



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

SELECCIÓN DE LÍNEAS AVANZADAS DE JITOMATE (*Solanum Lycopersicum L.*) TIPO SALADETTE CON BASE GENÉTICA AMPLIADA

ALBA MELISSA CASTAÑEDA VILLA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS


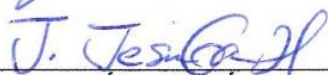


MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: **SELECCIÓN DE LÍNEAS AVANZADAS DE JITOMATE**
(*Solanum lycopersicum* L.) TIPO SALADETTE CON BASE GENÉTICA AMPLIADA,
realizada por la alumna: **ALBA MELISSA CASTAÑEDA VILLA**, bajo la dirección del
Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)	 _____ Dr. RICARDO LOBATO ORTIZ
ASESOR (A)	 _____ Dr. J. JESÚS GARCÍA ZAVALA
ASESOR (A)	 _____ Dr. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA
ASESOR (A)	 _____ Dr. AURELIO HERNÁNDEZ BAUTISTA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2021

SELECCIÓN DE LÍNEAS AVANZADAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

TIPO SALADETTE CON BASE GENÉTICA AMPLIADA

Alba Melissa Castañeda Villa, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021.

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado posee sólo 4.48 % de la variación presente en sus parientes silvestres. Una opción para obtener material genético mejorado en corto plazo es el uso de cruza intervarietales entre materiales élite por colecciones nativas o por variedades locales, para aprovechar la amplia variabilidad genética presente en el germoplasma nativo. El objetivo de la investigación fue evaluar y seleccionar agrónomicamente líneas avanzadas de jitomate tipo saladette. Por lo cual se realizaron dos estudios, el primero consistió en evaluar 103 genotipos, que incluían 10 progenitores nativos, tres progenitores derivados de híbridos comerciales, un testigo híbrido comercial ('El Cid') y 89 líneas avanzadas S₄. Se registró el rendimiento y sus cinco componentes. Se detectó significancia ($P \leq 0.01$) entre genotipos para todas las variables, excepto para sólidos solubles; y se identificaron nueve líneas avanzadas con características similares al testigo, de las cuales sobresalieron las líneas avanzadas, por lo que se recomienda recombinar genéticamente estas nueve líneas en un esquema de cruzamiento dialélico. La segunda investigación consistió en evaluar 90 genotipos, que incluían 89 líneas avanzadas S₄ y un testigo híbrido comercial. Se registraron seis variables del tipo cualitativo y cuantitativo. Para las variables de rendimiento, la comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), mientras que para las de tipo cualitativo, la comparación de medias se hizo contrastando hipótesis lineales, bajo el criterio de Bonferroni. Se identificaron 4 genotipos resistentes a mancha gris y 25 materiales tolerantes a la misma enfermedad. Se observaron 25 materiales sin necrosis apical en fruto como consecuencia de deficiencia de calcio y se detectó 10 líneas sin presencia de hendidura en el fruto a consecuencia de factores abióticos en planta. Con ambos estudios, se concluyó que las líneas avanzadas con amplia base genética, derivadas de cruza de jitomate tipo saladette y poblaciones nativas tipo "pimiento" o "chino criollo", poseen alto potencial de rendimiento, así como alta tolerancia a factores bióticos y abióticos, las cuales podrían ser utilizadas para generar variedades de polinización libre y progenitores potenciales de híbridos de jitomate tipo saladette.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, genotecnia hortícola, germoplasma nativo, jitomate silvestre.

SELECTION OF ADVANCED LINES OF TOMATO (*Solanum Lycopersicum*) TYPE SALADETTE WITH EXTENDED GENETIC BASE

Alba Melissa Castañeda Villa, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021.

ABSTRACT

Cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) has only 4.48 % of the variation present in its wild relatives. One option to obtain improved genetic material in the short term is to use intervarietal crosses between elite materials by native collections or by local varieties, to take advantage of the wide genetic variability present in native germplasm. The objective of this research was to evaluate and select agronomically advanced lines of saladette tomato. Therefore, two studies were carried out, the first one consisted of evaluating 103 genotypes, including 10 native parents, three parents derived from commercial hybrids, a commercial hybrid control ('El Cid') and 89 advanced S₄ lines. Yield and its five components were recorded. Significance ($P \leq 0.01$) was detected among genotypes for all variables, except for soluble solids. Nine advanced lines were identified with characteristics similar to the control, of which the advanced lines stood out, so it is recommended that these nine lines be genetically recombined in a dialectic crossing scheme. The second research consisted of evaluating 90 genotypes, including 89 advanced S₄ lines and a commercial hybrid as control. Six qualitative and quantitative variables were recorded. For yield variables, the comparison of means was done by Tukey test ($P \leq 0.05$), whereas the comparison of means in qualitative traits was done contrasting linear hypotheses, considering the Bonferroni criterion. Four genotypes resistant to gray spot and 25 materials tolerant to the same disease were identified. Twenty-five materials were observed without apical necrosis in the fruit as a result of calcium deficiency, and 10 lines were detected without the presence of cracking in the fruit as a result of abiotic factors in the plant. With both studies, it was concluded that advanced lines with a broad genetic base, derived from crosses of saladette tomato and native populations of "pimiento" or "chino criollo" type, have high potential yield as well as tolerance to biotic and abiotic factors, which could be used to generate open-pollinated varieties and potential parents of saladette tomato hybrids.

Key words: *Solanum lycopersicum*, horticultural breeding, native germplasm, wild tomato.

DEDICATORIA

A mi hijo Alexander

Por ser mi razón de dar gracias a Dios todas las mañanas y el motivo que me impulsa a ser una mejor persona.

A mi esposo Alexander

Por ser mi fortaleza y mi pilar de vida, por las mil maneras en que siempre me demuestras tu amor incondicional.

A mis padres Eugenio[†] y Rosario[†]

Por darme la vida y la infancia más bella que una niña puede soñar, un beso hasta el cielo.

A mi compañera de vida Dania

Mi mayor orgullo, por todo el amor que siempre me das, por enseñarme a ser valiente y por siempre sonreír para mí.

A mis hermanos Jennifer y Diego[†]

Por ser mis maestros de vida.

A mi sobrina Sophia

Gracias a ti mi reyna hermosa, mis días son más soleados.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haber financiado mis estudios de Posgrado.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por darme la oportunidad de realizar un Posgrado.

Al Dr. Ricardo Lobato Ortiz, por integrarme a su grupo de investigación, por su confianza hacia mi persona, por su paciencia, por sus consejos, por el tiempo dedicado a mi formación personal y profesional durante mi estancia en el Posgrado, pero sobre todo por su amistad.

Al Dr. J. Jesús García Zavala, por su amistad, por aceptar ser parte de mi Consejo, por sus consejos, por su respaldo y orientación, por las contribuciones tan acertadas en la presente investigación

Al Dr. Aurelio Bautista Hernández, por aceptar ser parte de mi Consejo, por siempre ser tan accesible, por estar tan involucrado en mi formación profesional, por las valiosas contribuciones a esta investigación.

Al Dr. Guillermo Calderón Zavala, por aceptar ser parte de mi Consejo, por la disponibilidad de resolver mis dudas, por su guía y compromiso con la presente investigación

Al cuerpo académico del Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad- **Genética**, por los conocimientos dotados a través de sus invaluable clases, que fortalecieron mi formación profesional.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I. IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS SOBRESALIENTES DE JITOMATE TIPO SALADETTE CON BASE GENÉTICA AMPLIADA.....	3
1.1. RESUMEN.....	3
1.2 ABSTRACT.....	4
1.3 INTRODUCCIÓN.....	5
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
1.4.1 Material genético.....	6
1.4.2 Diseño experimental.....	7
1.4.3 Manejo agronómico.....	7
1.4.4 Variables evaluadas.....	8
1.4.5 Análisis estadístico.....	8
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
1.5.1 Análisis de varianza.....	8
1.5.2 Contrastes ortogonales.....	10
1.5.3 Comparación de medias de líneas avanzadas.....	12
1.5.4 Correlaciones.....	15
1.6 CONCLUSIONES.....	19
CAPÍTULO II. IMPACTO NEGATIVO DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS EN EL RENDIMIENTO DE LÍNEAS AVANZADAS DE JITOMATE.....	20
2.1. RESUMEN.....	20
2.2 ABSTRACT.....	21
2.3 INTRODUCCIÓN.....	22
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
2.4.1 Material genético.....	23

2.4.2 Diseño experimental	23
2.4.3 Manejo agronómico	24
2.4.4 Variables evaluadas	24
2.4.5 Análisis estadístico	25
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
2.5.1 Correlación de Spearman	26
2.5.2 Comportamiento agronómico de líneas avanzadas S ₄ ante factores bióticos y abióticos	27
2.6 CONCLUSIONES	33
DISCUSIÓN GENERAL	34
CONCLUSIONES GENERALES	36
LITERATURA CITADA	37
ANEXO	40

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

Cuadro 1.1. Cuadrados medios de variables de rendimiento y calidad de fruto en genotipos de jitomate tipo saladette con base genética ampliada y un testigo comercial.....	9
Cuadro 1.2. Cuadrados medios de variables de rendimiento y calidad de fruto de líneas avanzadas de jitomate, provenientes de cruas LOR x C, LOR x L y LOR x R.....	10
Cuadro 1.3. Cuadrados medios de los contrastes ortogonales en variables de rendimiento y calidad de fruto de tres grupos de líneas avanzadas de jitomate y un testigo.....	11
Cuadro 1.4. Media general de los grupos de progenies y el testigo para variables de rendimiento y calidad agronómica de frutos de jitomate.....	11
Cuadro 1.5. Medias de las características agronómicas de diez genotipos de jitomate tipo saladette de mayor rendimiento.....	13
Cuadro 1.6. Medias de las características agronómicas de diez líneas avanzadas de jitomate tipo saladette de menor rendimiento.....	15
Cuadro 1.7. Correlaciones fenotípicas entre variables de rendimiento y calidad agronómica de frutos de jitomate de tres grupos de progenies.	17

