

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comportamiento de Líneas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en
Respuesta a la Tolerancia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III})

Por:

MARÍA CRISTINA LARA LUNA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Comportamiento de Líneas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en
Respuesta a la Tolerancia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III})

Por:

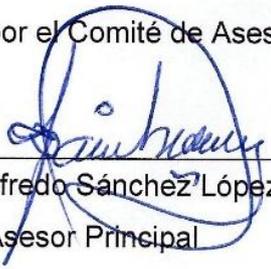
MARÍA CRISTINA LARA LUNA

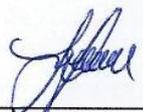
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobado por el Comité de Asesoría:


M.C. Alfredo Sánchez López
Asesor Principal


M.C. Mónica Lorena Limón Corona
Coasesor


M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2020

AGRADECIMIENTOS

Muchos iniciamos el mismo camino pero pocos pudimos llegar hasta el final, doy gracias a **DIOS** por haberme dado agudeza para entender, capacidad para retener, método y facultad para aprender, sutileza para interpretar, y en el momento de cada examen a lo largo de estos 5 años haberme dado la gracia y abundancia para hablar, acierto al empezar, dirección al progresar y perfección al acabar mis estudios de todo este tiempo. Le doy gracias por haberme entregado a los padres que tengo, que a través de ellos y de mis hermanos recibí todo lo necesario para lograr esta meta. Los tiempos de Dios son perfectos.

A mi querida **ALMA TERRA MATER** por haberme acogido durante estos años de mi formación profesional. Por enseñarme el verdadero significado de la naturaleza, por darme la oportunidad de sentirme parte de tan bella institución. Gracias por darme las mejores experiencias de mi vida.

Al **M.C Alfredo Sánchez López** por otorgarme su confianza y la oportunidad de trabajar en tan importante proyecto de investigación, le agradezco por transmitirme de sus conocimientos y experiencias como el gran ser humano que lo distingue. Gracias por no solamente ser mi asesor y mi paisano, sino también por haber sido mi tutor, haberme “jalado las orejas” cuando notaba un desvío de mi persona y por enseñarme valores como la humildad, el respeto, la sinceridad y la responsabilidad.

Al **M.C Fidel Maximiano Peña Ramos** por su disponibilidad, colaboración y ayuda en la realización de este trabajo de investigación, por brindarme su apoyo moral, brindarme ánimos en todo momento. Seguramente sin su ayuda, no habría obtenido los resultados con los métodos mejor aconsejados.

A la **M.C. Mónica Lorena Limón Corona** por su valiosa colaboración en la redacción, ortografía, conocimientos transmitidos, apoyo moral brindado y por mostrar disponibilidad en todo momento en la finalización de este trabajo.

DEDICATORIA

Con dedicatoria muy especial al Ejidatario **Don José Socorro Lara Camacho**, mi abuelo. El hombre que sembró en mi el gusto por el campo desde que era una niña, llevandome a pizarcar maíz, desvarar frijol o cosechar calabaza, incluso algunas veces a pastorear cabras y borregos con mi abuela (**M. Asuncion Alvarez Zuñiga**, que en paz descanse), era todo un mundo sorprendente para mi. Gracias abuelito. Es usted el pilar de este logro familiar.

Sin duda no pueden faltar los seres que me cultivaron, forjaron y educaron:

El **Sr. Don Efraín Lara Álvarez** y su esposa, **la Sra. María Laura Luna Delgado**, mis padres, este logro no es solo mío, es un logro familiar, que sin duda alguna, yo sola no lo podría haber hecho, muchas gracias por convertirme en la mujer que ahora soy, gracias a Dios tenemos salud, tenemos una maravillosa familia. Sus esfuerzos serán recomensados y multiplicados. Los quiero mucho papás.

A **Efraín Lara Luna** por el apoyo incondicional que me ha brindado y el esfuerzo que ha realizado en todo este tiempo. Hermano tienes mi admiracion y mi apoyo y ayuda incondicional, se supone que yo deberia darte estudios a ti y no al revés, ahora mi prioridad es qque tambien logres terminar una carrera profesional.

