 10 progenitores y 45 cruzas posibles de genotipos de tomate en Bangladesh, encontraron diferencias altamente significativas entre genotipos para todas la características de rendimiento evaluadas, heterosis positiva altamente significativa para número de frutos por planta, peso promedio por planta y días a primer corte, de estos resultados fueron seleccionados tres híbridos por su alto comportamiento heterotico.

Estimaciones de aptitud combinatoria general y específica, junto con distintas mediciones de heterosis obtenidas de diez híbridos comerciales de tomate tipo saladette, de acuerdo con el diseño II de Griffing, permitieron la identificación de progenitores prometedores para un programa de mejoramiento genético de tomate (Martínez *et al.*, 2013).

Cruzamientos dialélicos

Los cruzamientos dialélicos son aquellos cruzamientos donde participan un conjunto de líneas o variedades homocigotas o no y con alta homogeneidad, realizando todas las posibles combinaciones entre sí. El dialélico puede ser completo o parcial (Echeverri *et al.*, 1998).

Vega (1987) señala que los cruzamientos dialélicos han sido utilizados principalmente para obtener información de la población parental con relación a tres aspectos genéticos fundamentales:

1. Estimar varianzas genéticas cuando los padres son individuos o líneas escogidas al azar de una población panmíctica en equilibrio de ligamiento, modelo de Hayman. (Hayman, 1954).

2. Estimar los efectos de capacidad combinatoria general y específica de cruzamientos de un grupo determinado de líneas, modelo de Griffing. (Griffing, 1956).

3. Evaluación de un grupo de variedades de apareamiento aleatorio y de los efectos heteróticos de sus cruzamientos, modelo de Gardner y Eberhart (Gardner y Eberhart, 1966).

En el análisis de cruzamientos dialélicos de Griffing (1956) se pueden generar cuatro métodos de análisis, dependiendo del tipo de material experimental que se utilice:

Método 1: Incluye progenitores, cruza directas y recíprocas, p^2 combinaciones.

Método 2: Incluye progenitores y cruzas directas, pero no tiene en cuenta los recíprocos, $[p(p + 1)]/2$ combinaciones.

Método 3: Incluye cruzas directas y recíprocas pero no incluye los progenitores, $[p(p - 1)]$ combinaciones.

Método 4: Incluye solamente cruzas directas. No incluye los progenitores ni los cruzamientos recíprocos, $[p(p - 1)]/2$ combinaciones.

De acuerdo con la naturaleza de los progenitores, se pueden generar dos modelos de análisis:

Modelo 1 (Modelo fijo), los progenitores han sido deliberadamente seleccionados y constituyen el material *per sé*, sobre el cual se realiza el estudio y no hay una población de referencia sobre la que se hará inferencia de ningún tipo. En estos estudios se estiman efectos genéticos tales como habilidades combinatorias generales y específicas, pero no se pueden determinar componentes de varianzas genéticas y por lo tanto, tampoco heredabilidad.

Modelo 2 (Modelo aleatorio), los progenitores constituyen una muestra aleatoria de genotipos pertenecientes a una población de referencia sobre la que se realizarán ciertas inferencias. En este modelo se pueden estimar componentes de varianza y heredabilidad.

En general, en los modelos genéticos de los dialélicos, los progenitores pueden ser líneas puras o parcialmente endocriadas (S1, S2, etc.), sintéticos, variedades, poblaciones, o algún tipo de familia. Diversos y versátiles programas computacionales han sido generados para obtener los resultados de los análisis

dialélicos de Griffing, sobresalen por su versatilidad los desarrollados por Burrow y Coors (1994) y el de Zhang y Kang (2003).

Gardner y Eberhart (1966), presentaron un modelo para la estimación de efectos genéticos en la F_1 , de un grupo fijo de variedades de cruzamientos aleatorios o de líneas homocigotas usadas como padre. El análisis II del modelo de Gardner y Eberhart (1966), incluye n líneas progenitoras y sus $n(n-1)/2$ cruzamientos.

Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967) propusieron un modelo que considera los efectos de cada progenitor y los efectos de la heterosis por separado. A su vez, clasificaron los efectos de la heterosis en tres tipos: a) la heterosis media (diferencia entre el promedio de las cruzas y el de sus progenitores); b) la heterosis varietal (heterosis promedio con que contribuye un progenitor en las cruzas en que participa), y c) la heterosis específica de cada combinación particular de progenitores.

Amaral *et al.*, (1997) en un estudio de cinco cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) evaluaron variables de rendimiento y calidad mediante el método de Gardner y Eberhart (1966); se encontró alta variabilidad genética entre los padres para la mayoría de los características evaluadas, lo que supone una situación favorable para la aplicación del mejoramiento genético en los progenitores evaluados.

Problemas fitosanitarios

El tomate es una de las hortalizas con mayor problemática fitosanitaria, ya que las enfermedades constituyen un factor limitante en su producción. Las enfermedades patogénicas en tomate están presentes en plántula, follaje, tallos y frutos (Quiroga *et al.*, 2007).

Las enfermedades constituyen un factor importante que disminuye la cantidad y calidad de la producción, y que están siempre presente en los cultivos, debido principalmente al uso inadecuado de los plaguicidas, que han causado alteraciones en la dinámica de las poblaciones de patógenos, las cuales generan mecanismos de resistencia a los agroquímicos aplicados en contra de ellos. Los hongos presentan una gran diversidad de especies patogénicas que varían en su morfología, aptitud patogénica, y adaptación a diversas condiciones climáticas, por lo cual tienen la capacidad de atacar a los cultivos en sus diferentes etapas de desarrollo (Leyva *et al.*, 2013).

Entre las enfermedades más importantes que afectan al cultivo de tomate se encuentra la marchitez vascular, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen, responsable de pérdidas en los rendimientos de hasta 60%, afectando también la calidad del producto. Esta enfermedad afecta al cultivo en al menos 32 países, México incluido, informándose hasta el momento, tres razas, las cuales se distinguen por su virulencia en materiales que contienen genes de resistencia (Amaral *et al.*, 2008).

Los síntomas de la enfermedad se presentan inicialmente con una clorosis foliar en un sector de la planta y a medida que la enfermedad progresa, el

amarillamiento se observa de forma gradual en la mayor parte del follaje, ocasionando la marchitez, y posteriormente la muerte de la planta, presentando una producción escasa o nula de frutos. El tejido vascular en la base del tallo presenta coloración castaño oscuro, extendiéndose hasta el extremo apical del tallo (Báez *et al.*, 2010). Aplicando medidas para superar estos retos en la producción de tomate, el empleo de variedades resistentes resulta, hasta el momento, uno de los métodos más eficaces para el manejo de esta enfermedad (Ascencio *et al.*, 2008; González *et al.*, 2012).

Resistencia genética a enfermedades de plantas

La resistencia es la capacidad de la planta para reducir el crecimiento y desarrollo del patógeno o parásito después que ha ocurrido contacto entre el hospedante y el patógeno, o después que éste ha iniciado su desarrollo, o se ha establecido ya sobre partes de la planta (Niks *et al.*, 1993).

La resistencia manifestada por las plantas se ha clasificado en dos grandes categorías: Resistencia Horizontal y Resistencia Vertical, de acuerdo con (Van der Plank, (1984).

Resistencia Horizontal (RH)

Esta condición de enfermedad está bajo el control de muchos genes (resistencia poligénica). Cada uno de estos genes por separado es ineficaz para contrarrestar el efecto del patógeno y puede tener una función menor en la resistencia total de la planta.

En general, la RH no evita que las plantas sean infectadas, sino que reduce la tasa del incremento de la enfermedad de cada uno de los lugares de infección en la planta, y por lo tanto retrasa la propagación de la enfermedad y el desarrollo de las epifitias en el campo. Esta reducción de la tasa de incremento de la enfermedad ocurre mediante un menor número de esporas que logran infectar el tejido e iniciar una lesión en el cultivar resistente (Van der Plank, 1984). La característica distintiva de RH es que no involucra una relación gen a gen; sin embargo, su característica más prominente es que normalmente, mas no invariablemente, se hereda poligénicamente, aunque en ocasiones se hereda de forma mendeliana sin que estos genes mendelianos establezcan una relación gen a gen. Esto equivale a decir que la resistencia horizontal normalmente es cuantitativa en su herencia y también en sus efectos, exhibiendo todos los grados de diferencia entre un mínimo y un máximo.

Resistencia vertical (RV)

Esta versión de resistencia a enfermedades en plantas suele estar controlada por uno o pocos genes (resistencia monogénica). Estos genes suelen tener un efecto importante sobre la interacción con el patógeno. La resistencia vertical inhibe el desarrollo de epifitias al limitar el inóculo inicial. Las variedades con RV muestran resistencia completa a un patógeno específico en la mayoría de las condiciones ambientales, pero una o varias mutaciones que ocurran en el patógeno pueden originar una nueva raza que entonces puede infectar a la variedad anteriormente resistente.

Este tipo de resistencia no es afectada por condiciones ambientales, por lo que su manifestación es plena y además es muy fácil de incorporar en programas comunes de mejoramiento, por lo que es ampliamente usada en estos procesos (Van der Plank, 1984).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

La obtención de los híbridos mediante cruzas dialélicas (Método 2, Modelo I de Griffing, 1956), se realizó en el ciclo Otoño-Invierno 2013, en el invernadero número 7 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, al sur de Saltillo, Coahuila, México, sitio de coordenadas 25°21'18.74"N y 101° 1'48.45"O, y altitud de 1788 m (INEGI, 2012). La evaluación de los híbridos, se realizó en el lote experimental que se encuentra adyacente a las instalaciones del mismo invernadero, en el ciclo Primavera-Verano 2014.

Material Genético

Cuatro líneas de tomate (Cuadro 1) generadas en el área académica de Fisiotecnia de la UAAAN y tres variedades comerciales en uso por los agricultores del Valle de Culiacan, estado de Sinaloa, con características agronómicas sobresalientes, fueron utilizadas como progenitores, y con los cuales se generaron sus correspondientes híbridos F₁ directos.

Cuadro 1. Genotipos de tomate utilizadas como progenitores, en los cruzamientos dialélicos, método 2 de Griffing.

Genotipo	Hábito de crecimiento	Fruto	Tipo
K3	Determinado	Bola	Línea
R1	Indeterminado	Bola	Línea
F3	Indeterminado	Bola	Línea
Y53	Determinado	Bola	Línea
D4	Indeterminado	Bola	Variedad
D3	Indeterminado	Bola	Variedad
IR13	Indeterminado	Saladette	Variedad

Inóculo utilizado

El hongo utilizado fueron cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) raza 3, aisladas de plantas de tomate con los síntomas característicos de la enfermedad “marchitamiento vascular del tomate”, colectadas en áreas tomateras del municipio de Metepec, Hidalgo.

Lugares de colecta para muestreo del patógeno

Se visitaron lotes productores de tomate del municipio de Metepec, Hidalgo. Las muestras fueron colectadas de plantas con los síntomas típicos de marchitamiento vascular. Se visitaron las localidades El Acocul 1 (20°12'56.44"N; 98°20'28.84"O; 2149 m), El Acocul 2 (20°12'53.59"N; 98°20'38.85"O; 2,151 m), Tortugas (20°14'39.72" N; 98°21'46.99"O; 2,119 m), Palo Gordo (20°13'24.20"N; 98°19'37.36"O; 2,145 m), Colonia Ignacio Zaragoza (20°15'54.90"N; 98°20'44.47"O; 2,162 m) y Metepec (20°13'59.5"N; 98°20'00.8"O; 2, 124 m).

Las muestras se colectaron el 15 y 16 de Septiembre del 2013, en los materiales comerciales Reserva, Donnatello, El Cid, Palermo, Andino, y Mezcal. En total se colectaron 30 muestras de tallos con síntomas de la enfermedad, en

conjunto, procedentes de todos los lotes antes mencionados. Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno, previamente identificadas, y se transportaron en una hielera al laboratorio de Patosistemas Agrícolas del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila.