CAPÍTULO II

Cuadro 2.1. Coeficiente de correlación de Spearman entre variables de rendimiento y sanidad en genotipos de jitomate tipo saladette con base genética ampliada y un testigo comercial.	26
Cuadro 2.2. Cuadrados medios de variables de rendimiento en genotipos de jitomate tipo saladette con base genética ampliada y un testigo comercial.	27
Cuadro 2.3. Medias de tres características agronómicas de quince genotipos de jitomate tipo saladette de mayor rendimiento.....	28

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Escala de evaluación de enfermedad para mancha gris causada por <i>Stemphylium</i> en jitomate.....	25
Figura 2.2. Sanidad en plantas a mancha gris en ochenta y nueve líneas avanzadas de jitomate y un testigo comercial.	30
Figura 2.3. Porcentaje de presencia de necrosis apical en el fruto por deficiencia de calcio en ochenta y nueve líneas avanzadas de jitomates y un testigo comercial.....	31
Figura 2.4. Porcentaje de presencia de hendidura en el fruto por factores abióticos en ochenta y nueve líneas avanzadas de jitomate y un testigo comercial.	32

INTRODUCCIÓN GENERAL

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las Solanáceas, su nombre proviene del náhuatl, xictlitomatl, o “tomate de ombligo”, la especie es originaria de Sudamérica, pero su domesticación se llevó a cabo en México. Actualmente el jitomate es la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional. México es el décimo productor de jitomate, con una superficie sembrada anualmente de 80,000 ha en campo abierto con un rendimiento promedio de 28.7 t ha. En México, el jitomate es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annuum* L.), por su superficie sembrada, por su volumen y valor de producción en el mercado nacional, y por los empleos que genera (Nieto y Velasco, 2006; Hernández-Leal *et al.*, 2013).

La variación genética del jitomate cultivado comercial es reducida, ya que solo posee 4.48 % de la variación existente en sus 12 parientes silvestres (Miller y Tanksley, 1990). Debido a que nuestro país es centro de domesticación del jitomate, el material nativo mexicano "criollo" se encuentra distribuido en todo el país (Sánchez-Peña *et al.*, 2006; Chávez-Servia *et al.*, 2011; Lobato-Ortiz *et al.*, 2012). La amplia distribución de este tipo de jitomate ha permitido desarrollar poblaciones con diversos grados de adaptación a factores abióticos extremos y con resistencia a plagas y enfermedades, lo que ha incrementado la variabilidad biológica de la especie (Ramanatha y Hodking, 2002). En consecuencia, se requiere estudiar el material nativo mexicano *per se* y en combinaciones híbridas, para generar germoplasma útil a los programas nacionales de mejoramiento genético, con mejor adaptación y que permita la eventual obtención de líneas, variedades sintéticas e híbridos con mejores atributos.

Con base en lo anteriormente señalado, es fundamental incrementar la diversidad genética en nuestro germoplasma cultivado de jitomate; por ello, en la presente investigación se propone evaluar y seleccionar líneas avanzadas de amplia base genética, derivadas de cruzas de jitomate tipo saladette y germoplasma nativo tipo “pimiento”, localmente llamado “chino criollo”, de la región de Tehuacán, Puebla, México, con el objetivo de evaluar e identificar germoplasma con alto potencial de rendimiento, con un mejor comportamiento agronómico y una superioridad mayor de tolerancia a factores bióticos y abióticos que los actuales materiales en el mercado.

CAPÍTULO I. IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS SOBRESALIENTES DE JITOMATE TIPO SALADETTE CON BASE GENÉTICA AMPLIADA

1.1. RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo tipo “pimiento” o “chino criollo” tiene amplia distribución geográfica, presenta diversos grados de adaptación a factores abióticos extremos y es fuente de resistencia a plagas y enfermedades. Los cruzamientos entre poblaciones nativas e híbridos comerciales tipo saladette generan progenies sobresalientes que pueden emplearse como variedades de polinización libre ó líneas progenitoras potenciales de nuevos híbridos. En este trabajo se evaluaron 103 genotipos, que incluyeron 10 progenitores nativos, tres progenitores derivados de híbridos comerciales, un testigo híbrido comercial (‘El Cid’) y 89 líneas avanzadas S₄. La evaluación se efectuó en invernadero e hidroponía, durante el ciclo primavera-verano 2020, en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones y cuatro plantas por repetición. Se registró información del peso y número total de frutos, con base en la suma de los dos cortes realizados; y días a floración del primer racimo, peso promedio del fruto, sólidos solubles totales. Se aplicó análisis de varianza, correlaciones y contrastes ortogonales; la comparación de medias fue mediante Tukey ($P \leq 0.05$). Se identificaron nueve líneas avanzadas con características similares o superiores a las del testigo, que se recomienda recombinarlas genéticamente en un esquema de cruzamiento dialélico para identificar nuevas progenies sobresalientes. Se identificó una línea avanzada que puede utilizarse como variedad de polinización libre, ya que posee características similares al testigo “El Cid” pero con genes de jitomate nativo.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, genotecnia hortícola, jitomate silvestre.

1.2 ABSTRACT

The native "pimiento" or "chino criollo" tomato (*Solanum lycopersicum* L.) has a wide geographic distribution, it has varying degrees of adaptation to extreme abiotic factors and is a source of resistance to pests and diseases. Crosses between native populations and commercial saladette hybrids generate outstanding progenies that can be used as open-pollinated varieties or potential parent lines for new hybrids. In this work, a total of 103 genotypes were evaluated, including 10 native parents, three parents derived from commercial hybrids, one commercial hybrid control ('El Cid') and 89 advanced S₄ lines. The evaluation was carried out in greenhouse and hydroponics, during the spring-summer 2020 cycle, in a randomized complete block design, with three replications and four plants per replication. Information was recorded on the weight and total number of fruits, based on the sum of the two harvests made; and days to flowering of the first truss, average fruit weight, total soluble solids. Analysis of variance, correlations and orthogonal contrasts were applied; the comparison of means was done by Tukey ($P \leq 0.05$). Nine advanced lines were identified with characteristics similar or superior to those of the control, which should be genetically recombined in a diallelic crossing scheme to identify new outstanding progenies. An advanced line was identified that can be used as an open-pollinated variety, since it has similar characteristics to the control "El Cid" but with native tomato genes.

Key words: *Solanum lycopersicum*, horticultural genotyping, wild tomato.

1.3 INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado posee sólo 4.48 % de la variación presente en sus parientes silvestres (Miller y Tanksley, 1990). Una opción para obtener material genético mejorado en corto plazo es el uso de cruzas intervarietales de materiales élite por colecciones nativas o por variedades locales, para aprovechar la amplia variabilidad genética presente en el germoplasma nativo (Shah *et al.*, 2015).

En México, dado el alto costo de la semilla comercial de híbridos de jitomate producidos por empresas extranjeras y la escasa investigación pública en esta especie, es conveniente apoyar programas nacionales de mejoramiento genético y utilizar el potencial de los parientes silvestres y variedades nativas, para lo cual es necesario coleccionar, conservar, caracterizar y evaluar tal germoplasma (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014; Flores-Hernández *et al.*, 2017). Estas acciones permitirían generar variedades e híbridos más productivos y económicos al alcance de pequeños y medianos productores, que sean competitivos con los que ofrece el sector privado.

El jitomate nativo tipo “pimiento” o “chino criollo” es una variedad nativa mexicana, con características similares al jitomate tipo “saladette” (Hernández-Bautista *et al.*, 2014), con potencial para utilizarlo como fuente de germoplasma para generar híbridos comerciales de ese tipo (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014).

Vázquez-Martínez *et al.* (2016) observaron que algunas cruzas entre líneas derivadas de germoplasma nativo “chino criollo” (que en este estudio se denominan “líneas de base genética ampliada”) y líneas derivadas de híbridos comerciales tipo “saladette”, presentaron un alto potencial de rendimiento, que igualó al de híbridos testigos comerciales. Estos autores

encontraron que los valores de heterosis media fueron altos y positivos en la mayoría de las variables, con excepción de días a floración que correlacionó negativamente con rendimiento; la mayor heterosis se obtuvo en peso total de fruto y días a floración. Con base en esa información, se inició un programa de derivación de nuevas líneas en poblaciones segregantes de las cruzas sobresalientes del estudio de Vázquez-Martínez *et al.* (2016). En el presente estudio se dispuso de 89 líneas S₄ de tal programa. El objetivo de esta investigación fue identificar y seleccionar líneas avanzadas de amplia base genética, derivadas de cruzas de jitomate tipo saladette y poblaciones nativas tipo “pimiento” o “chino criollo” para generar variedades de polinización libre y progenitores potenciales de híbridos de jitomate tipo saladette.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Material genético

Se evaluaron 103 genotipos, que incluían 10 progenitores nativos, 3 progenitores derivados de híbridos comerciales, un testigo híbrido comercial (‘El Cid’) y 89 líneas avanzadas S₄. Los progenitores nativos fueron líneas S₉ de jitomate nativo tipo “pimiento” (LOR-79, LOR-81, LOR-82, LOR-84, LOR-85, LOR-91, LOR-95, LOR-97, LOR-103, LOR-111). Los progenitores derivados de híbridos comerciales fueron líneas S₉ tipo “saladette” derivadas de los híbridos comerciales ‘Cuauhtémoc’ (C), ‘Loreto’ (L) y ‘Reserva’ (R). Las 89 líneas avanzadas S₄ procedían de cruzas entre ambos tipos de progenitores: 40 de LOR’s x C, 35 de LOR’s x L y 14 LOR’s x R.

Las líneas nativas se generaron por medio de autofecundación y selección individual (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014), mientras que las líneas tipo “saladette” se derivaron bajo la metodología de pedigrí (Hernández-Leal *et al.*, 2013).

La evaluación se efectuó en invernadero e hidroponía, durante el ciclo primavera-verano 2020, en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

1.4.2 Diseño experimental

Los genotipos se evaluaron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones y cuatro plantas por repetición.

1.4.3 Manejo agronómico

Las plantas se manejaron en un solo tallo y se tutoraron con hilo de rafia. La siembra fue el 23 de mayo de 2020 y el trasplante 30 días después, en bolsas de polietileno (40 x 40 cm) rellenas con tezontle rojo como sustrato; se utilizó la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984) durante todo el ciclo del cultivo. En la etapa vegetativa, se usó una concentración de 50 % y en las etapas de floración y fructificación se incrementó a 100 %.