A mis Hermanitos: Tadeo Sixto, Laura Presciliana, Nohemí y Natalia.

No olvido el esfuerzo de ustedes, los retoños que llamo como hermanos. Gracias por aceptar que muchas de las veces no podian obtener lo que querian por motivo de que el recurso económico fuera destinado para mi como prioridad y no para lo que quisieran obtener. A partir de ahora ustedes son mi prioridad y todo el esfuerzo que han realizado se les será recomenzado dando un sobre esfuerzo por parte mia para que también, algún día, logren realizar sus sueños. De eso me encargo yo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ABREVIATURAS	vi
RESUMEN	vii
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Justificación	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 El Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	4
2.2 Importancia del tomate	5
2.3 Problemática de aranceles en tomate.....	5
2.4 Hábitos de crecimiento del tomate	6
2.4.1 Plantas de crecimiento Determinado	6
2.4.2 Plantas de crecimiento Indeterminado.....	7
2.4.3 Plantas de crecimiento Semi-Indeterminado	7
2.5 Conociendo a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	8
2.5.1 Características morfológicas microscópicas.....	8
2.5.2 Ciclo de vida y forma de infección	9
2.5.3 Condiciones de Desarrollo.....	10
2.6 Marchitamiento vascular del tomate	10
2.6.1 Síntomas de la enfermedad.....	11
2.6.2 Severidad de daño.....	12
2.7 Tipos de resistencia de las plantas ante el ataque de los patógenos	13
2.7.1 Resistencia horizontal.....	13
2.7.2 Resistencia vertical.....	14
2.8 Mecanismos de defensa de las plantas	15
2.9 Características del Material Genético	16
2.9.1 TVE-SM03 SofiMely®.....	16

2.9.2 Desarrollo y formación en líneas de especialidad.	17
2.10 Definiciones	17
III. MATERIALES Y METODOS	20
3.1 Localización del sitio experimental.....	20
3.2 Material biológico para inoculación	20
3.3 Siembra	20
3.4 Preparación de camas, sistema de riego y trasplante	21
3.5 Establecimiento del experimento y manejo de las plantas.....	21
3.6 Inoculación de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (R _{III})	22
3.7 Descripción del Material Genético	22
3.7.1 Abreviaturas de los tratamientos	23
3.7.2 Material utilizado en el experimento	23
3.8 Variables evaluadas.....	24
3.9 Diseño experimental y modelo estadístico.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Altura de Planta	27
4.2 Diámetro de Tallo	29
4.3 Longitud de Raíz Horizontal	31
4.4 Longitud de Raíz Vertical.....	32
4.5 Severidad	32
4.6 Análisis de correlación para algunos caracteres de interés	34
4.6.1 Severidad Vs. Altura de Planta.....	34
4.6.2 Altura de Planta Vs. Diámetro de Tallo.....	35
4.6.3 Longitud de Raíz Horizontal Vs. Altura de Planta.....	36
V. CONCLUSIONES	38
VI. LITERATURA CITADA	39
VII. APÉNDICE	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A.- Microconidios de FOLR _{III} (100X). B.- Macroconidios de FOLR _{III} (40X). C.- Clamidoporas FOLR _{III} (40X) (Cardona-Piedrahíta, 2019).....	9
Figura 2. Ubicación del trabajo experimental. UAAAN Campus Saltillo.	20
Figura 3. Escala visual de severidad utilizada de 0 a 5 para la evaluación de los materiales realizado por Vivienne Gepp (2011).	24
Figura 4. Altura de la planta promedio de Tomate con base en los Días Después del Trasplante (DDT) y a los Días Después de la Inoculación (DDI), de acuerdo al efecto de FOLR _{III}	27
Figura 5. Altura de las plantas de Tomate y su relación entre materiales vegetativos, de acuerdo al efecto de FOLR _{III} . indicando la clasificación de medias con probabilidad significativa (*) y probabilidad altamente significativa.	28
Figura 6. Diámetro del Tallo según su comportamiento de acuerdo a los Días Después del Trasplante (DDT) y a los Días Después de la Inoculación (DDI), teniendo mayor significancia los valores > al 95%.	29
Figura 7. Diámetro de tallo de las plantas de Tomate y su relación entre materiales vegetativos, de acuerdo al efecto de FOLR _{III} . donde: estadísticamente no hay diferencia significativa (N.S.), probabilidad significativa (*) y probabilidad altamente significativa.....	30
Figura 8. Comportamiento de la raíz principal de las plantas de Tomate al final del experimento.....	31
Figura 9. Comportamiento de la raíz principal de las plantas de Tomate al final del experimento, de acuerdo a los 83 Días Después del Trasplante (DDT) y a los 106 Días Después de la Inoculación (DDI).	32
Figura 10. Porcentaje de daño en las plantas de Tomate al final del experimento, con el método de Tukey (p=0.05).	33
Figura 11. Altura de planta de siete tratamientos con diferentes porcentajes de severidad.....	34
Figura 12. Altura de planta de siete tratamientos con diferentes diámetros.	36
Figura 13. Altura de planta de siete tratamientos con diferentes longitudes de raíz horizontal.....	37