Aislamiento, purificación e identificación del hongo.

En el mes de Septiembre de 2013 se procedió a aislar, purificar e identificar el patógeno. De las plantas muestreadas, se realizaron cortes longitudinales del tallo, con la finalidad de observar si existían síntomas de necrosis interna de color café en los vasos conductores. Se cortaron en secciones de aproximadamente de 3 mm, los cuales se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1% por 3 minutos y se enjuagaron con agua destilada. Posteriormente, las porciones del tejido se sembraron en un medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) en caja Petri y se incubaron a 25°C durante 10 días; después se realizó una transferencia por punta de hifa para obtener cultivos monospóricos, los cuales se incrementaron para tener inóculo suficiente para los estudios posteriores. La identificación de los aislamientos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* se hizo mediante observación y comparación de sus características morfológicas de micelio, macro y microconidios, a través del microscopio, así como en el crecimiento y pigmentación del medio del cultivo y pruebas de patogenicidad.

Obtención de híbridos (Método 2, Modelo I de Griffing, 1956)

Siembra de progenitores. La siembra de los siete progenitores de tomate para el cruzamiento dialélico se realizó en el mes de Octubre de 2013 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, rellenas de peat-moss, las charolas fueron colocadas en el invernadero número 7 de la UAAAN para su germinación; 40 días después de la siembra se realizó el trasplante de cinco plantas por cada progenitor en macetas de 5 L de capacidad, que fueron colocadas en el mismo invernadero. Se establecieron dos fechas de siembra, con un intervalo de tiempo de 15 días, para facilitar el proceso de cruzamientos. La aplicación del agua de riego se realizó 3 veces por semana en las primeras etapas, aumentándose a cinco veces por semana en etapa de floración y amarre de fruto.

Fertilización. La fertilización (Cuadro 2) se realizó de manera manual aplicando 0.5 L de la solución, por planta al inicio del cultivo y 1 L en la etapa de floración y desarrollo de fruto.

Cuadro 2. Formulación de fertilizantes (g) en 200 L de agua, en el cultivo de tomate.

Fertilizantes	Gramos
Quelato de Hierro	28
Urea	14
Fosfato de Amonio	28
Sulfato de Potasio	84
Sulfato de Magnesio	84
Sulfato de Amonio	28
Prequelato de Manganeso	28
Nitrato de Calcio	280
Borax	2

Se realizaron aplicaciones foliares al cultivo cada ocho días de aminoácidos de fácil asimilación, fosforo y extractos de algas marinas, para prevenir problemas de pudrición apical de frutos por deficiencia de calcio y fosforo.

Poda y colocación de tutorado. Se realizaron podas de manera periódica eliminando brotes laterales y hojas viejas. Fueron sujetos sobre alambre acerado, hilos de rafia para proporcionarle sostén a las plantas. En materiales de hábito determinado se colocaron también estacas de madera para facilitar el manejo.

Control de plagas y enfermedades. Se realizaron aplicaciones periódicas de los fungicidas Mancozeb, Tiabendazol, Captan y Manzate para la prevención de enfermedades como *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans* y *Botrytis cinerea*. Los insecticidas que se aplicaron para el control de trips, mosca blanca y paratrioza, fueron Imidacloprid, Dimetoato y Endosulfan en las dosis recomendadas por el fabricante.

Programa de cruzamientos y cosecha de semilla híbrida. En Febrero y Abril de 2014 se realizaron las cruzas directas, utilizando los siete progenitores (Cuadro 3), con esto se formaron 21 híbridos en la generación F₁, para ello se aseguraron al menos 4 frutos para obtener semilla suficiente para la evaluación de los genotipos correspondientes. Los frutos F₁ provenientes de cada una de las cruzas se cosecharon en etapa de madurez fisiológica, de forma manual, desprendiendo el fruto del pedúnculo de la planta, y colocándolo en bolsas de papel previamente identificadas por cruza y fecha. Los frutos se llevaron al

almacén en donde se realizó la extracción de la semilla con el beneficio apropiado.

Cuadro 3. Programa de Cruzamientos a través del diseño dialélico Método 2, Modelo I de Griffing (1956).

Genotipo	K3	R1	F3	Y53	D4	D3	IR13
K3	K3xK3	K3xR1	K3xF3	K3xY53	K3xD4	K3xD3	K3xIR13
R1		R1xR1	R1xF3	Y53xY53	R1xD4	R1xD3	R1xIR13
F3			F3xF3	F3xY53	F3xD4	F3xD3	F3xIR13
Y53				Y53xY53	Y53xD4	Y53xD3	Y53xIR13
D4					D4xD4	D4xD3	D4xIR13
D3						D3xD3	D3xIR13
IR13							IR13xIR13

Evaluación de híbridos y progenitores en campo

Manejo agronómico. Al lote experimental se le realizó un barbecho y un paso de rastra con el objetivo de establecer una mejor cama de siembra, posteriormente se llevó a cabo el surcado del terreno con una separación entre bordos de 90 cm. El establecimiento de la cintilla para fertirrigación y acolchado se instaló manualmente, se utilizó acolchado de polietileno color negro, en él se hicieron perforaciones circulares cada 30 cm de distancia, de forma lineal por hilera.

Establecimiento del Experimento. El trasplante de híbridos y progenitores se llevó a cabo el 7 de Junio del 2014, en campo de forma manual colocando 6 plántulas por línea e híbridos, en surcos de 90 cm de ancho y una separación de 30 cm entre planta y planta a hilera sencilla con una densidad de plantación de 33, 300 plantas por hectárea. La poda de plantas fue la adecuada en el manejo de tomate, los riegos por cintilla fueron aplicados de acuerdo a las condiciones

del cultivo, el deshierbe fue manual, manteniendo el lote libre de malezas, y la aplicación de productos químicos para el control de plagas y enfermedades.

Fertilización. La fertilización (Cuadro 2) se realizó por medio del sistema de riego por goteo, de 0.5 L de la solución por planta al inicio del cultivo, y a 1 L en la etapa de floración y desarrollo de fruto.

Poda y colocación de tutorado. Se realizaron podas de brotes laterales y hojas enfermas de forma manual y de manera tradicional cada cinco días. El tutorado se llevó a cabo 20 días después del trasplante; se colocaron tubos a lo largo del surco a una distancia de 4 m, en la parte superior de los tubos se colocó alambre de acero inoxidable, de éste se dejó caer una rafia individual por planta con el fin de sostenerla durante el desarrollo de la planta. En la parte lateral de cada surco también se colocaron soportes con rafia para proporcionar sostén a los materiales de crecimiento determinado.

Cosecha. Se llevó a cabo en los meses de Agosto y Septiembre de 2014, en etapa de madurez comercial de forma manual cuando los frutos mínimo estaban en color “pintón”, desprendiendo el fruto del pedúnculo de la planta, y colocando los frutos en bolsas de papel previamente identificadas por cruz o progenitor y fecha, se cosecharon sólo las plantas de la parcela útil, las bolsas posteriormente se trasladaron al almacén, en donde se determinaron las variables de rendimiento. En total se realizaron cuatro cortes.

Variables evaluadas

- ✓ **Días a primer corte (DPC).** Después del trasplante se contabilizó el número de días hasta la madurez comercial de los frutos donde se realizó el primer corte, cuando los frutos presentaron el rayado de verde a rojo.
- ✓ **Diámetro ecuatorial (DE).** Se tomó una muestra de 5 frutos en el tercer corte por cada progenitor y cruza, a los que se les determinó diámetro ecuatorial con la ayuda de un vernier manual.
- ✓ **Diámetro polar (DP).** A cinco frutos del tercer corte por cada progenitor y cruza, se les determinó diámetro polar con la ayuda de un vernier manual.
- ✓ **Peso promedio de fruto (PPF).** Se determinó en base a el peso de los frutos de las plantas centrales dividido entre el número total de frutos.
- ✓ **Peso de frutos por planta (PFP).** El número total de frutos por planta por el peso promedio de frutos.
- ✓ **Rendimiento (REND).** Se determinó el rendimiento de fruto de cuatro plantas centrales, para extrapolarlo a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), en base a la densidad de plantas empleada.

Unidad experimental

Consistió de seis plantas, en surcos de 2 m de largo con una distancia entre surco de 90 cm y 30 cm entre plantas. Se evaluaron cuatro plantas centrales con competencia completa. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones.

Diseño genético

El método 2, modelo I de Griffing (1956), que incluye progenitores y cruzamientos directos se utilizó para estimar la aptitud combinatoria general y específica, con $\frac{[p(p+1)]}{2}$ combinaciones.

El modelo para el análisis de aptitud combinatoria es:

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

Donde:

X_{ijk} = valor fenotípico observado.

μ = media general del experimento.

g_i y g_j = efecto de la ACG de los progenitores.

s_{ij} = efecto de la ACE para el cruzamiento $i \times j$ ($s_{ij} = s_{ji}$).

b_k = efecto del bloque k .

$(gb)_{ijk}$ = efecto de la interacción entre el genotipo ij y el bloque k .

$1/bc \sum \sum e_{ijkl}$ = efecto residual de la observación ijk .

El análisis II de Gardner y Eberhart (1966) que incluye n progenitores y sus $n(n-1)/2$ cruzas varietales, se utilizó para estimar los efectos de heterosis. La media para la población parental o las cruzas es descrita por el modelo:

$V_j = M_v + V_j$ para progenitores.

$Y_{ij} = M_v + \frac{1}{2}(V_j + V_j) + h_{ij}$ para la progenie de las cruzas.

Donde:

M_v = Media de las variedades parentales.

V_j = la desviación de la M_v asociada con el i-ésimo progenitor.

V_j = Efecto varietal de la j-ésima variedad.

$h_{jj'}$ = efecto de la heterosis cuando la variedad j se cruza con la variedad j'.

El efecto de la heterosis ($h_{jj'}$) puede ser subdividido como sigue:

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

dónde:

h = heterosis promedio.

h_j = heterosis varietal contribuida por la variedad j.

$s_{jj'}$ = heterosis específica debida a al cruzamiento de las variedades j y j'.

Para estimar los efectos varietales y de heterosis se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\mu_v = \text{media de todos los progenitores} = y_v/n = y_v.$$

$$V_j = \text{efecto de la variedad j} = Y_{jj} - y_v.$$

$$h_{jj'} = \text{efecto de la heterosis} = Y_{jj'} - \frac{1}{2} (Y_{jj} + Y_{j'j'}).$$

$$= \bar{h} + \hat{h}_j + \hat{h}_{j'} + \hat{s}_{ij}.$$

Para subdividir h_{ij} .

i) Heterosis media

\bar{h} = heterosis promedio = Media de todos los híbridos – Media de todos los progenitores = $\bar{Y}_H - \bar{Y}_v$.

donde:

\bar{Y}_H = Promedio de cruzas.

\bar{Y}_v = Promedio de progenitores.

ii) Heterosis varietal

h_j = heterosis varietal = $\frac{n-1}{n-2}(\bar{Y}_{hj} - \bar{Y}_H) - \frac{1}{2}(\bar{Y}_{jj} - \bar{Y}_v)$

donde:

\bar{Y}_{hj} = promedio de las cruzas en que interviene el progenitor j.

\bar{Y}_{jj} = promedio del progenitor j.

n = número de progenitores.

iii) heterosis especifica

s_{jj} = heterosis especifica

$$= \bar{Y}_{jj'} + \frac{N}{N-2}(\bar{Y}_H) - \frac{N-1}{N-2}(\bar{Y}_{hj} - \bar{Y}_{hj'})$$

donde:

$\bar{Y}_{jj'}$ = Promedio de la craza entre el progenitor j y el progenitor j'.

\bar{Y}_{hj} = Promedio de las cruzas en que interviene el progenitor j.