El pH de la solución se mantuvo en un intervalo de 5.5 a 6.0. Se aplicaron los siguientes fungicidas y plaguicidas en las dosis recomendadas por el fabricante: Captan®, Confidor®, Cupravit®, Ampligo®, en forma preventiva, para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaco gennadius*) (*Hemiptera aleyrodidae*), paratrioza (*Bactericera cockerelli*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y mancha gris (*Stemphylium botryosum*) (*S. solani*) (*S. lycopersici*). Durante el periodo de floración se agitaron los hilos de tutoreo para hacer vibrar las plantas y

promover la autofecundación. La cosecha de frutos fue manual, planta por planta, en dos cortes a los 143 y 170 días después del trasplante.

1.4.4 Variables evaluadas

Se registró información del peso total de frutos por planta (PTF, kg) y número total de frutos por planta (NTF), con base en la suma de dos cortes realizados; y días a floración del primer racimo (DFR1), de las dos plantas más precoces. Además, en dos frutos por planta del primer corte se midió el peso promedio del fruto (PPF, g) y sólidos solubles totales (SST, °Bx).

1.4.5 Análisis estadístico

Para cada variable se realizaron análisis de varianza, contrastes ortogonales y correlaciones entre diversas combinaciones de los materiales de interés. La comparación de medias fue mediante Tukey ($P \leq 0.05$); los análisis estadísticos se realizaron por medio del programa de cómputo Statistical Analysis System V.9.0 (SAS Institute, 2002).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Análisis de varianza

Para todas las variables se detectó significancia en todas las fuentes de variación, excepto para sólidos solubles entre genotipos y para sólidos solubles entre líneas avanzadas más el testigo (Cuadro 1).

Cuadro 1.1. Cuadrados medios de variables de rendimiento y calidad de fruto en genotipos de jitomate tipo saladette con base genética ampliada y un testigo comercial.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>PTF</i>	<i>NTF</i>	<i>DFR1</i>	<i>PPF</i>	<i>SST</i>
<i>Repetición</i>	2	15.83 **	355.30 **	1.64 ns	632.25 *	15.58 **
<i>Genotipos</i>	102	0.88**	184.35 **	74.19 **	1458.57 **	1.11 ns
<i>Progenitores[†]</i>	13	1.39 **	328.10**	114.05 **	3171.89 **	0.80 **
<i>Líneas[¶]</i>	89	0.83 **	163.49 **	68.13 **	1040.86 **	1.16 ns
<i>Error</i>	204	0.17	31.01	4.75	157.01	1.25
<i>C.V (%)</i>		12	12	4	10	20

†: progenitores más el testigo, ¶: líneas avanzadas más testigo, FV: fuente de variación, GL: grados de libertad; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, DFR1: días a floración del primer racimo, PPF: peso promedio del fruto, SST: sólidos solubles totales, C.V: coeficiente de variación; * y **: significancia estadística con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente, ns: no significativo.

Estos resultados demuestran que entre los genotipos existe amplia variabilidad genética en rendimiento y sus componentes, variabilidad que se atribuye en mayor parte a la diversidad genética entre ellos, pues proceden de diversas fuentes de germoplasma.

Al comparar los efectos de la fuente de variación de las líneas avanzadas según el progenitor masculino involucrado en la cruce inicial (L, R o C), nuevamente se detectaron diferencias significativas para la mayoría de las variables entre los tres grupos de progenies (Cuadro 2).

Cuadro 1.2. Cuadrados medios de variables de rendimiento y calidad de fruto de líneas avanzadas de jitomate, provenientes de cruces LOR x C, LOR x L y LOR x R.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>PTF</i>	<i>NTF</i>	<i>DFR1</i>	<i>PPF</i>	<i>SST</i>
<i>Repetición</i>	2	15.83 **	355.30 **	1.64 ns	632.25 *	15.58 **
<i>Líneas[¶]</i>	89	0.83 **	163.49 **	68.13 **	1040.86 **	1.16 ns
<i>LOR x C</i>	40	1.02**	182.00 **	59.50 **	1070.94 **	1.01 ns
<i>LOR x L</i>	35	0.62 **	123.76 **	73.35 **	1051.05 **	1.03 **
<i>LOR x R</i>	14	1.22 **	139.49 **	36.28 **	756.20 **	1.41 ns
<i>Error</i>		0.18	26.95	4.03	165.67	1.18
<i>C.V. (%)</i>		12	11	3	11	20

[¶]: líneas avanzadas más testigo, FV: fuente de variación, GL: grados de libertad; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, DFR1: días a floración del primer racimo, PPF: peso promedio del fruto, SST: sólidos solubles totales, C.V: coeficiente de variación; * y **: significancia estadística con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente, ns: no significativo.

1.5.2 Contrastes ortogonales

Los contrastes LOR x C vs. LOR x L y LOR x L vs. LOR x R (Cuadro 3) resultaron significativos para DFR1, cuyas medias fueron 58, 62 y 59 días, para los grupos LOR x C, LOR x L y LOR x R, respectivamente (Cuadro 4). Estos resultados son similares a los de Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia (2010), quienes observaron un promedio de 57 días a inicio de floración desde la siembra en 49 muestras poblacionales de tomate semidomesticado y silvestre, evaluados en invernadero, durante la primavera, en Oaxaca.

Cuadro 1.3. Cuadrados medios de los contrastes ortogonales en variables de rendimiento y calidad de fruto de tres grupos de líneas avanzadas de jitomate y un testigo.

<i>CONTRASTES</i>	<i>GL</i>	<i>PTF</i>	<i>NTF</i>	<i>DFR1</i>	<i>PPF</i>	<i>SST</i>
<i>LORxC vs. LORxL</i>	1	0.05 ns	374.41 *	734.90 **	151.41 ns	4.28 ns
<i>LORxC vs. LORxR</i>	1	0.01 ns	1281.91 **	45.07 ns	2624.55 ns	8.30 **
<i>LORxL vs. LORxR</i>	1	0.06 ns	440.83 **	175.55 **	1705.76 *	1.73 ns
<i>LORxC vs. Testigo</i>	1	3.03 **	330.93 *	24.47 ns	217.60 ns	2.74 ns
<i>LORxL vs. Testigo</i>	1	2.83 **	188.90 ns	123.77 *	142.02 ns	1.39 ns
<i>LORxR vs. Testigo</i>	1	2.97 *	49.73 ns	46.96 ns	0.88 ns	0.57 ns

C: Cuauhtémoc, L: Loreto, R: Reserva, GL: grados de libertad; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, DFR1: días a floración del primer racimo, PPF: peso promedio del fruto, SST: sólidos solubles totales; * y **: significancia estadística con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente, ns: no significativo.

Cuadro 1.4. Media general de los grupos de progenies y el testigo para variables de rendimiento y calidad agronómica de frutos de jitomate.

Genotipo	PTF (kg)	NTF	DFR1(días)	PPF (g)	SST (°Bx)
LOR x C (n=40)	3.453 b	47 b	58 ab	122.89 a	5.53 a
LOR x L (n=35)	3.485 b	49 ab	62 a	121.24 a	5.25 a
LOR x R (n=14)	3.440 b	53 ab	59 ab	113.70 a	5.01 a
El Cid	4.470 a	57 a	55 b	114.26 a	4.56 a
DSH	0.70	9.19	5.33	23.80	1.20

Genotipos con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C: Cuauhtémoc, L: Loreto, R: Reserva; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, DFR1: días a floración del primer racimo, PPF: peso promedio del fruto, SST: sólidos solubles totales. DFR1 promedio de las dos plantas más precoces. PPF y SST representa el promedio de dos frutos al primer corte. DSH: diferencia significativa honesta.

En los contrastes LOR x C, LOR x L, LOR x R vs. Testigo se observan diferencias para el peso total de frutos, donde las medias de las poblaciones de líneas avanzadas son 3.453, 3.485 y 3.440 kg por planta, respectivamente, contra 4.470 kg por planta del testigo. Esta superioridad de ‘El Cid’, se atribuye al proceso riguroso de mejoramiento, donde las variedades comerciales son híbridos que capitalizan características heteróticas favorables incluyendo rendimiento. Sin embargo, Maldonado-Peralta *et al.* (2016) reportan varias cualidades de algunas variedades nativas, como la recuperación de vegetación después de una granizada a campo abierto, mayor peso promedio de fruto y de contenido en sólidos solubles, lo que indica una mayor calidad por la cantidad de antioxidantes presente en el fruto, en comparación con híbridos comerciales.

Los contrastes LORxC vs. LORxL, LOR x C vs. LOR x R y LOR x L vs. LOR x R, fueron significativos en el número total de frutos por planta (Cuadro 3) con medias de 47, 49 y 53 respectivamente (Cuadro 4).

1.5.3 Comparación de medias de líneas avanzadas

Al menos hubo nueve líneas avanzadas que igualaron el rendimiento de fruto y las características de floración y calidad del fruto del híbrido comercial “El Cid” (Cuadro 5). Estos resultados confirman el alto potencial de rendimiento de las nuevas líneas avanzadas, especialmente las que provienen de cruzamientos iniciales con el híbrido comercial Cuauhtémoc.

Vázquez-Martínez *et al.* (2016) identificaron que las mejores cruza iniciales para peso total de frutos involucraban a los progenitores nativos LOR111, LOR81, LOR79, LOR84 y LOR103, con los progenitores comerciales R y C. En la presente evaluación se observa que los rendimientos de las líneas avanzadas sobresalientes involucran también a esos progenitores

comerciales; sin embargo, tres de esas nueve líneas avanzadas corresponden a LOR85, lo que indica que es un progenitor de origen nativo que combina favorablemente con los progenitores derivados de híbridos comerciales. Por tanto, se recomienda recombinar estas nueve líneas avanzadas en un esquema de cruzamiento dialélico para identificar nuevas progenies sobresalientes.

Aunque entre los objetivos del presente estudio no se pretendió evaluar la aptitud combinatoria general de las líneas, es evidente que el progenitor Cuauhtémoc (Cuadro 5) presenta una interacción positiva con genotipos nativos, por lo que se propone utilizar a la línea avanzada derivada del híbrido Cuauhtémoc como progenitor en nuevas combinaciones y en retrocruzas.