ABREVIATURAS

(R_{III}): raza 3

°Brix: Unidad para determinar el cociente total de materia seca (generalmente azúcares) disuelta en un líquido.

µm: micrómetro, micrón o micra. Unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

1x10⁶ esporas mL⁻¹: un millón de esporas por cada mililitro

cm: centímetro

f. sp. : forma especial

FOLR_{III}: *Fusarium oxysporum* f sp. *lycopersici* raza 3

g: gramos

K: Potasio

kg cm⁻²: kilogramo por cada metro cuadrado

kg m⁻²: kilogramo por metro cuadrado

kg: kilogramo

m: metros

m²: metro cuadrado

mg g⁻¹: miligramo por cada gramo

mL: mililitro

mm: milímetro

msnm: metros sobre el nivel del mar

N: Nitrógeno

P: Fósforo

pH: Potencial de Hidrógeno. Medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución.

PIB: producto interno bruto

sp: abreviatura en singular utilizada para referirse a una especie concreta.

spp.: abreviatura en plural utilizada para referirse a todas las especies individuales dentro de un género.

t/ha: toneladas por hectárea

t: toneladas

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la hortaliza de mayor importancia en México y en el mundo, es atacada por numerosas enfermedades, entre ellas la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* R_{III} (FOLR_{III}). Por lo que el uso de cultivares y portainjertos resistentes sigue siendo el método más rentable y ambientalmente seguro de control para prevenir las enfermedades de FOLR_{III} en la producción de tomate. Por esta razón, la presente investigación tiene como finalidad determinar la posible Resistencia Genética Adquirida de cuatro diferentes materiales genéticos con hábitos de crecimiento Determinado, Indeterminado y Semi-Indeterminado, de larga vida de anaquel y con ello poder determinar cuál es el mejor material genético con resistencia y/o tolerancia genética ante los daños causados por FOLR_{III}. El experimento fue desarrollado en las Instalaciones del Campus Buenavista, Saltillo, Coahuila de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro donde se aplicó una inoculación del hongo mediante una suspensión concentrada de esporas a 1×10^6 esporas mL⁻¹. Se utilizó un acomodo experimental completamente al azar, considerando las variables agronómicas de altura y diámetro de la planta, longitud de la raíz horizontal y vertical, como variable fitopatológica se evaluó severidad de daño por FOLR_{III} en un periodo comprendido de 12 semanas a partir del trasplante. Las Variedades en cuanto a la respuesta de Severidad su comportamiento fue el siguiente: TLHE-0008 A (no inoculado) 100%, TLHE-0008 I (inoculado) 100%, TVD-005 A (testigo absoluto) 67 %, TVE-SM03 A (no inoculado) 27%, TVE-SM03 I (inoculado) 27%, TRHS A (no inoculado) 27%, TRHS I (inoculado) 33%.

Palabras Clave: *Fusarium oxysporum*, resistencia, tolerancia, susceptibilidad, severidad, material genético.