$\bar{Y}_{hj'}$ = Promedio de las cruzas en que interviene el progenitor j'.

Análisis Estadístico

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

Identificación de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in vitro, mediante cultivares diferenciales

Las pruebas de patogenicidad para la identificación de razas se realizó preparando una suspensión de esporas de cultivos de Fol de dos semanas de crecimiento en PDA al 100%, para lo cual a cada caja Petri se agregó 20 ml de agua destilada y con la ayuda de una espátula plástica se removió las esporas y el micelio. La solución obtenida se filtró en un vaso de precipitado por medio de una gasa y se llevó a un volumen de 100 ml con agua destilada. Por cada aislamiento se realizó el conteo de macro conidios utilizando un hematocímetro de Neubauer en un microscopio con aumento 40X.

Los genotipos que se utilizaron como materiales diferenciales fueron; Bonny Best, sin genes de resistencia y susceptible a las tres razas; Manapal, resistente solo a la raza 1 por la presencia del locus 1 pero susceptible a las razas 2 y 3; Walter, resistente a las razas 1 y 2 debido a la presencia de los loci 1 y 1-2, pero susceptible a la raza 3; e I3R3, resistente a las razas 1, 2 y 3 debido a la presencia del gen 1-3.

La semilla fue desinfectada con hipoclorito de sodio al 1% por tres minutos, se lavaron tres veces con agua estéril. Fueron colocadas en frascos de cristal de 400 ml de capacidad, con solución nutritiva Murashige y Skoog (Murashige y Skoog, 1962). Se depositaron tres semillas por frasco y se incubaron a 27°C por 20 días. De las seis cepas caracterizadas por sus diferencias morfológicas (color, tamaño de micelio, tipo de crecimiento) y purificadas por punta de hifa, se preparó una suspensión de 1×10^6 conidios por ml para realizar la inoculación en las plántulas de los materiales diferenciales en los frascos mediante inmersión de raíces, para posteriormente realizar las evaluaciones correspondientes.

La respuesta de las plantas de tomate a la inoculación de Fol se hizo utilizando una escala de severidad del 0 al 5 según Marlatt *et al.*, (1996) modificada para estimar la severidad de la enfermedad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Escala para la evaluación de la severidad de los síntomas de la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) en tomate.

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

Fuente: Marlatt *et al.*, (1996).

Respuesta de genotipos de tomate a la inoculación de la raza 3 de Fol

Se inocularon ocho genotipos de tomate como progenitores (Cuadro 1) y la generación F₁ con el objetivo de encontrar algunas posibles fuentes de resistencia, principalmente a la raza 3 de *Fusarium oxysporum* f sp. *lycopercici*. La inoculación se realizó a los 20 días después de la siembra con 1x10⁶ conidios por mL de la raza 3. Después de la inoculación, las plántulas fueron trasplantadas a charolas de polietileno de 1 L de capacidad conteniendo suelo estéril y peat moss, manteniéndose en el invernadero por 30 días a una temperatura aproximada de 25 ± 2 °C, con 3 repeticiones por material. Cada repetición consistió en 3 plantas. Se registró la respuesta de las plantas 20 días después de la inoculación.

Con los valores de la escala asignados a las plántulas, se estimó un índice de enfermedad en porcentaje, para cada uno de los progenitores y cruzas mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde:

X_i = Severidad de la enfermedad en la i-ésima plántula.

n = Número de plántulas evaluadas

0.2 = Factor de corrección para porcentajes de enfermedad

Los índices de enfermedad obtenidos en las diferentes cruzas y progenitores, se utilizaran para determinar el avance de la enfermedad y la

respuesta de estos materiales a la inoculación del patógeno mediante el cálculo del Área bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de acuerdo a la siguiente ecuación (Shaner y Finney, 1977).

$$ABCPE = \sum_{I=i}^{n-1} \left\{ \left(\frac{y_{i+1} + y_i}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \right\}$$

Donde: y_i es la proporción de la enfermedad en la i -ésima observación; $t_{(i+1)}$ - t_i es el tiempo entre dos lecturas; i es el número de observaciones, y n es el número de valuaciones.

Para el ABCPE se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM (SAS Institute, 1999) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza del análisis dialélico

Los cuadrados medios del análisis dialélico (Método 2, Modelo I de Griffing, 1956) de los 7 progenitores y sus 21 cruzas directas, para las características agronómicas: días a primer corte (DPC), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), peso promedio de fruto (PPF), número de frutos por planta (NFP), peso de frutos por planta (PFP) y rendimiento (REND), evaluadas durante el ciclo primavera verano 2014, en la localidad de Saltillo, Coahuila, se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia del análisis dialélico de 7 progenitores de tomate y las 21 cruzas F₁.

FV	GL	DPC	DE	DP	PPF	NFP	PFP	REND
REP	2	8.36	0.78*	0.90**	1425.95**	51.15*	0.12	131.83
GEN	27	7.85	1.87**	0.63**	707.65**	110.74**	1.85**	2024.44**
ACG	6	14.82	2.47**	1.29**	1131.57**	121.24**	2.73**	2984.59**
ACE	21	5.86	1.70**	0.45**	586.53**	107.73**	1.60**	1750.11**
ERROR	54	11.66	0.25	0.12	169.48	15.22	0.14	160.06
TOTAL	110	48.57	7.09	3.41	4021.19	406.11	6.46	7051.04
C.V.		4.17	8.85	6.71	14.85	15.82	17.58	17.60

*, ** Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente. GEN: genotipos, ACG: Aptitud Combinatoria General, ACE: Aptitud Combinatoria Especifica C.V.= coeficiente de variación.

Se puede apreciar que para la variable días a primer corte (DPC) no se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) para ninguna fuente de variación; estos resultados coinciden con los reportados por Hernández (2013), quien tampoco observó diferencias para esta característica en un análisis dialélico con 8 líneas de tomate (algunas de ellas usadas en este estudio), mostrando evidencia de que los genotipos tienen un control similar para días a primer corte.

Para genotipos (GEN), se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las características evaluadas, excepto para días a primer corte (DPC), estos resultados coinciden con lo reportado por Ahmad *et al.*, (2011) los cuales encontraron diferencias ($p \leq 0.01$) para las mismas características en siete líneas y 21 híbridos de tomate evaluadas en Bangladesh. Lo anterior puede ser atribuible a la diversidad genética que presentan los progenitores que hacen posible la identificación de cruzas con buenos rendimientos. La significancia observada para genotipos, permite que la subdivisión de los cuadrados medios en Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Especifica sea válida (Marín y Lippert, 1975).

La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada por los cuadrados medios, indica el tipo de acción génica, Antuna *et al.*, (2003). Al desglosar la fuente de variación genotipos, se encontraron diferencias ($p \leq 0.01$) para los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Especifica (ACE) para todas las características evaluadas, excepto para días a primer corte (DPC), lo anterior indicó la importancia de la acción de efectos aditivos y no aditivos de los genes en la herencia de estos caracteres. Estos

resultados coinciden con Bhatt *et al.* (2001), Hannan *et al.* (2007) y Saleem *et al.* (2013).

Los porcentajes de efectos genéticos se obtuvieron con la suma de cuadrados correspondiente a cada fuente de variación en el análisis de varianza. Para la variable días a primer corte (DPC) se observó una proporción similar entre efectos aditivos y no aditivos 48.5 % de ACG y 51.5 % de ACE, lo anterior es debido a que los genotipos usados tienen días a primer corte muy similar y no sugiere el beneficio derivado de la heterosis.

La contribución a la varianza del rendimiento (REND) atribuible a los genotipos está constituida por un 32.76 % de efectos aditivos (ACG) y un 67.76 % de efectos no aditivos (ACE). Esta superioridad de los efectos no aditivos sobre los aditivos puede ser debido a la varianza de desviaciones de dominancia, como antecedente genético de la manifestación de la heterosis resultante de las combinaciones híbridas entre los progenitores.

Para las demás características se observaron mayores efectos de tipo no aditivo que aditivo, 32.33 % de ACG y 67.25 % de ACE para peso de frutos por planta (PFP), 24.33 % de ACG y 75.67 % de ACE para número de frutos por planta (NFP), 35.53 % de ACG y 64.47 % de ACE para peso promedio de fruto (PPF). Dado que los efectos de acción génica no aditiva son los más importantes es recomendable realizar mejoramiento por hibridación. Sin embargo, se sugiere explotar primero la varianza genética aditiva por selección, y después la varianza no aditiva por hibridación.

La estrategia de mejorar por selección, hibridación, o por selección seguida por hibridación, depende de la proporción que representa la varianza aditiva y la de dominancia de la población estudiada, respecto a la variación genética total (Reyes *et al.* 2004).

Los coeficientes de variación son aceptables, mostrando valores de 4.17 % para días a primer corte (DPC) hasta 17.6 % para rendimiento (REND).

Estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG)

Los efectos de aptitud combinatoria general son un reflejo de la aptitud de los progenitores para expresar un carácter en la progenie producida por ellos. Son una expresión de los efectos genéticos aditivos. La ACG designa el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones con otras líneas.

En la estimación de los efectos de ACG (g_i) de las líneas progenitoras del cruzamiento dialélico, las líneas D4, R1 y D3 presentaron los efectos negativos más altos sin diferencia significativa para la variable días a primer corte (DPC) (Cuadro 6). Hernández (2013) encontró valores negativos para esta misma característica en las líneas IR14, D6 e IR9. El número de días a primer corte se reduce, lo que indica que estos progenitores fueron los más precoces, situación que hace deseable estos materiales para mejorar precocidad. En contraste IR13, Y53 y F3 presentaron los valores positivos más altos para la misma característica.

Cuadro 6. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de 7 líneas de tomate, evaluadas en Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

Genotipos	DPC	DE	DP	PPF	NFP	PPF	REND
K3	0.02	-0.30**	-0.11	-4.07	1.59*	0.07	2.49
R1	-0.31	0.18*	-0.06	0.25	-1.03	-0.06	-2.31
F3	0.61	-0.06	0.02	-3.10	-0.66	-0.15*	-5.18*
Y53	0.61	-0.10	-0.09**	3.77	-0.55	0.02	0.87
D4	-0.75	-0.31**	0.47**	11.39**	3.03**	0.54**	17.89**
D3	-1.05	0.04	-0.16	0.74	1.11	0.10	3.34
IR13	0.87	0.55**	-0.06	-8.97**	-3.48**	-0.51**	-17.10**

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

En cuanto a diámetro ecuatorial (DE), los materiales IR13 y R1 mostraron los efectos positivos más altos (0.55 y 0.18) con diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) y significativas ($p \leq 0.05$) respectivamente. Gabriel *et al.*, (2013) reportan valores similares para esta característica en siete líneas de tomate evaluadas bajo condiciones de invernadero. La línea K3 y D4 presentaron los efectos negativos más altos, -0.30 y -0.31 respectivamente, con diferencias altamente significativas, indicando con esto que son progenitores con mala ACG para esta característica que influye directamente en el tamaño de fruto.

Para número de frutos por planta (NFP), la línea D4 y K3 presentaron los valores positivos más altos 3.03 y 1.59 respectivamente, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$), estos resultados coinciden con Ravindra *et al.*, (2013) en trece líneas de tomate evaluadas para componentes de rendimiento, en contraste Yadav *et al.*, (2013) reportan valores de aptitud combinatoria general de 5.89 con diferencias altamente significativas de diez líneas, en un estudio genético de heterosis para componentes de rendimiento de tomate.

Los efectos positivos más altos y diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) se observaron en la línea D4 para las variables diámetro polar (DP), peso promedio de fruto (PPF), peso de frutos por planta (PFP) y rendimiento (REND) indicando que es una buena fuente de germoplasma para desarrollar programas futuros de mejoramiento y que contienen genes de efectos aditivos que se expresan favorablemente para estas características. Premalakshme *et al.*, (2005) encontraron diferencias altamente significativas en los efectos de aptitud combinatoria general para las mismas características en seis líneas de tomate de origen diverso. Guerra (2010) reportó valores más altos y con diferencias altamente significativas en la línea IR10 para las características rendimiento y longitud de fruto.

Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE)

Los efectos de aptitud combinatoria específica representan las desviaciones del comportamiento predicho con base en un modelo simple aditivo. Se refiere a la desviación o sesgo de comportamiento predicho en base a las aptitudes combinatorias generales de los padres. Reflejan efectos genéticos no aditivos. La ACE designa aquellos casos en que ciertas combinaciones tienen un comportamiento mejor o peor del que se puede esperar sobre la base del comportamiento promedio de las líneas consideradas. La estimación de los efectos de ACE (s_{ij}) de las cruzas dialélicas (Cuadro 7) en días a primer corte (DPC) K3xY53 y R1xD4 mostraron el más alto efecto negativo con valores de -2.027 y -1.99 respectivamente, sin diferencias significativas, lo anterior indica que estos híbridos resultaron ser los más precoces con menos días a primer corte.

Cuadro 7. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 21 híbridos F1 de tomate.

CRUZA	DPC	DE	DP	PPF	NFP	PFP	REND
K3xR1	0.56	0.29	0.10	11.66	-0.88	0.12	4.31
K3xF3	-0.69	0.42	0.14	5.80	-3.92	-0.21	-6.97
K3xY53	-2.02	0.26	-0.10	-13.94	1.62	-0.24	-7.93
K3xD4	1.00	0.15	0.07	13.46	13.37**	1.82**	60.09**
K3xD3	1.30	0.50	0.09	15.91*	1.62	0.57**	18.97**
K3x1R13	-0.62	-0.44	0.27	4.38	-4.77*	-0.29	-9.84
R1xF3	-0.02	0.55*	0.16	7.24	2.03	0.35	11.56
R1xY53	-1.69	0.54*	0.31	15.77*	9.25**	1.32**	43.54**
R1xD4	-1.99	0.21	0.07	-5.95	1.00	-0.11	-3.76
R1xD3	1.63	0.08	-0.14	-11.86	-3.07	-0.54**	-18.07**
R1x1R13	-0.28	-0.75**	0.40*	5.39	-2.48	-0.09	-3.04
F3xY53	0.37	0.35	-0.14	0.20	6.22**	0.56**	18.62**
F3xD4	-1.25	-0.65**	-0.21	1.34	-1.37	-0.06	-2.09
F3xD3	-0.95	-0.26	0.54**	-25.94**	3.55	-0.47**	-15.75**
F3x1R13	1.78	0.62*	0.52**	-14.07	-1.18	-0.34	-11.49
Y53xD4	-0.25	0.58*	0.23	-0.40	-8.48**	-0.95**	-31.68**
Y53xD3	0.71	0.22	-0.10	-20.18**	-10.22**	-1.23**	-40.57**
Y53x1R13	-1.21	-1.28**	0.64**	10.93	-1.96	0.04	1.46
D4xD3	0.41	0.38	0.11	5.57	2.51	0.38*	12.77*
D4x1R13	-1.50	-1.37**	0.08	-16.12*	3.77	-0.15	-5.21
D3x1R13	-1.21	-0.48	-0.20	-3.09	10.03**	0.70**	23.11**

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

En la variable diámetro ecuatorial (DE) los valores positivos más altos y significativos fueron para los híbridos F3x1R13, Y53xD4 y R1xF3 con 0.62, 0.58 y 0.56 respectivamente; en cuanto a los híbridos que presentaron valores negativos con diferencias altamente significativas fueron Y53x1R13 con -1.28, D4x1R13 con -1.37 y R1x1R13 con -0.75.

En las variables peso de frutos por planta (PFP) y número de frutos por planta (NFP) las cruza con los valores positivos más altos y con diferencias

($p \leq 0.01$) fueron K3xD4 y R1xY53 con valores de 1.82 y 1.32 para peso de frutos por planta y 13.37 y 9.25 para número de frutos por planta; resultados similares fueron reportados por Premalakshme *et al.*, (2005).

Nueve de los 21 híbridos evaluados mostraron efectos de aptitud combinatoria específica positivos para rendimiento (REND), destacándose por sus valores elevados las cruzas K3xD4 (60.09) y R1xY53 (43.54). Las líneas K3 y D4 por separado mostraron los valores positivos más altos de ACG. El alto rendimiento de una crusa puede deberse a la suma de efectos aditivos de los genes de ambos progenitores, o bien, a los efectos de interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos del otro progenitor (Falconer, 1981).

Las cruzas con los valores negativos más altos con diferencias altamente significativas para rendimiento (REND) fueron Y53xD3 y Y53xD4. García y Vallejo, (1990) dicen que los efectos negativos de ACE son los responsables de que los progenitores superiores originen híbridos inferiores o viceversa, debido a los complejos sistemas de interacción, especialmente complementación, entre los genes responsables de la manifestación del carácter.

Estudios de cruzas dialélicas indican que las cruzas simples de alto rendimiento son aquéllas en las que cuando menos una de las líneas presenta alta ACG (g_i) y entre las dos líneas ocurren altos efectos positivos de ACE (s_{ij}). Por el contrario, las cruzas simples con rendimiento bajo son aquéllas cuyas dos líneas son de baja ACG y entre ellas ocurren efectos negativos s_{ij} de alto valor absoluto, Reyes *et al.*, (2004). Estos estudios señalan la conveniencia de que los

programas de hibridación cuenten con una base de líneas de alta ACG para que en un sistema de cruzas dialélicas se estimen los efectos g_i y s_{ij} y se haga la predicción de los mejores híbridos.

Análisis de varianza debido a la heterosis

Se realizó un análisis de varianza genética bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966) para las variables evaluadas, esto permitió conocer la diferencia existente entre los progenitores y sus cruzas, así como los diferentes efectos de heterosis (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de siete líneas de tomate y sus 21 cruzas analizadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966).

FV	GL	DPC	DE	DP	PPF	NFP	PFP	REND
HET ¹	21	5.861	1.704**	0.453**	586.530**	107.739**	1.606**	1750.110**
H. P.	1	20.004	0.0002	4.761**	109.81	158.73**	0.759*	825.29*
H. V.	6	5.9651	4.117**	0.312*	947.43**	25.75	1.118**	1221.63**
H. E.	14	4.8063	0.791**	0.205	465.92**	139.235**	1.875**	2042.67**

*, ** Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente, ¹HET= heterosis total, H.P= heterosis promedio, H.V: heterosis varietal, H.E= heterosis específica.

Las variaciones debidas a la heterosis fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables evaluadas, excepto para días a primer corte (DPC). Resultados similares fueron reportados por Hasanuzzaman *et al.*, (2013). Lo anterior sugiere la presencia de efectos de genes no aditivos para estos caracteres. Santosh y Manish, (2011) encontraron heterosis significativa para las características rendimiento, número de frutos, altura de la planta y frutos por racimo en 45 cruzas derivadas de 15 líneas de tomate. La variación debida a la

heterosis (heterosis general) se repartió en heterosis promedio, heterosis varietal y heterosis específica.

Heterosis promedio

Se determinó la heterosis promedio que es la relación entre el comportamiento de cada línea parental en los cruzamientos donde intervino, y el promedio parental de cada progenitor. La heterosis promedio es un primer indicador de la existencia o no de heterosis en el conjunto de los híbridos F1 formados, con respecto los progenitores utilizados

Se observaron valores negativos de heterosis promedio (Cuadro 9), calculada como la diferencia entre la media de todos los híbridos F1 y la media de todos los progenitores en las variables días a primer corte (DPC), diámetro ecuatorial (DE) y peso promedio de fruto (PPF). Resultados similares fueron reportados por Santosh y Manish (2011). Lo anterior resalta la importancia de los efectos genéticos aditivos que determinan estas características. La falta de heterosis promedio indica que, en general, estas líneas no son favorables para explotar el efecto de la heterosis en los híbridos.

Se observaron diferencias significativas en las variables peso de frutos por planta (PFP), rendimiento (REND) y altamente significativas en diámetro polar (DP) y número de frutos por planta (NFP). Por lo contrario para diámetro polar (DP), número de frutos por planta (NFP), peso de frutos por planta (PFP) y rendimiento (REND) se observaron diferencias significativas y valores positivos, resaltando la gran importancia de los efectos genéticos no aditivos siendo estos los determinantes para estas características.

Cuadro 9. Heterosis promedio (h), varietal (h_j) y específica (s_{ij}) para características de rendimiento en tomate analizadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966).

FV	DPC	DE	DP	PPF	NFP	PPF	REND
H PROM	-1.12	-0.04	0.54	-2.64	3.17	0.21	7.23
K3	0.55	0.54	-0.10	18.56	1.02	0.64	21.49
R1	-0.04	0.42	0.04	11.80	0.49	0.32	10.65
F3	0.41	0.47	0.08	-9.64	0.25	-0.23	-7.64
Y53	-1.08	0.31	0.01	-1.64	-3.74	-0.37	-12.33
D4	-0.84	-0.30	-0.20	0.83	2.72	0.26	8.66
D3	1.619	0.21	-0.23	-16.03	-0.14	-0.41	-13.68
I3R3	-0.61	-1.66	0.40	-3.88	-0.60	-0.21	-7.14
S K3 X R1	0.62	-0.13	-0.01	-1.17	-2.35	-0.35	-11.78
S K3 X F3	-0.84	-0.02	0.01	2.50	-5.28	-0.45	-14.94
S K3 X Y53	-1.51	-0.11	-0.19	-20.80	2.04	-0.41	-13.80
S K3 X D4	1.42	0.05	0.07	5.50	10.91	1.36	44.87
S K3 X D3	0.62	0.17	0.11	15.45	0.44	0.41	13.68
S K3 X I3R3	-0.31	0.05	0.00	-1.48	-5.75	-0.54	-18.03
S R1 X F3	0.08	0.15	-0.03	6.94	0.91	0.25	8.41
S R1 X Y53	-0.91	0.21	0.15	11.92	9.91	1.28	42.48
S R1 X D4	-1.31	0.16	0.01	-10.91	-1.22	-0.42	-14.15
S R1 X D3	1.22	-0.19	-0.19	-9.32	-4.02	-0.56	-18.54
S R1 X I3R3	0.28	-0.20	0.06	2.53	-3.22	-0.19	-6.41
S F3 X Y53	0.95	0.08	-0.32	5.88	6.97	0.77	25.69
S F3 X D4	-0.77	-0.72	-0.30	5.92	-3.48	-0.13	-4.35
S F3 X D3	-1.57	-0.56	0.47	-13.86	2.71	-0.24	-8.08
S F3 X I3R3	2.15	1.15	0.16	-7.39	-1.82	-0.20	-6.73
S Y53 X D4	0.88	0.58	0.18	0.61	-8.82	-0.96	-31.86
S Y53 X D3	0.75	-0.08	-0.14	-11.66	-9.28	-0.93	-30.81
S Y53 X I3R3	-0.17	-0.68	0.32	14.05	-0.82	0.25	8.31
S D4 X D3	0.35	0.43	0.17	12.99	0.57	0.40	-7.69
S D4 X I3R3	-0.57	-0.49	-0.14	-14.11	2.04	-0.23	-7.69
S D3 X I3R3	-1.37	0.16	-0.41	6.41	9.57	0.92	30.56

Heterosis varietal de los padres

La heterosis varietal (h_j) se estimó para determinar la contribución general de una línea a su heterosis matriz. La varianza debida a la heterosis varietal fue significativa para diámetro ecuatorial (DE), diámetro polar (DP), peso promedio de fruto (PPF), peso de frutos por planta (PFP) y rendimiento (REND) (Cuadro 8). Este resultado indicó las diferencias entre las matrices parentales para la heterosis de estos caracteres.