Cuadro 1.5. Medias de las características agronómicas de diez genotipos de jitomate tipo saladette de mayor rendimiento

Genotipo	Origen	PTF (kg)	NTF	DFR1(días)	PPF (g)	SST (°Bx)
2051	LOR85xC	4.525 a	47 b-o	55 j	132.15 b-r	5.25 a
20103	EL CID	4.470 ab	57 a-l	55 j	114.26 d-u	4.56 a
2019	LOR85xL	4.280 ac	52 a-o	56 h-j	118.68 b-u	4.69 a
2054	LOR91xC	4.269 a-d	56 a-m	55 j	117.57 b-u	4.60 a
2069	LOR81xC	4.243 a-d	55 a-m	55 j	121.63 b-t	5.57 a
2096	LOR103xR	4.187 a-e	56 a-m	56 hj	135.10 b-q	5.40 a
2061	LOR95xC	4.185 a-e	60 a-i	55 j	108.01 l-u	5.16 a
2015	LOR85xL	4.160 a-f	42 i-p	68 a	152.27 b-l	5.11 a
2080	LOR82xC	4.106 a-g	52 a-o	55 ij	124.64 b-s	5.29 a
2071	LOR81xC	4.093 a-g	61 a-g	56 hj	128.95 b-r	5.34 a
DSH		1.48	19.98	7.8	44.97	3.7

Genotipos con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C: Cuauhtémoc, L: Loreto, R: Reserva; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, DFR1: días a floración del primer racimo, PPF: peso promedio del fruto, SST: sólidos solubles totales, DFR1 promedio de las dos plantas más precoces. PPF y SST representa el promedio de dos frutos al primer corte. DSH: diferencia significativa honesta.

Respecto a los diez genotipos de menor rendimiento (entre 1.610 y 2.683 kg por planta) un 40% correspondieron al progenitor LOR97 y sus cruzas por líneas derivadas de Loreto y Cuauhtémoc (Cuadro 6). Sin embargo, su número total de frutos y sólidos totales en la mayoría de los casos se encuentran en el mismo grupo estadístico que “El Cid”, lo que indica un resultado positivo en la selección de las líneas avanzadas.

Referente a DFR1, las 89 líneas avanzadas se comportaron similar al testigo comercial, mostrando una floración que osciló de 55 a 68 días desde la siembra; esto quiere decir que las primeras floraciones se registraron a partir del día 26 después del trasplante, o sea, aparentemente más precoces que lo indicado por Vázquez-Martínez *et al.* (2016), quienes observaron que en las F₂ que dieron origen a las presentes líneas avanzadas las floraciones iniciaron a los 76 días desde la siembra, es decir, 34 días después del trasplante. Estas diferencias en inicio de floración se atribuyen principalmente a las diferencias en fechas de siembra y localidad (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013) entre los dos estudios, pues en ambos casos se incluyó al híbrido ‘El Cid’ como testigo observándose que las floraciones de los genotipos fueron semejante al testigo. Esto significa que durante el proceso de selección y formación de los materiales no se ha modificado la precocidad.

Cuadro 1.6. Medias de las características agronómicas de diez líneas avanzadas de jitomate tipo saladette de menor rendimiento.

Genotipo	Origen	PTF (kg)	NTF	DFR1(días)	PPF (g)	SST (°Bx)
2088	LOR97xC	2.683 f-m	38 l-p	66 ac	103.96 n-v	5.24 a
2076	LOR79xC	2.683 f-m	41 h-p	66 a-d	123.46 b-s	6.42 a
2006	LOR95	2.650 g-m	50 b-o	66 ac	142.69 b-o	6.07 a
2064	LOR103xC	2.560 h-m	38 k-p	55 j	126.77 b-s	5.32 a
2068	LOR103xC	2.567 i-m	36 m-p	56 hj	112.56 h-u	6.02 a
2047	LOR97xL	2.524 i-m	44 d-p	68 a	115.65 b-u	6.85 a
2050	LOR85xC	2.404 j-m	44 d-p	55 j	99.63 o-w	5.19 a
2087	LOR97xC	1940 k-m	64 a-c	57 e-j	58.48 w	6.86 a
2090	LOR91xR	1.754 l-m	38 k-p	66 a-d	78.00 t-w	6.52 a
2013	LOR97	1.610 m	71 a	55 j	63.01 v-w	6.01 a
DSH		1.49	19.99	7.82	44.97	3.78

Genotipos con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C: Cuauhtémoc, L: Loreto, R: Reserva; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, DFR1: días a floración del primer racimo, PPF: peso promedio del fruto, SST: sólidos solubles totales. DFR1 promedio de las dos plantas más precoces. PPF y SST representa el promedio de dos frutos al primer corte. DSH: diferencia significativa honesta.

1.5.4 Correlaciones

Las correlaciones entre el rendimiento total (PTF) y sus componentes fueron diferentes en cada grupo de progenies. La correlación entre PTF y NTF fue significativa y positiva ($r: 0.46^{**}$,

0.27** y 0.68**) en las líneas avanzadas derivadas de cruzas LOR x Cuauhtémoc, LOR x Loreto y LOR x Reserva, respectivamente (Cuadro 7). La correlación entre el PTF y PPF sólo fue significativa ($r = 0.31^{**}$ y 0.33^{*}) respectivamente, en los grupos de líneas provenientes de LOR x Loreto y LOR x Reserva. Como era de esperarse, el peso promedio del fruto mostró una correlación significativa y negativa con número total de frutos en los grupos LOR x Cuauhtémoc y LOR x Loreto, pero no en el grupo de LOR x Reserva. Gabriel *et al.* (2016) indican que el rendimiento depende más del número de frutos que del peso individual de cada fruto. Sólidos solubles totales se correlacionó de manera irregular con las demás variables en cada grupo.

Estas correlaciones son congruentes con los resultados de las medias de los genotipos de mayor rendimiento, donde se observa que las nueve líneas avanzadas, derivadas de las cruzas de LOR x Cuauhtémoc, LOR x Loreto y LOR x Reserva, que son sobresalientes junto al testigo comercial “El Cid”, resultaron estadísticamente iguales en todas las variables, a excepción de DFR1, variable donde se agruparon ocho de las nueve de las líneas avanzadas junto a “El Cid”.

Cuadro 1.7. Correlaciones fenotípicas entre variables de rendimiento y calidad agronómica de frutos de jitomate de tres grupos de progenies.

	NTF	PPF	PTF	SST
<u>LOR x Cuauhtémoc (n=40)</u>				
DFR1	-0.19 *	0.14 ns	-0.14 ns	-0.06 ns
NTF		-0.48 **	0.46 **	0.23 *
PPF			0.19 *	-0.35 **
PTF				0.05 ns
<u>LOR x Loreto (n=35)</u>				
DFR1	-0.52 **	0.42 **	-0.09 ns	0.35**
NTF		-0.59 **	0.27 **	-0.25*
PPF			0.31 **	0.06 ns
PTF				-0.38 **
<u>LOR x Reserva (n=14)</u>				
DFR1	-0.52* *	-0.25 ns	-0.50 **	0.08 ns
NTF		-0.01 ns	0.68 **	-0.18 ns
PPF			0.33 *	-0.10 ns
PTF				-0.07 ns

DFR1: días a floración del primer racimo, NTF: número total de frutos por planta, PPF: peso promedio del fruto, PTF: peso total de frutos por planta, SST: sólidos solubles totales; * y **: significancia estadística con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente, ns: no significativo; n: número de progenies derivadas.

Los resultados de las correlaciones sugieren que en el grupo de progenies LOR x Cuauhtémoc, la selección de germoplasma deberá enfocarse a materiales con floraciones precoces, similares al testigo, con mayor número de frutos totales, para incrementar el peso total y un peso de fruto entre 100-120 g. Por otra parte, la selección de líneas con mayor número de frutos no supondrá una reducción en contenido de sólidos solubles, dados los bajos valores de correlación encontrados entre número de frutos y contenido de sólidos solubles en el grupo de LOR x Cuauhtémoc. Por ello, el avance o la consideración de dichas líneas dentro de un bloque

de cruzas supondrá una valiosa oportunidad para la obtención de híbridos con mayor valor nutraceútico comparado con los híbridos del mercado actual. En cuanto a la correlación negativa en sólidos solubles totales y peso promedio de fruto ($r = -0.35^{**}$), Monge-Pérez y Loía-Coto (2019) detectaron también una correlación negativa ($r = -0.72^{**}$) en 63 genotipos, en los que a medida que el peso del fruto se reduce, el porcentaje de sólidos solubles aumenta. Parra-Gómez *et al.* (2016) observaron que las variables relacionadas de manera positiva con el rendimiento (PTF) afectan de forma negativa la concentración de sólidos solubles totales ($r = -0.38^{**}$); Gabriel *et al.* (2016) reportaron una correlación alta y negativa en grados brix y peso, en la variedad de pera Corleone, donde a menor peso, aumenta el contenido de sólidos solubles totales.

Respecto a las progenies derivadas de cruzas LOR x Loreto, se propone que la selección se enfoque en plantas menos tardías con valores cercanos al testigo, pero conservando el peso promedio del fruto. Por otro lado, el avance de plantas con mayor número de frutos totales supondrá un incremento en el peso total, pero una reducción moderada en el peso promedio de fruto. Para solucionar esta situación, la identificación de los individuos recombinantes entre ambas variables permitirá seleccionar plantas un mayor número de frutos y un alto peso promedio de fruto.

En cuanto a las progenies que se generen de las cruzas LOR x Reserva, la selección de plantas que muestren una floración precoz en el primer racimo, indirectamente incrementará moderadamente el número total de frutos, peso promedio de fruto y peso total de frutos.

1.6 CONCLUSIONES

Se identificaron nueve líneas avanzadas con características similares al testigo, de las cuales sobresalieron las líneas avanzadas con origen LOR85 x C, LOR85 x L, LOR91 x C, por lo que se recomienda recombinar genéticamente estas nueve líneas en un esquema de cruzamiento dialélico.

El genotipo 2051 es una potencial variedad de jitomate de polinización libre, ya que posee características similares al testigo “El Cid”, pero con genes de jitomate nativo.