I INTRODUCCIÓN

Entre los factores más importantes que afectan el desarrollo normal del cultivo de tomate se encuentran las enfermedades de tipo infeccioso provocadas por hongos, las cuales se presentan en la mayoría de las zonas tomateras de México, limitando su producción y por ende su rentabilidad (Martínez, 2014) causando grandes daños y pérdidas económicas en el estado de Sinaloa, principal productor y exportador de esta hortaliza, con pérdidas de hasta un 50%, en la disminución del rendimiento en la producción de fruto de tomate bajo cielo abierto e Invernadero.

Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* R_{III} (FOLR_{III}) causa daños irreversibles o totales en las plantas provocando un taponamiento del xilema lo que impide el movimiento de fotosintatos causando muerte del tejido en la planta, los síntomas más característicos son el amarillamiento de las hojas más viejas junto con una epinastia avanzando a las hojas más jóvenes, las cuales entran en senescencia quedando adheridas al tallo de la planta, achaparramiento de la misma, necrosis radicular y el atrofiamiento en el sistema radicular hasta llegar a la muerte.

Como prevención se realizan acciones de desinfección antes de establecer un nuevo cultivo, utilizar programas preventivos y algunos inductores de resistencia que puedan aplazar los síntomas y efectos producidos, saneo de las plantas infectadas, evitar el contacto con herramientas y maquinaria que puedan diseminar la enfermedad a plantas y cultivos en terrenos sin incidencia del problema, además del uso de variedades y/o híbridos resistentes y tolerantes a *Fusarium* spp. Por lo anterior, los fitomejoradores han buscado alternativas en los genes de variedades silvestres capaces de incorporar la resistencia a los ataques de FOLR_{III} capaz de soportar los estragos causados por este patógeno que se encuentran presentes en la mayoría de las variedades comerciales y/o híbridos, mas no se ha tenido éxito al encontrar diversidad de variedades resistentes a FOLR_{III}, sin embargo, se reportan portainjertos exclusivos de alto costo, capaces de tolerarlo, pero se ha encontrado la inconveniencia que existe incompatibilidad para su uso convencional junto con un elevado costo de los materiales que presentan esta resistencia (Sanchez, 2019).

Este hongo tiene una gran capacidad genética para generar variantes en apariencia y coloración de las colonias, así como en la producción de microconidios, y clamidosporas (Sanabria, 2001). Esta capacidad de variación también se manifiesta en su virulencia por la aparición de razas fisiológicas. Las razas son distinguidas por su virulencia sobre variedades de tomate que llevan genes específicos para resistencia. Hasta ahora se han descrito tres razas. La existencia de la raza 3, capaz de atacar los cultivares con los loci para resistencia fue identificada en Queensland, Australia en 1978. Ésta raza se ha observado en México, Estados Unidos de América y en Brasil (Ascencio-Álvarez, et al., 2008)

El método más sencillo, económico, efectivo y seguro para su control en la producción agrícola es el uso de cultivares resistentes (Fernández-Valiela, 2001). Sin embargo, es de particular importancia para el fitomejorador, el conocimiento y entendimiento de la capacidad de variación genética de un patógeno, pues esto constituye el origen y posterior diseminación de nuevas razas fisiológicas de FOLR_{III} con la habilidad para atacar variedades e híbridos que previamente eran resistentes. El monitoreo de las poblaciones de patógenos en los lotes de producción de tomate ha sido muy valioso para el desarrollo y uso de variedades resistentes y ha permitido una visión clara de la evolución de las poblaciones de los patógenos como respuesta a la selección debida a los genes para resistencia utilizados ya sea horizontal y/o vertical dependiendo de su herencia (Sanchez, 2019).

1.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de la resistencia y/o tolerancia genética expresada ante el inoculo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III}) en cuatro materiales genéticos.

1.2 Objetivos específicos

- * Determinar cuál es el mejor material genético con resistencia y/o tolerancia genética ante *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III}).
- * Evaluar la severidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III}) en cuatro materiales de tomate.

1.3 Hipótesis

Al menos uno de los materiales genéticos en estudio expresará resistencia y/o tolerancia adquirida ante los efectos y síntomas con la inoculación del hongo mostrando algún efecto secundario a través del daño causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III}).