Los progenitores K3 y R1 presentaron efectos positivos favorables de este tipo de heterosis, en todas las variables evaluadas excepto para diámetro polar (DP) y días a primer corte (DPC), que presento valores negativos (Cuadro 9). El progenitor F3 presentó valores positivos para las variables días a primer corte (DPC), diámetro ecuatorial (DE), diámetro polar (DP) y número de frutos por planta (NFP). Para Y53 se observaron valores positivos para diámetro ecuatorial (DE) y diámetro polar (DP). Se observaron valores positivos en las variables PPF, NFP, PFP y REND para el progenitor D4. En el progenitor D3 solo se observaron valores positivos en las variables días a primer corte (DPC) y diámetro ecuatorial (DE). Respecto al progenitor IR13 solo presento valores positivos para diámetro polar. Hernández (2013) encontró valores positivos para la variable rendimiento en las líneas IR9, D10, D3 e IR13 y Guerra (2010) en IR14, IR17 e IR9.

De acuerdo con Gardner (1967) la heterosis varietal (h_j), es la contribución de heterosis por la variedad j en sus cruzamientos F_1 , medida como una desviación del promedio de heterosis. Considerando lo anterior, para un programa de selección recíproca recurrente, en donde se aprovechan tantos los

efectos genéticos aditivos como los no aditivos, el mejor progenitor para rendimiento (REND) y peso promedio de fruto (PPF) es K3, R1 y D4 ya que presentan los valores más altos de heterosis varietal.

Heterosis específica de las cruzas

Las variaciones debidas a la heterosis específica fueron significativas para diámetro ecuatorial (DE), peso promedio de fruto (PPF), número de frutos por planta (NFP), peso de frutos por planta (PFP) y rendimiento (REND) (Cuadro 8). Los resultados relacionados con la variación de los diferentes componentes de la heterosis indicaron que cada uno contribuyó significativamente a la heterosis total de los cruzamientos.

La heterosis específica permite identificar las cruzas de alto rendimiento con mejores características que la de sus progenitores. Ninguna de las cruzas mostró una heterosis significativa para la variable días a primer corte (DPC), esto coincide con Sánchez *et al.*, (2010) los cuales evaluaron los efectos genéticos de cuatro progenitores y seis cruzas directas en tomate, evaluados en campo e invernadero. Los valores negativos más altos de heterosis específica para esta misma variable fueron obtenidos por las cruzas F3xD3 (-1.5778), K3xY53 (-1.5111), D3xIR13 (-1.3778) y R1xD4 (-1.3111) (Cuadro 9).

En diámetro ecuatorial (DE), las cruzas F3xIR13 y Y53xD4, mostraron una heterosis significativa y los valores positivos más altos 1.1560 y 0.5813. La cruz F3xD3 mostró una heterosis altamente significativa en el diámetro polar (DP), con el valor positivo más alto (0.4744).

Heterosis significativa y con los valores positivos más altos se observaron en las cruzas K3xD3 (15.4513) y Y53xIR13 (14.05) para peso promedio de fruto (PPF). Para número de frutos por planta (NFP), peso de frutos por planta (PPF) y rendimiento (REND), las cruzas con heterosis significativa y valores positivos más altos fueron K3xD4, R1xY53, D3xIR13 y F3xY53. Ahmad *et al.*, (2011) encontraron diferencias altamente significativas debido a la heterosis para las mismas características en 21 híbridos de tomate en Bangladesh.

La heterosis alta observada sugiere la utilidad de usar germoplasma genéticamente diverso en un programa de mejoramiento, Hasanuzzaman *et al.*, (2013). Hay mayor heterosis en las cruzas, si los materiales a usar presentan características diferentes y en algunos casos hasta opuestos, esto permitirá clasificar líneas en grupos heteróticos, logrando con ello eficientar la dirección de los cruzamientos para obtener mejores combinaciones híbridas (Fehr, 1982 y Sierra *et al.*, 1991).

Estructura de la heterosis de las mejores cuatro cruzas de cada variable

La estructura heterótica de una craza dentro de un grupo dialélico se describe en base a tres tipos de heterosis: media, varietal y específica. En el cuadro 10 se observa que en la mayoría de las cruzas entre progenitores que presentan heterosis varietal negativa por heterosis varietal positiva presentaron valores de heterosis total (h_{ij}) y heterosis específica (s_{ij}) positivos, excepto para las cruzas F3xIR13 y D3xD4 que presentaron valores negativos.

Para la variable DPC se observa que en la craza R1xY53 la heterosis específica y la heterosis varietal fueron las que contribuyeron a que esta fuera la

más tardía y la de mayor heterosis total; en contraste la cruza K3xD4 fue la que presentó el valor más bajo para esta variable, es decir fue la más precoz.

En la variable DE la cruza que presentó el valor más elevado de heterosis total por los efectos de heterosis específica y heterosis varietal fue Y53xD4. La cruza con el valor más bajo de heterosis total fue F3xIR13. Para DP en la cruza Y53xIR13 los efectos de heterosis promedio, varietal y específica fueron los que contribuyeron al valor alto de heterosis total, la cruza D4XD3 presentó el valor más bajo debido a la heterosis varietal.

En el peso promedio de fruto (PPF) se observa que la suma de los efectos de heterosis varietal y específica de la cruza R1xY53 contribuyó al alto valor positivo de heterosis total, en contraste en la cruza D3xD4 se observan valores negativos de heterosis varietal (h_i) que contribuyeron al valor negativo de la heterosis total (h_{ij}).

Para NFP, PFP y REND la cruza con mayor heterosis total debido a la suma de los efectos de heterosis varietal y específica fue K3xD4. El valor más bajo de heterosis total debido a valores negativos de heterosis varietal es para la cruza F3xY53.

Cuadro 10. Estructura de la heterosis de las mejores cuatro cruzas de cada variable de acuerdo al valor más alto de heterosis específica.

Variable	Cruza	h_{ij}	\bar{h}	h_i	h_j	S_{ij}
DPC	F3xIR13	0.8333	-1.127	0.419	-0.6143	2.1556
	K3xD4	0	-1.127	0.5524	-0.8476	1.4222
	R1xD3	1.6666	-1.127	-0.0476	1.619	1.2222
	F3xY53	0.1666	-1.127	0.419	-0.081	0.9556
DE	F3xIR13	-0.035	-0.0043	0.4765	-1.6632	1.156
	Y53xD4	0.5849	-0.0043	0.3148	-0.3069	0.5813
	D4xD3	0.3316	-0.0043	-0.3069	0.2115	0.4313
	R1xY53	0.95	-0.0043	0.4268	0.3148	0.2127
DP	F3xD3	0.8732	0.5498	0.0835	-0.2345	0.4744
	Y53xIR13	1.2932	0.5498	0.0105	0.4065	0.3264
	Y53xD4	0.5416	0.5498	0.0105	-0.2038	0.1851
	D4xD3	0.2866	0.5498	-0.2038	-0.2345	0.1751
PPF	K3xD3	15.345	-2.6405	18.5686	-16.0344	15.4513
	Y53xIR13	5.885	-2.6405	-1.6441	-3.8804	14.05
	D3xD4	-4.8463	-2.6405	-16.0344	0.8379	12.9907
	R1xY53	19.4367	-2.6405	11.8006	-1.6441	11.9207
NFP	K3xD4	17.8333	3.1746	1.0238	2.7238	10.9111
	R1xY53	9.8333	3.1746	0.4905	-3.7429	9.9111
	D3xIR13	11.998	3.1746	-0.1429	-0.6095	9.5758
	F3xY53	6.2666	3.1746	0.2571	-3.7429	6.5778
PFP	K3xD4	2.4916	0.2195	0.6499	0.2622	1.36
	R1xY53	1.4567	0.2195	0.3226	-0.3734	1.288
	D3xIR13	0.5149	0.2195	-0.4158	-0.2148	0.926
	F3xY53	0.3933	0.2195	-0.2308	-0.3734	0.778
REND	K3xD4	82.2716	7.2387	21.4942	8.6605	44.8782
	R1xY53	48.0433	7.2387	10.6555	-12.3365	42.4856
	D3xIR13	16.9766	7.2387	-13.6825	-7.1425	30.5629
	F3xY53	12.9483	7.2387	-7.6488	-12.3365	25.6949

h_{ij} = heterosis total, h =heterosis promedio h_i =heterosis varietal, S_{ij} =heterosis específica

Comparación de medias

Se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se puede observar que para la variable DPC no existieron diferencias significativas tanto en las líneas ni en las cruzas; son estadísticamente iguales (Cuadro A-1).

Para diámetro polar (DP) la línea que presentó el valor más alto fue Y53 con 5.59 cm y la craza con el valor más alto para esta característica que supero a los progenitores fue F3xIR13 con 6.29 cm; valores más altos fueron reportados por López *et al.*, (2012) y Jiménez *et al.*, (2014).

Respecto a diámetro ecuatorial (DE), la línea con el valor más alto fue D3 con 5.24 cm y la craza D3xI3R3 con 8.7 cm, resultado similares fueron reportados por Hernández *et al.*, (2013). El tipo de fruto de las líneas usadas en esta investigación es tipo bola, por esta cuestión se observaron valores más altos en diámetro ecuatorial que en el diámetro polar.

Para peso promedio de fruto (PPF) la línea que presentó los frutos con mejor peso fue IR13 (116.70 g), en contraste la línea con los frutos de menor peso fue F3 con 74.17 g. En cuanto a la mejor craza, R1xY53 con 116.80 g fue la que presentó los frutos de mayor peso superando a la mejor línea, valores más bajos fueron reportados por Hernández *et al.*, (2013) en híbridos de tomate tipo Saladette de crecimiento indeterminado. La craza K3x1R13 fue la que presentó los frutos de menor peso 56.60 g por fruto.

Para número de frutos por planta (NFP) la línea Y53 mostró el número más alto de frutos e IR13 el más bajo con 25.33 y 11 frutos por planta respectivamente. La cruce Y53xD4 con 34.33 frutos por planta presentó el valor más alto.

La línea Y53 mostró el valor más alto con 1.72 Kg en peso de frutos por planta (PFP). Respecto a las cruces Y53xD4 presento el valor más alto con 2.92 Kg promedio por planta, supera a lo reportado por Sekharet *al.*, (2009) que reportan un rendimiento promedio 2.3 Kg en híbridos simples de tomate.

Para rendimiento (REND) la línea con valores más altos fue Y53. La mejor cruce fue Y53xD4 cabe destacar que esta cruce presentó valores negativos de heterosis específica para las dos metodologías que se describen en esta investigación, pero sí el mejor rendimiento comparado al total de las cruces evaluadas, esto se debió a que uno de sus progenitores fue el que presentó el mejor rendimiento y la mayor ACG, es decir genes con efecto aditivo que influyeron para que se expresará mejor el rendimiento.

Por otra parte la cruce K3xD4 fue la que mostró la mejor heterosis específica aunque el rendimiento que presentó estuvo dentro de las mejores cruces, este no fue el mejor del total de las genotipos evaluados, esto se debió a los progenitores que participaron en esta cruce los cuales presentaron los valores más bajos para ACG, influyendo así sobre el rendimiento, la peor cruce para rendimiento (REND) fue K3x1R13.

Identificación de razas *in vitro* de Fol mediante cultivares diferenciales

De los 30 aislamientos, solo seis produjeron colonias en medio de cultivo PDA con micelio y conidios con características morfológicas propias de *Fusarium oxysporum*, que junto con las características observadas en campo en plantas adultas, permitió su identificación como Fol.

Los resultados sobre la reacción de las líneas diferenciales para *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) se obtuvieron a los 20 días después de la inoculación. Las plántulas diferenciales susceptibles presentaron los síntomas típicos de la enfermedad como amarillamiento, defoliación, marchitez y muerte de las mismas; mientras las resistentes no mostraron sintomatología alguna a las cepas de utilizadas.