CAPÍTULO II. IMPACTO NEGATIVO DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS EN EL RENDIMIENTO DE LÍNEAS AVANZADAS DE JITOMATE

2.1. RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo, debido a sus niveles de producción y a sus diferentes formas de consumo. Sin embargo, a lo largo de su desarrollo fenológico es afectado por diversos factores bióticos y abióticos que merman el rendimiento del cultivo y la calidad comercial de su producción. En este trabajo se evaluaron 90 genotipos de jitomate, que incluían 89 líneas avanzadas S₄ y el testigo híbrido comercial ('El Cid') como testigo. La evaluación se efectuó en invernadero e hidroponía, durante el ciclo primavera-verano 2020, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones y cuatro plantas por repetición. Las medias de las variables PTF, NTF y PPF, se compararon mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las variables de MG, DFC y HFR, no se ajustaron a la distribución normal, por lo que MG se analizó con un análisis de varianza con la prueba de Friedman. Para DFC y HFR que fueron del tipo binario, se empleó la regresión de Poisson. La comparación de medias se realizó contrastando hipótesis lineales y considerando el criterio de Bonferroni. Se utilizó la correlación de Spearman para todas las variables. Se identificaron cuatro genotipos resistentes y veinticinco tolerantes a *Stemphylium*, veinticinco líneas sin podredumbre apical por deficiencia de calcio y diez materiales sin problemas de hendidura en fruto. Se identificaron tres líneas avanzadas que se ubicaron dentro de los mejores quince materiales para peso total de fruto, y además exhibieron resistencia natural a mancha gris y necrosis apical. Estas líneas avanzadas pueden ser utilizadas como variedades de polinización libre o como fuente de germoplasma para mejorar los materiales élite del programa.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, diversidad genética, fisiopatía, resistencia genética.

2.2 ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important crops in the world, due to its production levels and different forms of consumption. However, throughout its phenological development it is affected by various biotic and abiotic factors that reduce crop yield and the commercial quality of its production. In this work, 90 tomato genotypes were evaluated, including 89 advanced S₄ lines and the commercial hybrid ('El Cid') as a control. The evaluation was carried out in greenhouse and hydroponics, during the spring-summer 2020 cycle, under a randomized complete block experimental design with three replications and four plants per replication. The means of the variables PTF, NTF and PPF were compared using Tukey's test ($P \leq 0.05$). The variables of MG, DFC and HFR, did not fit the normal distribution, so MG was analyzed with an analysis of variance with Friedman's test. For DFC and HFR, which were of the binary type, Poisson regression was used. Comparison of means was performed by contrasting linear hypotheses and considering the Bonferroni criterion. Spearman's correlation was used for all variables. Four genotypes resistant and twenty-five tolerant to *Stemphylium*, twenty-five lines without apical rot due to calcium deficiency and ten materials without fruit cleavage problems were identified. Three advanced lines were identified that were among the best fifteen materials for total fruit weight, and also exhibited natural resistance to gray spot and apical necrosis. These advanced lines can be used as open-pollinated varieties or as a source of germplasm to improve the program's elite materials.

Key words: *Solanum lycopersicum*, genetic diversity, physiopathology, genetic resistance.

2.3 INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo, debido a sus grandes volúmenes de producción y a sus formas de consumo. Sin embargo, a lo largo de su desarrollo fenológico es afectado por diversos factores bióticos y abióticos que merman el rendimiento potencial del cultivo y la calidad de su producción (Yang *et al.*, 2021).

La sanidad de la planta depende de su potencial genético y de que esta sea capaz de realizar con normalidad sus funciones fisiológicas (Agrios, 2005) en un ambiente. Al respecto, el *Stemphylium* es el agente causal de la mancha gris, la cual es considerada la enfermedad más destructiva en las regiones del mundo donde se cultiva jitomate y es capaz de reducir el área fotosintética provocando pérdida de rendimiento cuando el patógeno se ve favorecido por clima cálido húmedo (Blancard, 2005).

En adición, existen diversas enfermedades fisiológicas que también merman el rendimiento potencial del cultivo como es necrosis apical y hendidura o agrietado del fruto.

En jitomate, la necrosis apical es una alteración fisiológica asociada a falta de calcio a nivel fruto (Blancard, 2005), que evita su desarrollo y peso promedio, mermando el rendimiento. Por otro lado, las hendiduras en frutos de jitomate están estrechamente relacionadas a fluctuaciones de humedad y temperatura (Jones *et al.*, 2001), las cuales alteran la capacidad de absorción de la planta; el agrietamiento tiende a presentarse en frutos de plantas poco vigorosas, con follaje raquítrico, y que no son capaces de absorber el exceso de agua (Blancard, 2005). Esta característica abiótica no afecta directamente el rendimiento; sin embargo, sí promueve la

infestación de *Rhizopus* en frutos a través de heridas, provocando pudriciones en jitomates cercanos al fruto dañado y reduciendo el número de frutos con calidad comercial.

Debido a que existen pocos trabajos de investigación donde se estudie el impacto negativo conjunto de factores bióticos y abióticos en el rendimiento de jitomate, y a que el estudio de dichos factores es muy importante en la producción y el mejoramiento del cultivo, el objetivo del presente trabajo fue identificar líneas avanzadas de jitomate tolerantes a mancha gris, necrosis apical por deficiencia de calcio y hendidura del fruto.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Material genético

En este trabajo se evaluaron 90 genotipos de jitomate, que incluían 89 líneas avanzadas S₄ y el híbrido comercial ‘El Cid’ como testigo. Las 89 líneas avanzadas S₄ fueron derivadas de cruza entre líneas S₉ de híbridos comerciales tipo “saladette” ‘C’ (C), ‘L’ (L) y ‘R’ (R), y líneas S₉ de jitomate nativo tipo “chino criollo” (LOR-79, LOR-81, LOR-82, LOR-84, LOR-85, LOR-91, LOR-95, LOR-97, LOR-103, LOR-111), procedente de la región de Tehuacán, Puebla.

Las líneas nativas se generaron por medio de autofecundación y selección individual (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014), mientras que las líneas tipo “saladette” se derivaron bajo la metodología de selección de pedigrí (Hernández-Leal *et al.*, 2013). La evaluación se efectuó en invernadero e hidroponía, durante el ciclo primavera-verano 2020, en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

2.4.2 Diseño experimental

Los genotipos se evaluaron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones y cuatro plantas por repetición.

2.4.3 Manejo agronómico

Las plantas se manejaron en un solo tallo y se tutoraron con rafia. La siembra fue el 23 de mayo de 2020 y el trasplante 30 días después, empleando bolsas de polietileno (40 x 40 cm) rellenas con tezontle rojo como sustrato. Para la nutrición se utilizó la solución nutritiva (Steiner 1984) durante todo el ciclo del cultivo. En la etapa vegetativa, se usó una concentración de 50 %, y en las etapas de floración y fructificación se incrementó al 100 %. El pH de la solución se mantuvo en un intervalo de 5.5 a 6.0. Se aplicaron los siguientes fungicidas e insecticidas en las dosis recomendadas por el fabricante: Captan®, Confidor®, Cupravit®, Ampligo®, en forma preventiva, para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaco gennadius*) (*Hemiptera aleyrodidae*), paratrioza (*Bactericera cockerelli*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y mancha gris (*Stemphylium botryosum*) (*S. solani*) (*S. lycopersici*).

2.4.4 Variables evaluadas

La cosecha de frutos fue manual, planta por planta, en dos cortes a los 143 y 170 días después del trasplante. Se registró información de susceptibilidad en la planta a mancha gris (MG), deficiencia de calcio en el fruto (DFC) y hendidura en el fruto (HFR). Para caracterizar la sanidad de la planta a MG se utilizó una escala de evaluación de enfermedad (Figura 1). Para tomar el dato de DFC y HFR, se recurrió a registro visual de presencia o ausencia de frutos en ambas

fisiopatías por planta dentro de cada unidad experimental. Además, se registró el peso total de frutos por planta (PTF, kg) y número total de frutos por planta (NTF), con base en la suma de dos cortes realizados; se dividió el peso total de frutos por planta entre el número total de frutos por planta para obtener el peso promedio del fruto (PPF, g).

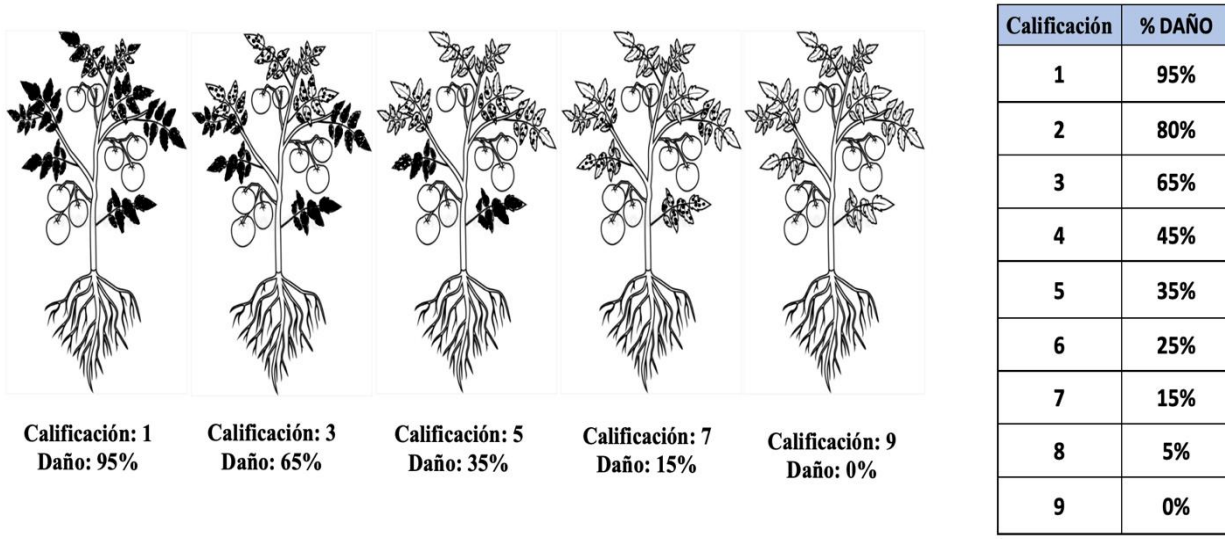


Figura 2.1. Escala de evaluación de enfermedad para mancha gris causada por *Stemphylium* en jitomate.