1.4 Justificación

Uno de los problemas fitosanitarios limitantes de la producción del cultivo de tomate a nivel mundial y nacional es el marchitamiento vascular ocasionado por FOLR_{III}, la cual puede causar pérdidas superiores a 50%. Su variabilidad patogénica ha originado las razas 1, 2 y 3, ya descritas en varios países. En México se ha reportado en Sinaloa, Baja California Sur, San Luis Potosí y Morelos, entre otros (Martínez, 2014). Esta enfermedad ha sido identificada como una de las más devastadoras en todas las regiones del mundo donde se cultiva el tomate, el cual tiene mayor incidencia en regiones de clima cálido como las del estado de Sinaloa, México, región altamente productora de tomate de importancia nacional, ocasionando fuertes daños en los genotipos que muestran susceptibilidad al ataque de este fitopatógeno (Ascencio-Álvarez, et al., 2008).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Este cultivo es considerado como la hortaliza que mueve la economía a nivel mundial por el comercio y la extensión de su producción establecido en todos los continentes del mundo, debido al área sembrada, valor de la producción, valor nutricional, amplia distribución geográfica, elevado consumo y sustento económico para pequeños y medianos productores. Es un cultivo de clima cálido, aunque es posible establecerse durante todo el año bajo condiciones de agricultura protegida, es uno de los cultivos hortícolas más versátiles, muy noble y complejo a la vez. En México se establecen dos ciclos de producción al año siendo estos de ciclo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

En el cultivo de tomate se pueden desarrollar todas las actividades culturales de manejo habidas y por haber, del mismo modo se manifiesta una gran cantidad de plagas y enfermedades que pueden causar graves daños al cultivo debido a su palatabilidad atrayente (Rodríguez, 2018). Debido a su alta demanda propicia una gran diversificación para satisfacer los distintos nichos de mercado, destinándose para su consumo en fresco y procesado, por lo cual, se encuentra una amplia gama de tipos y variedades siendo los más comunes los del tipo bola o beef, roma o saladette y de especialidades, por tanto, lleva a los mejoradores y casas semilleras a crear variedades e híbridos más apropiados a los deseos de los clientes (Sánchez., 2018).

En el cultivo de tomate se encuentran variedades con hábitos de crecimiento determinado e indeterminado, su producción puede realizarse bajo diferentes sistemas de producción según la tecnología disponible, en suelo a campo abierto o bajo agricultura protegida en estructuras bioclimáticas, siendo invernaderos de baja, mediana y alta tecnología, así como casa sombra y producción en hidroponía. Todo esto hace que la agroindustria tomatera se incremente día a día para mantener el consumo y demanda a nivel nacional e internacional.

2.2 Importancia del tomate

La producción nacional de tomate representa el 3.46% del PIB nacional cubriendo el 90.67% de las importaciones a Estados Unidos y el 65.31% de las de Canadá consolidándose como el principal exportador a nivel mundial seguido por países bajos. Las exportaciones representan el 47.96% de la producción nacional además de satisfacer la demanda nacional al 100%. (SIAP., 2018).

La producción mundial del tomate en el 2017 fue de 182 301 395 t. Se cultiva en más de 100 países para consumo fresco e industrial, el 81% de la producción se concentra en China, India, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Irán, Italia, España, México y Brasil (FAOSTAT., 2017). El rendimiento promedio mundial es de 55.27 t ha⁻¹. El consumo promedio en países desarrollados es 86 g diarios per cápita y en países en vía de desarrollo 27 g. México produjo 3 780 950 t en el 2018, con un rendimiento promedio de 76.8 t ha⁻¹ siendo Sinaloa el mayor productor con 1 088 252 t, seguido de San Luis Potosí con 393 582 t, Michoacán 281 848 t, Jalisco 189 848 t y Zacatecas 182 773 t (SIAP., 2018).