Bonny Best y Manapal presentaron completa susceptibilidad en las seis cepas evaluadas (Cuadro 11), descartando de esta manera la presencia de la raza 1. Walter mostró completa susceptibilidad a cuatro de los seis aislamientos y resistencia a dos, indicando que estos dos aislamientos pueden identificarse como raza 2, ya que la variedad Walter es resistente a las razas 1 y 2 y susceptible a la raza 3. Algunas plantas de la variedad I3R3 considerada como resistente a la raza 3, mostraron algunos signos de susceptibilidad probablemente a una impureza genética en el cultivar o a una posible variabilidad genética en la raza 3. Resultados similares fueron reportados por Hernández *et al.*, (2014) en cepas de Fol muestreadas en San Luis Potosí.

Cuadro 11. Reacción de cuatro genotipos diferenciales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculados artificialmente con *Fusarium Oxysporum* f. sp. *lycopersici*, para la identificación de razas en lotes comerciales de tomate en Metepec, Hidalgo.

Predio	Cepa	Materiales diferenciales				Raza
		Bonny Best	Manapal	Walter	I3R3	
Metepec	1	S	S	S	R	3
El acocul	2	S	S	S	R	2
Tortugas	3	S	S	R	R	3
I. Zaragoza	4	S	S	S	R	3
Palo gordo	5	S	S	R	R	2
El acocul	6	S	S	S	R	3

S: Susceptible, R: Resistente

Se detectó la presencia de dos razas en los lotes muestreados en una proporción de 33% correspondiente a la raza 2 y 67% raza 3. Las proporciones de estas dos razas encontradas probablemente puede deberse a la existencia de variedades tolerantes a la raza 2, la cual apareció primero que la raza 3. Ortega (2010), Sánchez-Peña *et al.* (2010) y Hernández *et al.*, (2014) reportaron también la presencia de las razas 2 y 3 de *Fol* en el estado de Morelos, Sinaloa y San Luis Potosí respectivamente. Valenzuela *et al.*, (1996), Carrillo *et al.*, (2003), y Ascencio *et al.*, (2008), reportan la presencia de razas 1, 2 y 3 en lotes comerciales de tomate en Culiacán Sinaloa, (Holguín, 2005) en Baja California Sur y Ortega (2010) en Morelos.

Evaluación de progenitores a la infección de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Los cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción a la inoculación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en siete genotipos de tomate (Cuadro 12), se analizaron bajo el diseño de bloques al azar. Se observan

diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para la fuente de variación genotipos, estas diferencias pueden atribuirse a la variabilidad presente en cada uno de los genotipos en estudio, lo que motivó respuesta variable al avance de la enfermedad.

Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para la reacción del avance de la enfermedad de los progenitores a la inoculación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

FV	G.L	C.M
REPETICIÓN	3	248.8
GENOTIPO	6	368.4 **
ERROR	18	
C.V	20.17	

**Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad (Cuadro A-2), se usaron los datos obtenidos en la quinta evaluación para incidencia de la enfermedad. Se logró observar que los genotipos Y53 y D3 presentaron la menor incidencia del patógeno durante los 48 días de evaluación, con un porcentaje de 33.75 y 38.75 respectivamente; en contraste los genotipos con mayor incidencia fueron IR13 y F3, con 58.7 y 57.5.

Un parámetro epidemiológico muy utilizado en el estudio de la resistencia de las plantas a las enfermedades, es el área bajo la curva de desarrollo de una enfermedad (ABCPE) (Jeger y Voljanen 2001 y Haynes y Weingartner, 2004). Este parámetro indica la dinámica de una epifitía mediante un solo valor, es una forma de reducir la dimensión de la clasificación de los datos principalmente cuando hay varias lecturas o evaluaciones a lo largo del ciclo de cultivo en algún ensayo.

Los valores más bajos de ABCPE corresponden a los materiales con menor incidencia de enfermedad, es decir con mayor nivel de resistencia (Escalante y Farrera, 2004). Al analizar el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE), se encontró que el genotipo con valor más elevado de incidencia al patógeno fue IR13 con 1680 porcentaje por día, seguido de F3 y R1 (Figura 1). Hernández (2013) reporta un porcentaje similar de incidencia de la enfermedad *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en la línea IR13.

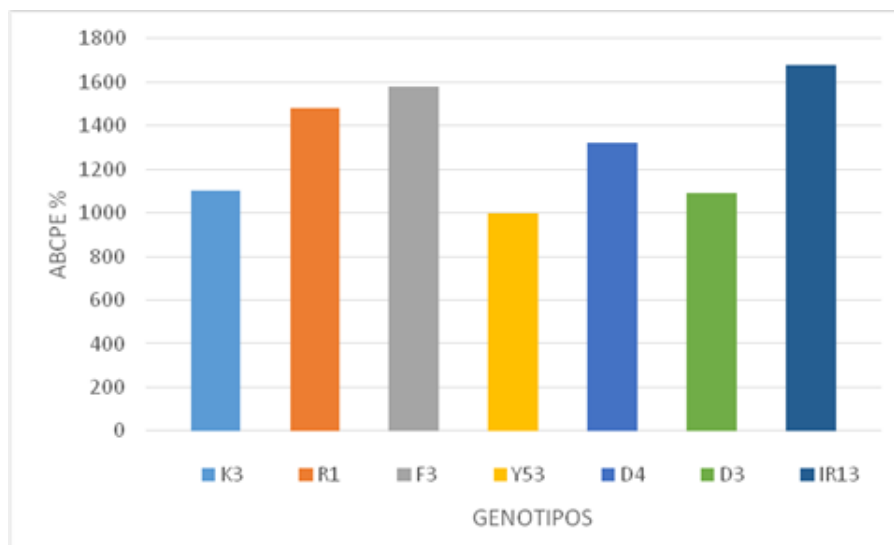


Figura 1. Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de siete progenitores de tomate a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Los genotipos con menor incidencia de la enfermedad fueron Y53 con 1000 y D3 con 1090 porcentaje por día respectivamente, mostrando con esto diferentes niveles de resistencia horizontal, ambos genotipos pueden ser elegidos para seguir un proceso de mejoramiento en donde se aprovechen los genes de resistencia a este patógeno. Hernández (2013) reporta resultados similares de resistencia en el genotipo D3.

De acuerdo a (Van der Plank, 1984), la resistencia horizontal no evita que las plantas sean infectadas, sino que reduce la tasa del incremento de la enfermedad de cada uno de los lugares de infección en la planta y por lo tanto retrasa la propagación de la enfermedad y el desarrollo de las epifitias en el campo. El ABCPE, al ser un valor numérico, no nos explica por sí solo cómo ha sido el comportamiento de los genotipos durante toda la epidemia, por ello fue necesario graficar la curva del progreso de la enfermedad (Figura 2) con los datos de las evaluaciones y el tiempo de evaluación. Los genotipos D3 y Y53 presentan valores bajos de incidencia de la enfermedad desde los primeros días hasta la última evaluación a los 48 días, sin embargo se puede observar que todos los progenitores son susceptibles a esta enfermedad. Los genotipos IR13 y R1 al final de la evaluación mostraron la mayor incidencia de la enfermedad.

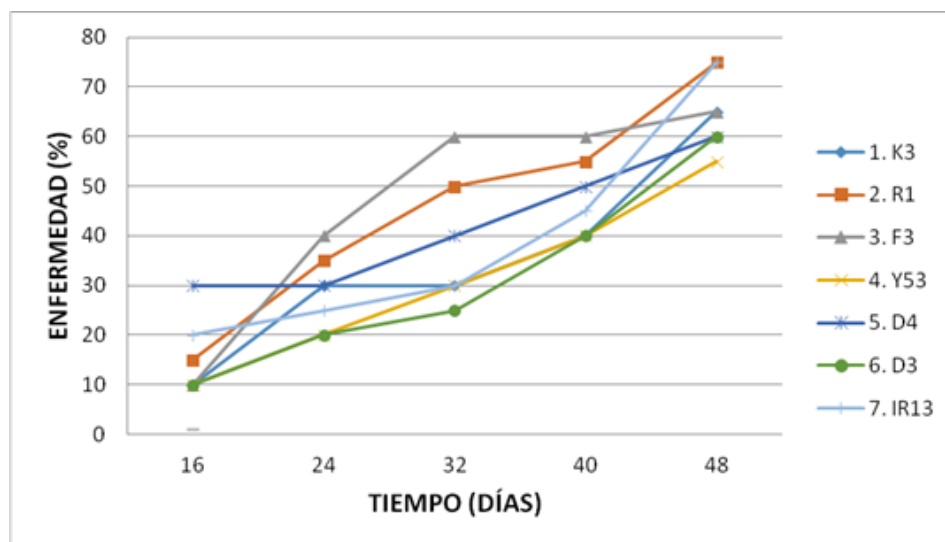


Figura 2. Curva de desarrollo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en siete progenitores de tomate.

Evaluación de las generaciones F₁ a la inoculación con *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Los cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción a la inoculación de *Fol.* en las F₁ muestran diferencias ($p \leq 0.01$) entre genotipos y repetición (Cuadro 13). Estas diferencias pueden atribuirse a que son cruzas generadas entre progenitores con un moderado nivel de resistencia y otros con completa susceptibilidad. Resultados similares reportó Hernández (2013) al evaluar 27 híbridos de tomate para resistencia a *Fusarium oxysporum*.

Cuadro 13. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para la reacción del avance de la enfermedad en 21 F₁ inoculadas con *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

FV	G.L	C.M	
REPETICIÓN	3	754.	**
GENOTIPO	20	931.8	**
ERROR	60		
C.V	18.7		

**Altamente significativo ($p \leq 0.01$); F.V= Fuentes de variación; Grados de libertad; C.M=Cuadrado medio; C.V=Coeficiente de variación.

La prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), para incidencia de la enfermedad en materiales F₁, muestra las cruzas K3xD3, Y53xIR13 y F3xY53, como las que tuvieron menor incidencia al patógeno durante los 48 días de evaluación (Cuadro A-3). En contraste K3xD4, D4xIR13 y F3xIR13 presentaron mayor incidencia a la enfermedad respectivamente.

Los valores del Área Bajo la Curva de Desarrollo de la Enfermedad, indican que la crusa con menor nivel de incidencia fue K3xD3 con 740 porcentaje por día, seguida de Y53xIR13 y F3xY53 con valores de 940 y 1020, considerándose así genotipos moderadamente resistentes al hongo. Las cruzas más susceptibles al

patógeno fueron las cruzas F3xIR13, K3xD4 y D4xIR13, con porcentaje por días de 2300, 2170 y 2110, respectivamente (Figura 3).

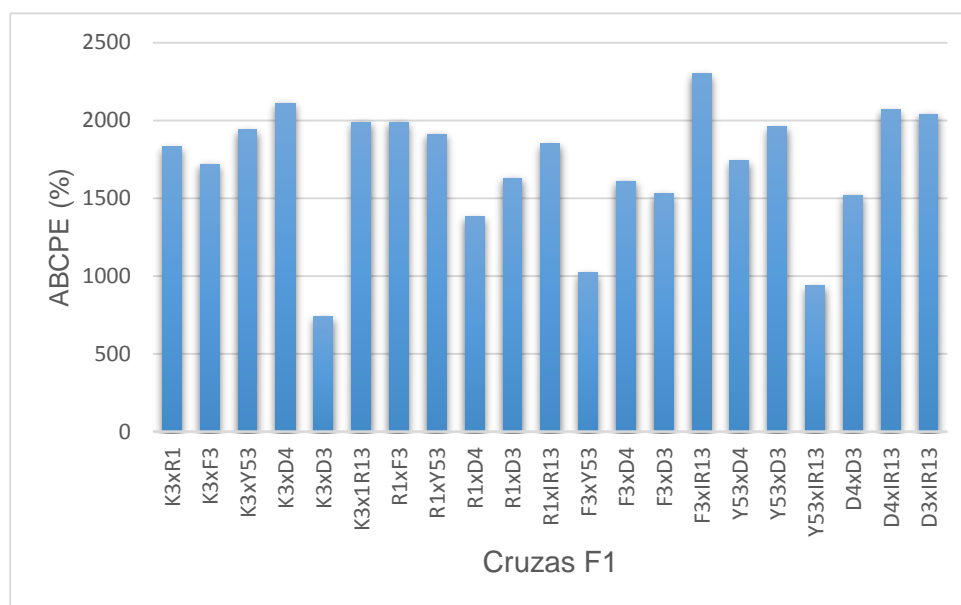


Figura 3. Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de 21 híbridos de tomate a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

La curva de progreso de la enfermedad con los datos de las evaluaciones y el tiempo de evaluación de seis cruzas, tres de ellas consideradas como más resistentes y tres susceptibles al hongo (Figura 4), indican que la enfermedad progresó más lentamente en algunas cruzas que en otras. Se puede observar que las cruzas K3xD3 y Y53xIR13, son las que presentaron un menor avance del patógeno, lo cual de acuerdo a Van der Plank (1984) indica un tipo de resistencia poligénica; es decir no bloquea por completo el desarrollo de la enfermedad, sino que permite cierto desarrollo del patógeno, considerándoseles como parcialmente resistentes a este patógeno.