2.4.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza combinado a los datos de las variables, considerando el modelo estadístico del diseño de bloques completos al azar; previamente se verificó el supuesto de distribución normal por medio de la prueba de Shapiro-Wilk ($P \leq 0.05$). Para las variables PTF, NTF y PPF, la comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las variables de MG, DFC y HFR, no se ajustaron a la distribución normal, por lo que MG se analizó con un análisis de varianza no paramétrico mediante la combinación de rangos con la prueba de

Friedman (Friedman, 1937). Dada la naturaleza de las variables DFC y HFR, que fueron del tipo binario, se empleó la regresión de Poisson. La comparación de medias se llevó a cabo contrastando hipótesis lineales y considerando el criterio de Bonferroni. Se utilizó la correlación de Spearman para todas las variables para medir la asociación entre las variables. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el lenguaje y ambiente para cómputo estadístico R (Shake y Throw, 2021).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Correlación de Spearman

Para la variable DFC, se observó una correlación altamente significativa y negativa con las variables PTF y PPF ($r = -0.16^{***}$ y $r = -0.21^{***}$, respectivamente), lo que indica que a mayor presencia de necrosis apical en el fruto, menor será el desarrollo y peso del mismo, en consecuencia, el peso potencial que produzca la planta se verá afectado en una magnitud de baja a intermedia. La variable de sanidad de planta a MG tuvo una correlación significativa y positiva respecto a PTF y PPF ($r = 0.15^{***}$ y $r = 0.13^{**}$), respectivamente. Lo cual indica que a mayor tolerancia o resistencia a la enfermedad, se mostrará un incremento en el peso promedio de fruto y consecuentemente la planta aumentará el rendimiento por el incremento de peso en su producción de fruto (Cuadro 1). NTF no mostró afectación negativa o positiva debido a que el número de frutos está determinado por la cantidad de hojas, que son la fuente de asimilados de acuerdo a su filotaxia (Quintana *et al.*, 2010).

Cuadro 2.1. Coeficiente de correlación de Spearman entre variables de rendimiento y sanidad en genotipos de jitomate tipo saladette con base genética ampliada y un testigo comercial.

	MG	HFR	DFC
NTF	0.03ns	0.06ns	0.04ns
PTF	0.15***	0.06ns	-0.16***
PPF	0.13**	0.00ns	-0.21***

PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, PPF: peso promedio del fruto, MG: susceptibilidad en la planta a mancha gris, DFC: deficiencia de calcio en el fruto, HFR: hendidura en el fruto; *, ** y ***: significancia estadística con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, y $p \leq 0.001$, respectivamente, ns: no significativo.

Cuadro 2.2. Cuadrados medios de variables de rendimiento en genotipos de jitomate tipo saladette con base genética ampliada y un testigo comercial.

FV	GL	PTF	NTF	PPF
Repetición	2	30.55***	1101.94***	4906.45***
Genotipos	89	0.73***	165.95***	421.26***
Error	91	0.21	32.40	78.77
C.V (%)		13	12	13

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, PPF: peso promedio del fruto, C.V: coeficiente de variación; *, ** y ***: significancia estadística con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, y $p \leq 0.001$, respectivamente, ns: no significativo.

2.5.2 Comportamiento agronómico de líneas avanzadas S₄ ante factores bióticos y abióticos.

De acuerdo con el análisis de varianza, las variables PTF, NTF y PPF exhibieron diferencia significativa ($P \leq 0.05$), evidenciando la presencia de variación fenotípica significativa dentro de la población de estudio (Cuadro 2). En el presente estudio, al menos hubo catorce líneas avanzadas que igualaron el rendimiento de fruto del híbrido comercial “El Cid” (Cuadro 3). Estos resultados muestran el alto potencial de rendimiento de las líneas avanzadas, las cuales pudieran

ser usadas como fuente de germoplasma o variedades de polinización libre. De igual forma, algunas de estas líneas tuvieron un mayor número de frutos y frutos de mayor peso que el testigo ‘Cid’. Todos estos previos resultados evidencian que las líneas de base genética ampliada, generadas a partir de cruzas entre germoplasma nativo y líneas derivadas de híbridos comerciales tipo “saladette”, permiten aumentar el potencial de rendimiento igual al del testigo comercial, además de poseer atributos que permiten una mayor sanidad en el cultivo.

Cuadro 2.3. Medias de tres características agronómicas de quince genotipos de jitomate tipo saladette de mayor rendimiento.

Genotipo	Origen	PTF (kg)	NTF	PPF (g)
2051	LOR85xC	4.525 a	47 a-l	96.44 a-d
20103	EL CID	4.470 a	57 a-j	77.89 a-j
2019	LOR85xL	4.280 ab	56 a-j	76.40 a-j
2054	LOR91xC	4.269 ab	53 a-l	70.01 a-j
2069	LOR81xC	4.243 ab	55 a-k	77.44 a-j
2096	LOR103xR	4.187 a-c	51 a-l	81.23 a-i
2061	LOR95xC	4.185 a-c	60 a-g	70.54 a-j
2015	LOR85xL	4.160 a-d	42 b-l	95.76 a-e
2080	LOR82xC	4.106 a-d	52 a-l	79.68 a-j
2071	LOR81xC	4.093 a-d	61 a-d	66.88 b-j
2024	LOR95xL	4.053 a-d	46 a-l	81.81 a-i

2095	LOR103xR	3.972 a-d	54 a-k	73.89 a-j
2062	LOR95xC	3.918 a-d	53 a-l	73.46 a-j
2021	LOR91xL	3.885 a-d	51 a-l	64.56 d-j
2063	LOR95xC	3.848 a-d	49 a-l	77.94 a-j
DSH		1.61	20.19	31.48

Genotipos con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C: Híbrido 1, L: Híbrido 2, R: Híbrido 3; PTF: peso total de frutos por planta, NTF: número total de frutos por planta, PPF: peso promedio del fruto. DSH: diferencia significativa honesta.

Para que el potencial genético del jitomate se exprese, es necesario en la medida de lo posible reducir los efectos ambientales adversos, dentro de los cuales se encuentran las enfermedades producidas por patógenos o aquellas denominadas fisiológicas (Holguín y Rueda., 2007). De acuerdo con Fooland (2007), el germoplasma silvestre del jitomate es una fuente importante que contiene resistencia a factores bióticos y abióticos, y permite mejorar las características de materiales comerciales. Mancha gris de la hoja es una enfermedad destructiva que es capaz de producir cuantiosas pérdidas económicas (Wu *et al.*, 2015). Por ello es importante contar con germoplasma resistente o tolerante al *Stemphylium*. En el presente estudio, dentro de las ochenta y nueve líneas avanzadas evaluadas cerca de 30 % de las líneas expresaron una tolerancia alta (< 5 % del daño), siendo las líneas 2061, 2062, 2066 y 2070 las que exhibieron los valores más altos de sanidad (Figura 2). Dado que la resistencia a *Stemphylium* está controlada por el gen *Sm* (Giordano *et al.*, 2010), las cuatro líneas identificadas pudieran servir como progenitores para ser empleados como donadores de sanidad bajo un esquema de retrocruza para el mejoramiento de líneas élite.

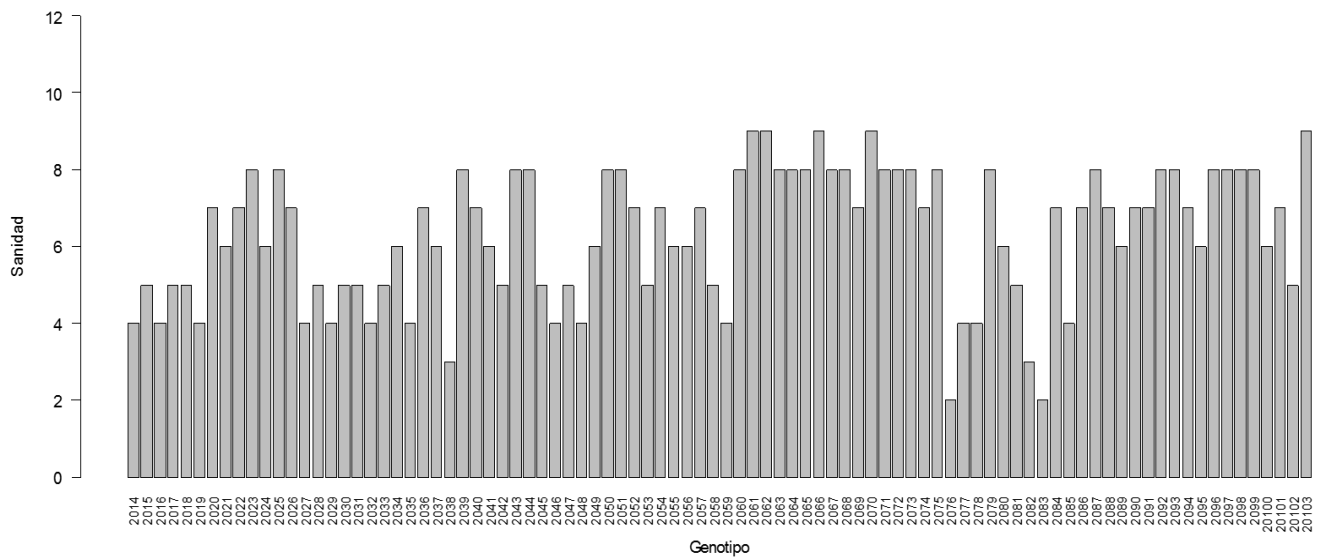


Figura 2.2. Sanidad en plantas a mancha gris en ochenta y nueve líneas avanzadas de jitomate y un testigo comercial.