2.3 Problemática de aranceles en tomate

En la actualidad la producción de cultivos de tomate se ha reducido en cuanto a superficie cultivada debido al arancel del 17.5% que deben pagar los productores para exportar sus productos a Estados Unidos, lo que ha empujado a un gran número de productores a abandonar el campo y las exportaciones de este producto. Sonora reporta que 50% de sus productores han dejado de exportar, por lo que no puede pagar las fianzas que normalmente piden del 10% para asegurar el arancel o las cuotas que ahora se han elevado al 100%. Algunos productores en Oaxaca, Chiapas y Puebla no pueden exportar, por lo que se ven obligados a vender su producto más barato a nivel nacional, además de que muchos productores se decantan por el cultivo de pimiento en lugar de tomate, favoreciendo esta situación a países como Marruecos y Alemania, mientras que en los países bajos se encuentra un mercado inestable, esto debido al gobierno de E.U.A. donde puso fin al acuerdo de suspensión del tomate, esto causará una subida de precios que recaerá sobre los consumidores y hará que disminuya la demanda.

2.4 Hábitos de crecimiento del tomate

El hábito de crecimiento lo controla predominantemente un gen monoalélico (autopodante + / autopodante -) (UPOV, 2001).

Además de influir en el manejo del cultivo, el hábito de crecimiento también puede alterar los parámetros de productividad en los tomates, se refleja directamente en la etapa fenológica del tomate controlado principalmente por el gen de auto poda.

2.4.1 Plantas de crecimiento Determinado

Son plantas predominantemente controladas por el alelo recesivo, autopodante–self pruning (Sp-) en estado homocigoto, produce un número limitado de racimos, el número de racimos varía entre las distintas plantas y está influenciado por las condiciones agroclimáticas, el número de hojas o entrenudos entre inflorescencias varía de uno a tres (UPOV, 2001). Los tallos principal y lateral detienen su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias, según la variedad, son de porte bajo y compacto y producen frutos durante un periodo relativamente corto. Su crecimiento se detiene después de la aparición de varios racimos de flor con la formación de un último meristemo apical reproductivo. La cosecha puede realizarse de una a tres veces durante el ciclo de cultivo (López Marín., 2016).

El hábito de crecimiento de los tomates (determinado e indeterminado) también es relevante en términos de mejora genética. Esta característica establece el uso de tomate para dos segmentos de mercado. Cuando se usan para la producción de salsas y kétchup, predominan los cultivares con determinados hábitos de crecimiento. Para los tomates con este hábito de crecimiento, no es necesario realizar tratamientos culturales costosos, como brotación, poda apical y conducción de la planta con cinta adhesiva o esquejes. Los estudios muestran que estos tratamientos culturales pueden representar hasta el 30% del costo total de producción. Por el contrario, para la producción de tomates de mesa, para consumo fresco, se utilizan predominantemente cultivares con un hábito de crecimiento indeterminado.

2.4.2 Plantas de crecimiento Indeterminado

Son plantas controladas predominantemente por el alelo dominante, autopodante+ self pruning (Sp+) bien sea homocigoto y heterocigoto, por lo general se observan tres hojas o entrenudos entre las inflorescencias. Cada racimo produce tres yemas: la yema terminal se transforma en una yema floral; una de las dos yemas axilares se transforma en un brote lateral que produce las próximas tres yemas y continúa la prolongación del tallo. Las plantas indeterminadas se desarrollan repitiendo continuamente este patrón de crecimiento (UPOV, 2001), otorgando un porte alto de planta, ciclos fenológicos prolongados y un crecimiento indefinido, debido a la terminación de la planta en un meristemo vegetativo. La floración, la fructificación y la cosecha se extienden por periodos muy largos, por lo que son usualmente cultivadas en invernaderos o casas sombra con tutoreo. Poseen condiciones adecuadas para un crecimiento continuo, dado que forman hojas y flores de manera ilimitada. La aparición de flores en los racimos y su grado de desarrollo son escalonados: las primeras flores del racimo pueden estar totalmente abiertas, mientras que las últimas aún no se abren (López Marín., 2016).

En campo y con este tipo de cultivares, las densidades más usadas en México por los productores son de 3 a 4 plantas por metro lineal, con separación entre surcos de 1.8 m, que equivalen a 1.66 y 2.22 plantas m⁻², con un rendimiento comercial de fruto de 4.54 a 5.11 kg m⁻². En este caso las plantas se podan a dos tallos cuando inicia la primera inflorescencia y se dejan crecer libremente hasta 1.9-2.0 m de altura y se eliminan las hojas inferiores.