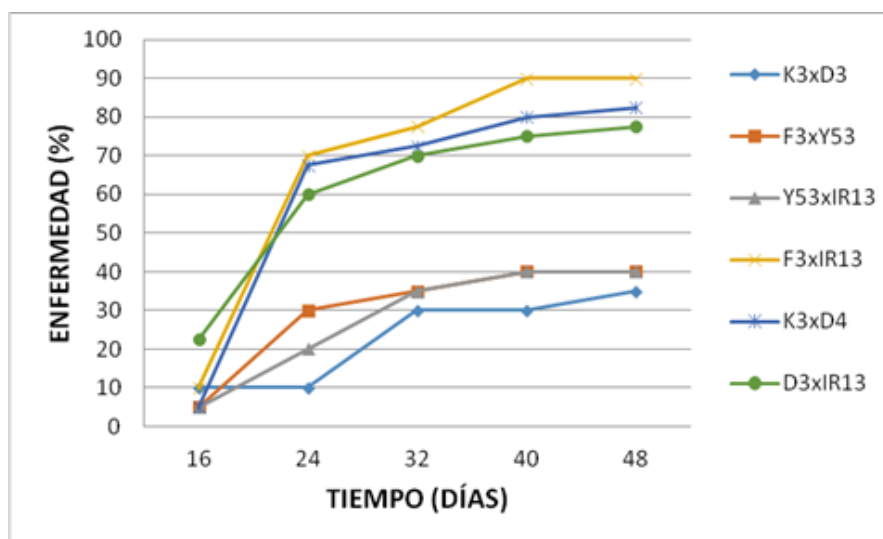


Figura 4. Curva de desarrollo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en seis híbridos de tomate.

V. CONCLUSIONES

La estimación de aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica y heterosis generó información sobre el potencial de los siete progenitores estudiados y de sus cruzas, para el mejoramiento genético de tomate. Los valores más altos de ACG y ACE con respecto a la variable rendimiento (REND) se observaron en las líneas D4, D3, K3 y en los híbridos K3xD4, R1xY53, D3xIR13 y F3xY53. La línea con mayor rendimiento (REND) fue Y53 con 55 t ha⁻¹ y el híbrido Y53xD4 con 93 t ha⁻¹.

Se detectó la presencia de la raza 2 de Fol en invernaderos de El Acocul y Palo Gordo, y la raza 3 en Metepec, Tortugas, I. Zaragoza y el Acocul en el Municipio de Metepec, Hidalgo.

Los genotipos Y53 y D3 presentaron la menor incidencia de Fol al ser inoculados artificialmente; lo mismo que los híbridos K3xD3, Y53xIR13 y F3xY53 por lo que se considera que tienen cierto grado de resistencia a esta enfermedad y pudieran usarse en programas de mejoramiento enfocado a resistencia hacia esta enfermedad.

VI. LITERATURA CITADA

- Ahmad, S., A. K. M. Quamruzzaman y M. R. Islam. 2011. Estimate of heterosis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Bangladesh J. Agril. Res. 36(3):521-527.
- Ascencio A., A., A. López B., F. Borrego E., S. A. Rodríguez H., A. Flores O., F. Jiménez D. y A. J. Gámez. 2008. Marchitez del tomate. I: Presencia de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa México. Revista Mexicana de Fitopatología 26(2): 114-120.
- Amaral, A., V. Dias., C. Damiao., F. Luiz., C. Scapim. 1997. Mejoramiento en tomate: II. Procedimiento de Gardner y Eberhart para análisis de heterosis de características morfoagronómicas y calidad de frutos. Bragantia. 56 (1):33-46.
- Amaral, D.O.J., M. Magalhaes, L. Vilela, y M. Vanusa. 2008. Differential gene expression induced by salicylic acid and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* infection in tomato. Pesq Agrop Bras 43(8): 1017-1023.
- Antuna G., O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de Maíz. Fitotecnia Mexicana 26: 11-17.
- Bhatt, R. P., V. R. Biswasy N. Kumar. 2001. Heterosis, combining ability and genetics for vitamin C, total soluble solids and yield in tomato (*Lycopersicon esculentum*) at 1700 m altitude. Journal of Agricultural Science, Cambridge 137: 71-75.
- Báez V., E.P., J. A. Carrillo F., M. A. Báez S., R. S. García E., J. B. Valdez T. y R Contreras M. 2010. Uso de portainjertos resistentes para el control de la Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). Revista Mexicana de Fitopatología 28 (2): 111-122.

- Blancard D. 1997. A colour atlas of tomato diseases. Observation, Identification and Control. Manson Publishing, John Wiley & Sons New York, Toronto.
- Burrow, M.D. y Coors, J.G. 1994. DialleL: a microcomputer program for the simulation and analysis of diallel crosses. *Agron. J.* 86:154-158.
- Carrillo F., J.A., T. J. Montoya R., R. S. García E., J. E. Cruz O., I. Márquez Z. y A. J. Sañudo B. 2003. Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder y Hansen, en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21:123-127.
- Castañón N., G., L. Latournerie M. y M. Mendoza E. 2005. Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffing. *Universidad y ciencia* 21(41): 27-35.
- Chávez, A. J. L. 1995. Mejoramiento de plantas 2 (Métodos específicos de plantas alógamas). 1ra edición. Trillas. 138 p.
- Cruz C., J., F. Jiménez, J. Ruiz, G. Díaz, P. Sánchez, C. Perales y A. Arellanes 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* M) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana* 14(1): 85-88.
- De la Rosa A., H. De León, G. Martínez, F. Rincón. 2000. Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L). *Agronomía mesoamericana* 11 (1): 113-122.
- Dorantes G., J. R., F. P. Gámez V., M. A. Ávila P., A. J. Gámez V y M. Ramírez M. 2008. Heterosis para características de fruto en chile jalapeño. 3era. Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatán, México.
- Echeverri A., A., H. Ceballos L. y F.A. Vallejo C. 1998. Heterosis y aptitud combinatoria en pimentón (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Fac. Nal. Agr.* 51 (2):189-214.
- Escalante O., M., P. Farrera R. 2004. Epidemiología del Tizón Tardío (*Phytophthora infestans* Mont de Bray) de la papa en zonas productoras del Estado de Táchira, Venezuela. *Bioagro* 16:47-54.

- Espitia C., M. M., F. Vallejo C. y D. Baena G. 2006. Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 59:3105-3121.
- Falconer, D. S. 1981. Introducción a la genética cuantitativa. 12ª. Impresión. Editorial CECSA. 430p.
- Fehr, R. W. 1982. Applied plant breeding. Iowa State University. Ames Iowa University Press. P. 552.
- Gabriel J., E. López, J. Magne, A. Angulo, R. Luján, J. La Torre, M. Crespo. 2013. Bases genéticas de la herencia para características morfológicas, agronómicas y agro industriales en tomate híbrido *Solanum lycopersicum* L. (Mill.). Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia 4:37-46.
- García A., A. y F. A. Vallejo C. 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.
- Gardner, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. Fitotecnia Latinoamericana 4(2): 1-12.
- Gardner, C. O. y S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22:439-452.
- González I., Y. Arias y B. Peteira. 2012. Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*-tomate. Rev. Protección Veg. 27: 1-7.
- Guerra Z., L. 2010. Estimación de Aptitud Combinatoria General, Aptitud Combinatoria Específica y heterosis en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Gutiérrez R., E., A. Espinosa, A. Palomo, J. Lozano, y O. Antuna. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. Rev. Fitotec. Mex. 27 (1):7-11.

- Griffing, B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.*, 9: 463-493.
- Hannan, M. M.; Ahmed, M.B.; Razvy, M. A.; Karim, R.; Khatun, M.; Haydar, A.; Hossain, M. y Roy, U. K. 2007. Heterosis and correlations of yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *American-Eurasian J. Sci. Res.* 2(2):146-150.
- Hayman, B. I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39: 789 - 809.
- Haynes K., G. and D. Peter Weingartner. 2004. The Use of Area Under the Disease Progress Curve to Assess Resistance to Late Blight in Potato Germplasm. *Amer J of Potato Res* 81:137-141.
- Hasanuzzaman, M.M., A. Hakin, M. Hanafi M., A. Shukor J., M. Islam M., A. K. Shumsuddin M. 2013. Estudio de la heterosis en variedades nativas de Chile (*Capsicum annuum* L.) de Bangladesh. *Agro ciencia* 47:683-690.
- Hernández M., R. 2013. Selección de genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con base en parámetros genéticos para rendimiento y resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) (Sacc.) Snyder y Hansen. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Hernández M., R., A. López B., F. Borrego E., J. Espinoza V., D. Sánchez A., I. E., Maldonado M. y L. A. López O. 2014. Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en predios tomateros en San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(7):1169-1178.
- Hernández L., E., R. Lobato O., J. J. García Z., D., Reyes L., A. Méndez L., O. Bonilla B. y A. Hernández B. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F₂ de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Fitotecnia Mexicana* 36:209-215.
- Holguín, 2005. Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in Baja California Sur, México. *Plant Disease* 89:1360.

- INEGI, 2012. Perspectiva estadística Coahuila de Zaragoza. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 99 pp.
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System). Disponible en:http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&searchvalue=521671 (Consultado: Marzo 2015).
- Jeger, M. J. and S.L.H. Viljanen-Rollinson. 2001. The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theor Appl Genet* 102:32–40.
- Jiménez A., J., J. C. Carrillo R. y J. L. Chávez S. 2014. Heterosis entre siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. *Agricultura sostenible* 7:42-50.
- Juárez L., G. F., F. Sánchez del C. y E. Contreras M. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. *Rev. Chapingo S. Hort.* 6:19-23.
- Leyva M., S. G., C. M. González S., J. E. Rodríguez P. y D. Montalvo H. 2013. Comportamiento de líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a fitopatógenos en Chapingo, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3): 301-313.
- López B., A., F. Borrego E., V. M. Zamora V. y L. Guerra Z. 2012. Estimación de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Específica en Siete Líneas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agraria* 9(3): 87-95.
- Lucero F., J. M., C. Sánchez V. y M. A. Almendarez. 2012. Inteligencia de mercado de tomate saladette. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 74 p.
- Maharaj, K. R. y K. Autar M. 2006. Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Taylor y Francis Group. Pj 9.
- Martínez S., J., A. Peña L., J. E. Rodríguez P., J. Sahagún C. y M. J. Peña O. 2013. Heterosis intervarietal en jitomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(4):5-21.

- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal, Tomo II. AGTESA. México. 563 p.
- Marin, V. y L. F. Lippert. 1975. Combining Ability Analysis of Anatomical Components of the Dry Fruit in Chili Pepper. *CropScience* 15:326-329.
- Marlatt, M., J. Correll and P. Kaufman. 1996. Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. *Plant. Dis.* 80:1336-1342.
- Mendoza De J. V., J. Sahagún C., J. E. Rodríguez P., J. P. Legaria S., A. Peña L. y M. Pérez G. 2010. Heterosis intervarietal en jitomate de crecimiento indeterminado tipo saladete. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(1): 57-66.
- Miyazaki, J. H. and Yang, S. F. 1997. The methionine salvage pathway in relation to ethylene and polyamine biosynthesis. *Physiologia Plantarum.* 69, 366-370.
- Molina, G. J. M. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa. Editorial Agt Editor, S.A., pp. 151.
- Murashige, T. and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant,* 15: 473-497.
- Niks, R.E., Ellis, P.R. y Parlevliet, J.E. 1993. Resistance to parasites. In M.D. Hayward, N.O. Bosemark & I. Romagosa, eds. *Plant breeding: principles and prospects*, p. 422-447. London, Chapman & Hall.
- Ortega G., J.G. 2010. Diagnóstico de hongos fitopatógenos de jitomate y efecto de *Trichoderma asperellum* Tc74 sobre *Fusarium* spp. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo Agroecológico de Plagas y Enfermedades. Instituto Politécnico Nacional (IPN).
- Oyervides C., M.S. 1999. Producción y Exportación de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Período de 1995 a 1998. Buenavista, Saltillo Coahuila México. 83 pj.

- Premalakshme, V., T. Thangaraj, D. Veeraragavathatham y T. Arumugam. 2005. Heterosis and combining ability in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Veg. Sci. 32(1): 47-50.
- Quiroga, M. R.; M. Rosales, E., P. Rincón, E. y. E. Hernández G. 2007. Enfermedades causadas por hongos y nematodos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el municipio de Villaflores, Chiapas, México. Rev. Mex. Fitopatología 25(2):114-119.
- Ravindra, K., K. Srivastava, N. Pal Singh, N. K. Vasistha, R. K. Singh y M. K. Singh. 2013. Combining Ability Analysis for Yield and Quality Traits in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Agricultural Science 5(2):213-218.
- Reyes L., D., J. D. Molina G., M. A. Oropeza R., y E.C. Moreno P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27 (1): 49 – 56.
- 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 Ciencias Agrícolas 1:4.
- Sánchez-Peña, P.; Cauich-Pech, S. O.; Núñez-Farfán, J.; Núñez-Cebreros, R. D.; Hernández-Verdugo, S. Parra-Terraza, S. and Villarreal-Romero, M. 2010. Incidence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato in Sinaloa México. Plant Dis. 94 (11):1376.
- Santosh, K. and Manish K. S. 2011. Exploitation of heterosis for yield and its contributing traits in tomato, *Solanum lycopersicum* L. International Journal of Farm Sciences 1(2):45-55.
- San Vicente, F., A. Bejarano, J. Crossa y C. Marín. 2001. Heterosis y aptitud combinatoria entre poblaciones tropicales de maíz de endospermo amarillo. Agronomía Tropical 51(3): 301-318.
- Saleem, M. Y., M. Asghar, Q. Iqbal, A. Rahman y M Akram. 2013. Diallel analysis of yield and some yield components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Pak. J. Bot. 45(4): 1247-1250.

- Sekhar L, Prakash B.G, Salimath P.M, Channayya P, Hiremath Sridevi O, y Patil A. A. 2009. Performance of productive single cross hybrids in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Karnataka J. Agric. Sci., 22(4) :(877- 878).
- Sekhar L, Prakash B.G, Salimath P.M, Channayya P, Hiremath Sridevi O, y Patil A.A. 2010. Implication of heterosis and combining ability among productive single cross hybrids in tomato. Elec. J. Plant Breeding, 1(4):706-711.
- SAGARPA-SIAP. 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2013. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Documento en línea:<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> Fecha de consulta: 10 de Marzo de 2015.
- Shaner, G. and Finney R. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox. Phytopathology 67:1051-1056.
- Sierra M., M., O. R. Preciado E., A. J. Alcázar, J. y F. Rodríguez, M. 1991. Selección de líneas por su rendimiento y adaptación con base en un patrón heterótico conocido. In: XXXVII Reunión Anual del PCCMCA. Panamá, Panamá. pp. 109-116.
- Sprague, G. F. y L. A. Tatum. 1942. A general vs. specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. 34:923-932.
- Stakman, E.C. and Harrar, J.G. 1957. Principles of Plant Pathology. N. York: The Ronald Press Company, 207-257 (Edición en español: Principios de Patología Vegetal. Buenos Aires: EUDEBA, 1963).
- Valenzuela, U, J.G., Lawn, D.A., Heisey, R.F., y Guzmán Z.V. 1996. First report of Fusarium wilt race 3, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* of tomato in México. Plant Dis. 80: 105.
- Van der Plank, J.E., 1984. Disease Resistance in Plants. Second Edition. Academic Press, Inc. Orlando, San Diego, San Francisco, N. Y., London. p. 194.

- Vega, P. 1987. Introducción a la teoría de genética cuantitativa con especial referencia al mejoramiento de plantas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. 398 p.
- Yadav, S. K., B. Singh K., D. Baranwal K. y S. Solankey S. 2013. Genetic study of heterosis for yield and quality components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). African Journal of Agricultural Research Vol. 8(44): 5585-5591.
- Zhang Y. y M.S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders. In: Kang, M. S. (ed). FPP. New York. London. Oxford. 347 p.

VII. ANEXOS

A-1. Comparación de medias de siete líneas de tomate y sus 21 cruzas para características de rendimiento y fenológicas analizadas con la prueba de Tukey.

Líneas	Variables evaluadas						
	DPC (días)	DP (cm)	DE (cm)	PPF (g)	NFP ¹ (frutos)	PFP (Kg)	REND t ha ⁻¹
K3	A 82.00	C-E 4.85	D4.53	DC96.47	E-G17.33	F-H1.67	E-H53.50
R1	A 82.00	A-D 5.34	B-D 5.92	BA111.47	HG13.00	F-J1.45	F-K46.41
F3	A 81.60	A-E 5.27	B-D 5.79	G-J 74.17	C-E21.00	E-I1.55	E-I49.81
Y53	A 80.30	A-D 5.59	B-D 5.60	I-L68.00	CB25.33	D-G1.72	D-G55.06
D4	A 82.00	B-E 5.12	B-D 5.27	C-F 91.13	FE18.67	D-H1.70	D-H54.41
D3	A 82.00	A-E 5.24	B-D 5.99	DC95.97	E-G17.33	E-H1.66	E-H53.24
I3R3	A82.00	A-C 5.38	B-D 5.55	A116.70	H11.00	H-L1.28	H-L41.09
Cruzas							
K3xR1	A82.00	B-C 4.86	B-D5.65	DC95.40	FE18.33	C-F1.75	C-F55.97
K3xF3	A82.00	A-D 5.37	CB6.42	BC99.90	E-G17.33	C-G1.74	C-G55.59
K3xY53	A80.30	AB6.09	CB6.37	C-E93.29	C-E21.00	B-E1.96	B-E62.70
K3xD4	A78.60	A-E5.21	B-D5.83	H-K70.10	B-D24.33	D-G1.71	D-G54.70
K3xD3	A82.00	B-E5.08	B-D6.07	J-L 64.17	FE18.00	I-L1.15	I-L36.97
K3xI3R3	A82.00	A-D5.59	B-D5.73	L56.60	E-G17.00	L 0.96	L30.78
R1xF3	A83.30	D-E4.58	CD5.08	A121.06	H 12.00	F-K1.45	F-K46.53
R1xY53	A83.30	A-D5.52	B-D5.93	A122.53	H11.33	F-K1.38	F-K44.41
R1xD4	A80.30	C-E4.80	D4.71	LK60.53	FE18.33	J-L1.10	J-L35.29
R1xD3	A80.30	A-D5.67	B-D5.46	J-L 62.83	FE18.33	I-L1.15	I-L36.81

R1xI3R3	A85.00	A-D5.59	B6.85	A116.80	H11.33	H-L1.33	H-L42.55
F3xY53	A85.00	A-C5.81	CD5.19	H-L69.30	ED20.33	F-K1.41	F-K45.10
F3xD4	A81.30	A-C5.82	B-D5.91	DC96.47	FE18.33	C-F1.76	C-F56.41
F3xD3	A82.00	A-D5.58	B-D5.92	E-H 81.87	B26.00	B-D2.12	B-D67.73
F3xI3R3	A82.00	A6.29	CD4.91	F-I80.20	B27.33	B2.18	B69.86
Y53xD4	A82.00	C-E4.76	B-D5.46	D-G 85.23	A34.33	A2.92	A93.58
Y53xD3	A80.30	A-E5.16	B-D5.87	G-I77.67	B27.68	BC2.15	BC68.69
Y53xI3R3	A80.30	D-E5.08	D4.61	G-J74.30	B25.68	B-E1.91	B-E61.14
D4xD3	A78.60	B-E4.99	B-D5.61	G-J 77.33	FE19.00	F-K1.43	F-K45.81
D4xI3R3	A 80.30	C-E4.90	B-D 5.86	G-J75.70	E 19.33	FJ1.46	F-J46.76
D3xI3R3	A 85.00	E4.19	A8.70	H-K71.20	F-H14.68	LK1.04	KL33.25

1Promedio del número total de frutos de cuatro plantas centrales en cuatro cortes.

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \leq 0.05).

A-2. Respuesta a la inoculación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en siete líneas de tomate a través de 48 días de evaluación en la localidad de Saltillo, Coahuila en el ciclo P-V 2014.

Líneas	Media		I.E. (%) días después de la inoculación				
			16 días	24 días	32 días	40 días	48 días
K3	43.7	AB	10	30	30	40	65
R1	52.5	AB	15	35	50	55	75
F3	58.7	A	10	40	60	60	65
Y53	38.7	AB	10	20	30	40	55
D4	52.5	AB	30	30	40	50	60
D3	33.7	B	25	30	40	50	65
I3R3	57.5	A	5	10	30	45	45

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \leq 0.05).

A-3. Respuesta a la inoculación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en 21 híbridos de tomate a través de 48 días de evaluación en la localidad de Saltillo, Coahuila en el ciclo P-V 2014.

Híbridos	I.E. (%) días después de la inoculación						
	Media		16 días	24 días	32 días	40 días	48 días
K3xR1	71.25	A	20	55	60	67.5	72.5
K3xF3	63.75	BAC	5	52.5	57.5	67.5	70
K3xY53	73.75	A	15	57.5	65	75	75
K3xD4	78.12	A	5	67.5	72.5	80	82.5
K3xD3	28.75	D	10	10	30	30	35
K3xI3R3	75.00	A	20	60	70	72.5	72.5
R1xF3	76.25	A	25	60	70	70	72.5
R1xY53	72.50	A	15	60	72.5	65	67.5
R1xD4	53.12	BDAC	17.5	37.5	45	52.5	57.5
R1xD3	60.62	BAC	10	50	57.5	60	62.5
R1xI3R3	68.75	BA	10	55	65	70	72.5
F3xY53	37.50	BDC	5	30	35	40	40
F3xD4	61.87	BAC	17.5	45	52.5	62.5	65
F3xD3	57.50	BDAC	10	45	52.5	57.5	62.5
F3xI3R3	84.37	A	10	70	77.5	90	90
Y53xD4	65.00	BAC	15	40	65	70	70
Y53xD3	73.12	A	17.5	42.5	72.5	80	82.5
Y53xI3R3	35.00	DC	5	20	35	40	40
D4xD3	56.87	BDAC	5	42.5	47.5	65	65
D4xI3R3	79.37	A	12.5	57.5	75	80	80
D3xI3R3	78.12	A	22.5	60	70	75	77.5

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \leq 0.05)