En jitomate, el calcio es un macroelemento indispensable en la nutrición del cultivo, con baja movilidad en planta. La carencia de calcio se presenta en forma de necrosis apical en fruto, y es considerada una enfermedad fisiológica (Jones *et al.*, 2001). El período crítico en que se suele presentar la necrosis es 15 días después de la floración, cuando la tasa de crecimiento en fruto aumenta (Cardona *et al.*, 2005; Ruiz *et al.*, 2008); la mayor afectación se visualiza en plantas podadas, con desarrollo vertical, manejadas a un tallo (Ramírez y Sáinz, 2010). En la presente investigación, 49 % de las líneas mostraron una afectación de al menos 50 % de severidad por deficiencia de calcio, siendo 21 líneas las más afectadas con un 100 % de severidad (Figura 3). En esta investigación, la riqueza heterótica que ofrecen las líneas de base genética ampliada, generadas a partir de cruces entre germoplasma nativo y líneas derivadas de híbridos comerciales tipo “saladette”, permiten aumentar el potencial de rendimiento igual al del testigo comercial

(Cuadro 3), además de poseer atributos que permiten una mayor sanidad en el cultivo. Los resultados aquí obtenidos permitieron la detección de veinticinco materiales sin podredumbre apical a consecuencia de deficiencia de calcio en planta. Se infiere que son materiales con mayor tolerancia a efectos externos que bloquean el calcio en planta (FAO, 2005). Además, estos materiales al ser incorporados como donadores de tal tolerancia, de acuerdo con Cardona *et al.* (2005), pudieran evitar pérdidas en la producción que pudiera fluctuar entre 15 % y 43 % en campo o en invernadero. De igual forma, estos materiales pudieran mostrar más estabilidad en ambientes con presencia de sequía en plantas en desarrollo, baja tasa transpiratoria, altas temperaturas, sustratos compactos, exceso de fertilización y alta conductividad eléctrica (FAO, 2005).

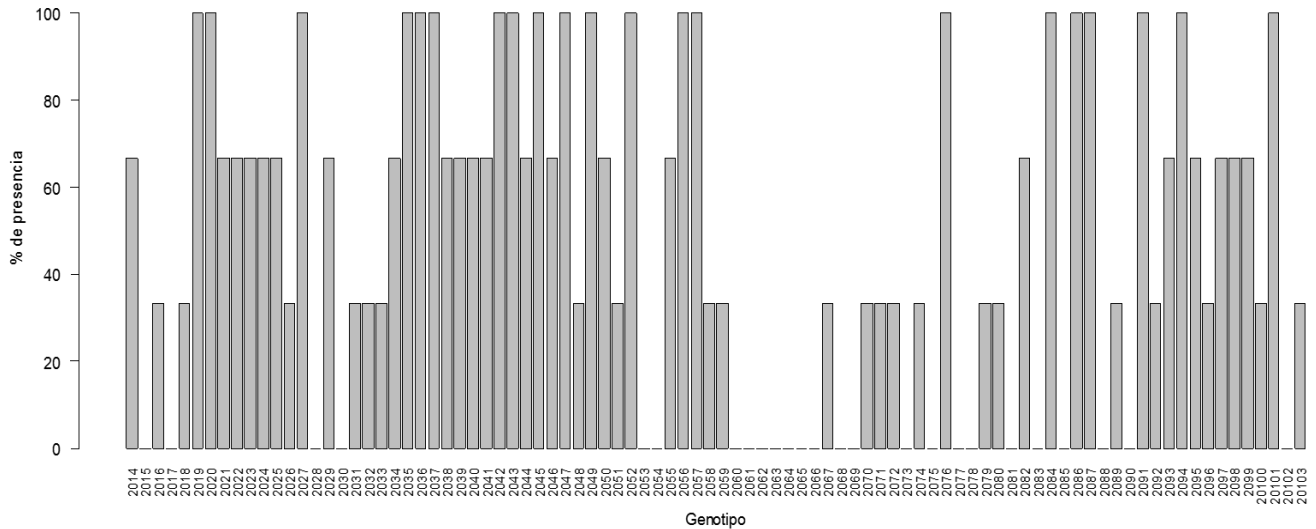


Figura 2.3. Porcentaje de presencia de necrosis apical en el fruto por deficiencia de calcio en ochenta y nueve líneas avanzadas de jitomates y un testigo comercial.

La hendidura en el fruto esta catalogada como enfermedad fisiológica, la cual está asociada a una rápida absorción de agua, disminución de azúcares en fruto y a una pérdida de elasticidad del

fruto en etapa de maduración (Ramírez y Sáinz, 2010), siendo los genotipos de fruto grueso los más afectados. Dentro de las líneas avanzadas evaluadas en esta investigación se detectó que menos del 33 % de los materiales tuvieron una sintomatología menor a 35 % de hendidura en fruto (Figura 4), siendo las líneas 2016, 2028, 2031, 2033, 2036, 2047, 2048, 2050, 2067 y 2077, las que mostraron una nula sintomatología de hendidura de fruto. Aunque la hendidura en fruto no es una variable que afecte directamente el rendimiento del cultivo, sí propicia la proliferación de patógenos como *Rhizopus* que ocasiona cuantiosas pérdidas económicas en poscosecha (Hernández *et al.*, 2011). Por ello, la utilización de líneas tolerantes como las encontradas en este estudio, pudieran ser empleadas como donantes de esta tolerancia, y así formar variedades libres de esta fisiopatía, a través de la incorporación de dicha tolerancia por medio del uso de cruza intervarietales entre material élite por germoplasma nativo (Shah *et al.*, 2015).

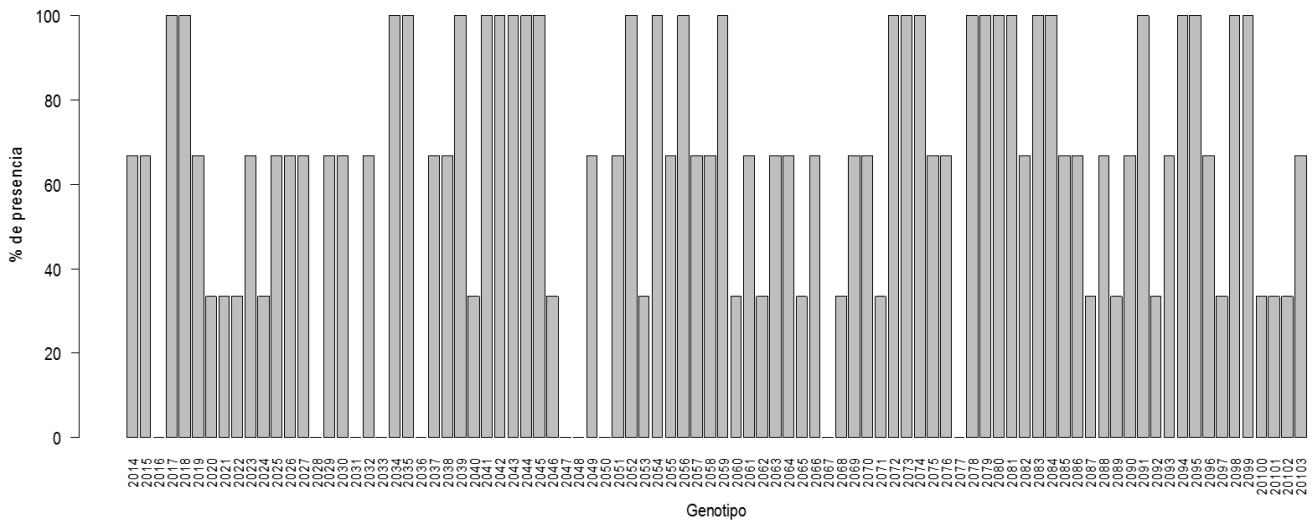


Figura 2.4. Porcentaje de presencia de hendidura en el fruto por factores abióticos en ochenta y nueve líneas avanzadas de jitomate y un testigo comercial.

2.6 CONCLUSIONES

La evaluación del germoplasma de jitomate de esta investigación permitió la identificación de cuatro genotipos resistentes y veinticinco tolerantes a *Stemphylium*, veinticinco líneas sin podredumbre apical por deficiencia de calcio y diez materiales sin problemas de hendidura en fruto.

Los genotipos 2061, 2062 y 2063 con origen LOR95xC, se ubicaron dentro de los mejores quince materiales junto al testigo para peso total de fruto, pues presentaron rendimientos competitivos de 4.185, 3.918 y 3.847 kg/planta, respectivamente, además poseen resistencia natural a mancha gris y necrosis apical. Estas líneas avanzadas pueden ser utilizadas como variedades de polinización libre o como fuente de germoplasma para mejorar los materiales élite del programa. Las aportaciones principales de estas líneas se reflejarán en la reducción del uso de agroquímicos para prevenir el impacto sobre el rendimiento a través de resistencia en el hospedante.

DISCUSIÓN GENERAL

Debido a la importancia económica y gastronómica de jitomate en el mundo, a lo largo de los años ha surgido la necesidad de formar híbridos y variedades de polinización libre competitivos o incluso con características superiores a lo ya existente en el mercado, al alcance de pequeños y medianos productores. El alto costo de materiales comerciales en México ha llevado a los escasos programas públicos de mejoramiento genético de jitomate a la obtención de germoplasma con mayor diversidad genética, a partir de cruza intervarietales de material élite por variedades nativas, para aprovechar los atributos de los progenitores como: mayor rendimiento, producción de frutos por racimo, cantidad de sólidos solubles, firmeza de fruto, sanidad de planta, tolerancia a deficiencia de calcio, tolerancia a fluctuaciones de temperatura y humedad, entre otros rasgos de interés. Por eso es indispensable coleccionar, conservar, caracterizar y evaluar las fuentes de germoplasma. Hernández-Bautista *et al.* (2014) reportan que la variedad nativa mexicana “pimiento” o “chino criollo” tipo “saladette”, posee potencial de rendimiento similar al de los híbridos comerciales, además de contar con una mayor cantidad de sólidos solubles y superioridad a resistencia o tolerancia a diversos factores bióticos y abióticos, entre los cuales están la rápida recuperación de área foliar después de granizar a campo abierto (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016). Dentro de las líneas avanzadas S₄ formadas a partir del estudio de Vázquez-Martínez *et al.* (2016), se logró identificar significancia para todas las variables en las fuentes de variación, y días a floración similares a lo reportado por Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia (2010).