2.4.3 Plantas de crecimiento Semi-Indeterminado

Se ha reportado un tercer tipo de crecimiento, gobernado por la expresión del gen SPD9, presente en la especie silvestre *Solanum penellii*, que atribuye a la planta crecimiento semi-Indeterminado y alto contenido de sólidos solubles (Carmel-Goren et al., 2003). Estas plantas se caracterizan por la interrupción del crecimiento de sus tallos después de un determinado número de inflorescencias, usualmente en una etapa muy avanzada del ciclo del cultivo (Haifa Chemicals, 2014). No presentan de manera regular tres hojas o entrenudos entre las

inflorescencias, por ejemplo, con la terminación de la prolongación del tallo más allá de la novena inflorescencia el tipo “Prisca”) o más allá de la vigésima inflorescencia (el tipo “Early Pack”) (UPOV, 2001).

2.5 Conociendo a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Es un hongo cosmopolita que existe en muchas formas patogénicas, parasitando más de 100 especies de plantas Gimnospermas y Angiospermas, gracias a los diversos mecanismos que tiene el hongo para vencer las defensas de muchas plantas. *Fusarium oxysporum* es la única especie del género *Fusarium* que crece realmente dentro del sistema vascular de la planta hospedante y se propaga en sentido ascendente por dentro de la misma. Las otras especies se propagan hacia arriba por fuera de la planta. Es un hongo ascomiceto de vida libre sin estado sexual conocido. Se presenta principalmente como saprófito en el suelo, o también como patógeno especializado, denominado *forma especial* (f. sp.) según la planta hospedante u hospedantes relacionados que afecte (Garcés de Granada et al., 2001). Se caracteriza por producir colonias de rápido crecimiento: 50 mm en una semana, con una tasa diaria cercana a un centímetro en medio papa-dextrosa agar (PDA) a 25°C. La morfología de las colonias es muy variable y puede presentar dos tipos: una de tipo micelial caracterizada por la producción de abundante micelio aéreo, liso y algodonoso, con el tiempo toma un aspecto como el fieltro, con una coloración variable, de blanco a rosado durazno, pero usualmente con un tinte púrpura o violeta más intenso en la superficie del agar con pocos microconidios, el reverso es púrpura o azul oscuro. Y una de tipo pionotal con la formación de poco o ningún micelio aéreo y abundantes microconidios (Gómez, 2015)

2.5.1 Características morfológicas microscópicas

El hongo dentro de sus características morfológicas produce tres clases de esporas asexuales en cultivo:

-Microconidios: Esporas generalmente unicelulares, sinseptas, hialinas, elipsoidales a cilíndricas, rectas o curvadas; se forman sobre fiálides laterales, cortas, simples o sobre conidióforos poco ramificados. Los microconidios tienen

5-12 μm de largo por 2.5-3.5 μm de ancho y son producidas en fiálides laterales unicelulares y cortos.

-Macroconidios: Esporas de paredes delgadas, fusiformes, largas, moderadamente curvadas en forma de hoz, también son hialinas con varias células generalmente de 3 a 5 septos transversales, con la célula basal elongada y la célula apical atenuada, semejando una luna en cuarto creciente por su forma curvada en el centro y fina en los extremos; los macroconidios tienen un tamaño de 27 a 46 μm de largo por 3.0 a 4.5 μm de ancho.

- Clamidosporas: Esporas formadas a partir de la condensación del contenido de las hifas y de los conidios, de paredes gruesas. Se forman simples o en pares, terminales, intercalares o en ramificaciones laterales cortas, que son estructuras de sobrevivencia del patógeno, tienen forma redonda y paredes delgadas. En medio de tejido sintético se observa en colonias blancas, cremas, naranjas, pardo-rojizo, rojo carmín, rosa, púrpura e incluso azuladas dependiendo del aislamiento. Poseen un tamaño de 5-15 μm de diámetro. Gracias a las clamidosporas el hongo sobrevive en condiciones ambientales desfavorables y en el suelo como saprófito de vida libre en ausencia de plantas hospedantes. (Cardona Piedrahíta & Castaño Zapata, 2019).