Para que el potencial genético del jitomate se exprese, es necesario en la medida de lo posible reducir los efectos ambientales adversos, dentro de los cuales se encuentran las enfermedades producidas por patógenos o aquellas denominadas fisiológicas (Holguín y Rueda., 2007). Se

observa una afectación de rendimiento en planta por presencia de mancha gris (*Stemphylium*) y necrosis apical debido a deficiencia de calcio en fruto. Dentro de las ochenta y nueve líneas avanzadas evaluadas cerca de 30 % de las líneas expresaron una tolerancia alta (< 5 % del daño), 49 % de las líneas mostraron una afectación de al menos 50 % de severidad por deficiencia de calcio, siendo 21 líneas las más afectadas con un 100 % de severidad (Figura 3). Dentro de las líneas avanzadas evaluadas se detectó que menos de 33 % de los materiales tuvieron una sintomatología menor a 35 % de hendidura en fruto (Figura 4), siendo las líneas 2016, 2028, 2031, 2033, 2036, 2047, 2048, 2050, 2067 y 2077, las que mostraron una nula sintomatología de hendidura de fruto.

CONCLUSIONES GENERALES

Se identificaron quince líneas avanzadas de jitomate con características similares a las del testigo en cuanto a rendimiento, de las cuales sobresalieron las líneas avanzadas con origen LOR85 x C, LOR85 x L, LOR91 x C.

El genotipo 2051 es una potencial variedad de jitomate de polinización libre, ya que posee características similares al testigo “El Cid”, pero con genes de jitomate nativo.

La evaluación del germoplasma de jitomate de esta investigación permitió la identificación de cuatro genotipos resistentes y veinticinco tolerantes a *Stemphylium*, veinticinco líneas sin podredumbre apical por deficiencia de calcio y diez materiales sin problemas de hendidura en fruto.

Los genotipos 2061, 2062 y 2063 con origen LOR95xC, presentaron rendimientos competitivos de 4.185, 3.918 y 3.847 kg/planta, respectivamente, además poseen resistencia natural a mancha gris y necrosis apical. Estas líneas avanzadas pueden ser utilizadas como variedades de polinización libre o como fuente de germoplasma para mejorar los materiales élite del programa. Las aportaciones principales de estas líneas se reflejarán en la reducción del uso de agroquímicos para prevenir el impacto sobre el rendimiento a través de resistencia en el hospedante, por lo que se recomienda recombinar genéticamente estas nueve líneas en un esquema de cruzamiento dialélico.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 2005. Fitopatología. México. 2ª edición; Edit. Limusa. Mexico, D.F. 856 p.
- Blancard, D. (2005) Enfermedades del tomate: observar, identificar, luchar. Peña-Iglesias, A. Mundi-Prensa México. 212p.
- Bonilla-Barrientos, O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal, y A. Hernández-Bautista. 2014. Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimienta de uso local en Puebla y Oaxaca, México. Rev. Fitotec. Mex. 37(2): 129-139. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.2.129>
- Cardona, C., H. Harvey, H. Araméndiz-Tatis(2005) Influencia de la fertilización foliar con Ca sobre la pudrición apical en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Agronomía Colombiana 23:223-229, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316955005>
- Carrillo-Rodríguez, J. C., y J. L. Chávez-Servia. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. Rev. Fitotec. Mex. 33 (4): 1-6. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial.4.1>
- Carrillo-Rodríguez, J. C., J. L. Chávez-Servia, G. Rodríguez-Ortiz, R. Enríquez-del Valle, y Y. Villegas-Aparicio. 2013. Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Rev. Mex. Cienc. Agríc. 4(6): 1081-1091. DOI: [10.29312/remexca.v0i6.1273](https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1273)
- FAO (2013) El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. 72p, <http://www.fao.org/3/i3359s/i3359s.pdf>
- Flores-Hernández L. A., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, D. M. Sargerman-Jarquín, y M. J. Velasco-Alvarado. 2017. Parientes silvestres del tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. Rev. Fitotec. Mex. 40(1): 83-91. DOI: <https://dx.doi.org/10.35196/rfm.2017.1.83-91>
- Foolad, M. R (2007) Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. Hindawi International Journal of Plant Genomics. 2007: 64358, <https://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Friedman, M (1937) The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. Journal of the American Statistical Association 32:675-701.
- Gabriel, J., A. Angulo, J. Velasco, R. Guzmán. 2016. Adaptación de híbridos de tomate indeterminado [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] bajo condiciones de invernadero. J. Selva Andina Res. Soc. 7(2): 47-65. DOI: <https://doi.org/10.36610/J.SARS.2016.070200047>
- Giordano, L. B., Aragão F. A. S., Boiteux L. S (2003) Melhoramento genético do tomateiro. *Informe Agropecuario* 24: 43-57.

- Hernández-Alvarado, A. M., L. L. Barrera-Necha, A. N. Hernández-Lauzardo, y M. G. Velázquez-Del Valle (2011) Actividad antifúngica del quitosato y aceites esenciales sobre *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr) Vuill., agente causal de la pudrición blanda del tomate. *Revista Colombiana de Biotecnología* 2: 127,134
- Hernández-Bautista, A., R. Lobato-Ortiz, S. Cruz-Izquierdo, J. J. García-Zavala, y J. L. Chávez-Servia. 2014. Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruce interespecífica de jitomate. *Interciencia* 39(5): 327-332.
- Hernández-Leal, E., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, D. Reyes-López, A. Méndez-López, O. Bonilla-Barrientos, y A. Hernández-Bautista. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F₂ de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3): 209-215. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3.209>
- Holguín-Peña, R. J., y E. O. Rueda-Puente (2007) Detection of Tomato *spotted wild virus* in Tomato in the Baja California Peninsula of Mexico. *Plant Disease.* 91: 1682, <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-12-1682B>
- Jones J. B., J. P. Jones, R. E. Stall, T. A. Zitter (2001) *Plagas y Enfermedades del Tomate.* Sociedad Americana de Fitopatología. Ed. Mundi-Persa, España.74p.
- Maldonado-Peralta, R.; P. Ramírez-Vallejo, V. A. González Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz, y N. Cruz-Huerta.2016. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos. *Agroproductividad.* 9(12): 68-75.
- Miller, J. C., and S. D. Tanksley. 1990. RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoret. Appl. Genet.* 80: 437-448. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00226743>
- Miranda, B. E. C., Boiteux, L. S., Reis. A (2010) Identificação de genótipos do gênero *Solanum* (seção *Lycopersicon*) com resistência a *Stemphylium solani* e *S. lycopersici*. *Horticultura Brasileira.* 28:178-184, <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000200007>
- Monge-Pérez J. E., y M. Loría-Coto. 2019. Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Tecnol. Marcha.* 32(3): 37-54. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4478>
- Parra-Gómez, M. A., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, D. Reyes-López, y M. J. Velasco-Alvarado. 2016. Evaluación de líneas de una cruce interespecífica de tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(1): 59-65. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.1.59-65>
- Quintana-Baquero, R. A., H. E. Balaguera-López, J. G. Álvarez-Herrera, J. F. Cárdenas-Herndez y E. H. Pinzón (2012) Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4: 185-198, <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1240>

- R Shake and Throw (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (Marzo 2021)
- Ramírez- Villapudua, J., y R. A. Sáinz-Rodríguez (2010) Manejo integrado de las enfermedades del tomate. 2ª edición. Dirección de Asesorías y Divulgación de Agrobiológica, S.A. de C.V. Mexico. Sinaloa. 391p.
- Ruiz, C., Russián, T., Tua, D (2008) Efecto del momento del riego y el nitrato de calcio en plantas de toamte (*Lycopersicom esculentum* L.). Revista de la Facultad de Agronomía. 25: 421-439
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide. Version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 550 p.
- Shah, M. A. J., A. I. Khan, F. S. Awan, H. A. Sadaqat, A. Rasheed, and F. S. Baloch. 2015. Genetic diversity of some tomato cultivars and breeding lines commonly used in Pakistani breeding program. Turkish JAF Sci. Tech. 3 (3): 126-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.24925/turjaf.v3i3.126-132.249>
- Vázquez-Martínez E., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, y D. Reyes-López. 2016. Heterosis de cruas entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum l.*) nativo mexicano tipo pimiento y líneas tipo saladette. Rev. Fitotec. Mex. 39 (1): 67-77. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.1.67-77>
- Wu, D. X., Zhang, R. S., Han, X., Wang, J. X., Zhou, M. G., and Chen, C. J (2015) Resistance risk assessment for fludioxonil in *Stemphylium solani*. Annals of Applied Biology. 167: 277-284, <https://doi.org/10.1111/aab.12230>
- Yang, H†., D. X., Sun, Y†., Wang, H., Zhao, T., Xu, X., Jiang, J., and Li, J (2021) Genome-wide identification and functional analysis of the *ERF2* gene family in response to disease resistance against *Stemphylium lycopersici* in tomato. BMC Plant Biology. 21: 72, <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02848-3>

ANEXO

Escala de evaluación de enfermedades foliares en cultivo de jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.)

Recuerde primero calificar: 2 – 5 – 8; luego anotar +/- calificación que sea necesaria

1	1. “Hoja seca quebradizas” – Hojas totalmente muertas, sin tejido verde, \geq 95% de enfermedad.
2	2. La mayor parte de las hojas están muertas, hojas jóvenes verdes, pero muy deterioradas, \pm 80% de enfermedad.
3	3. La mayoría de las hojas superiores ésta fuertemente deterioradas, \pm 65% de enfermedad.
4	4. Alto porcentaje de nuevas lesiones en desarrollo en la parte superior, con suficientes hojas verdes en la parte media y superior, perdida de área foliar de \pm 45% de enfermedad.
5	5. Más de 50% de hojas medias muestran lesiones, perdida de área foliar de \pm 35% de enfermedad.
6	6. La mayoría de las hojas de la parte media y superior están sanas con lesiones dispersas, la mayoría de las hojas de la parte media presentan infestación severa, \pm 25% de enfermedad.
7	7. Hojas superiores verdes, pequeñas lesiones de tipo restrictivas en pocas hojas en la parte media, con pocas o nulas lesiones en hojas superiores, \pm 15% de enfermedad.
8	8. Verde en la mayor parte de la planta, pocas o nulas lesiones de tamaño inferior (de difícil detección visual), \leq 5% de enfermedad.
9	9. “Resistencia”, ninguna lesión en planta, \pm 0% de enfermedad.