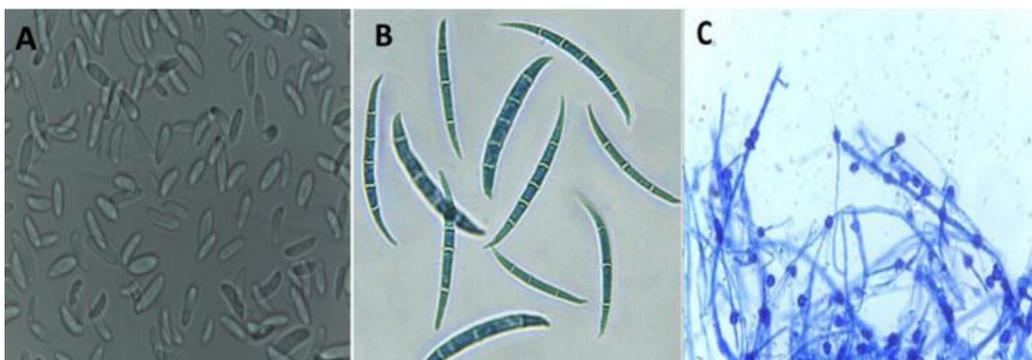


Figura 1. A.- Microconidios de FOLR_{III} (100X). B.- Macroconidios de FOLR_{III} (40X). C.- Clamidosporas FOLR_{III} (40X) (Cardona-Piedrahíta, 2019).

2.5.2 Ciclo de vida y forma de infección

El hongo *Fusarium oxysporum* vive en el suelo, permanece muchos años en suelos infestados. Los tubos germinales de las esporas, o el micelio del hongo penetran en las raíces o a través de heridas (causadas por implementos,

nematodos, etc.). Según (Villaverde, 2018) el micelio se propaga entre las células a través de la corteza de la raíz y, al llegar al xilema (transporta agua de forma ascendente por la planta), penetra en este por medio de las pateaduras. Dentro del xilema, el micelio del hongo se ramifica y produce microconidios que son llevados hacia la parte superior de la planta, infectando tallo y ápice. Una vez alcanzado el punto donde termina el movimiento ascendente, el micelio penetra la pared superior de los vasos y produce más microconidios en los otros vasos, para avanzar lateralmente por la planta.

2.5.3 Condiciones de Desarrollo

Las temperaturas mayores de 28°C es una de las condiciones que beneficia el desarrollo de la enfermedad, así como también la humedad óptima para el desarrollo del cultivo. La virulencia del patógeno se ve aumentada con bajo pH del suelo así como niveles bajos de N y P y altos de K. Existen diferentes formas de diseminación como lo son los tutores de las plantas de tomate, el suelo y las plántulas para trasplante infectadas, o por medio del suelo adherido a estas, así como también por medio de la semilla. Ya establecido el cultivo en el campo la enfermedad se puede dispersar con las herramientas de trabajo, a través de suelo infestado el cual puede diseminarse por agua y viento demostraron tener efecto sobre el micelio, controlando, además, la esporulación del patógeno (Martínez-Ruíz, et al., 2016).

2.6 Marchitamiento vascular del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas ampliamente cultivadas en todo el mundo, FOLR_{III} es el patógeno más importante contribuyente del marchitamiento vascular de esta hortaliza, una enfermedad de las más de 100 formas especiales que se conocen de *Fusarium oxysporum*, de amplia distribución mundial. Esta enfermedad afecta al tomate cultivado a temperaturas cálidas (28°C) tanto en invernadero como en condiciones de campo (Bawa, 2016), puede sobrevivir indefinidamente en el suelo infestado durante un máximo de diez años en forma de clamidospora en ausencia del huésped (Khan, Maymon, & Hirsch, 2017) (Cha, et al., 2016). Por esta razón, la rotación de cultivos no es un método eficiente para escapar del ataque del hongo.

La enfermedad se caracteriza por una pérdida de rendimiento del fruto del 60 al 70% con plantas marchitas que contienen hojas amarillentas (Ravindra, et al., 2015).

2.6.1 Síntomas de la enfermedad

Los síntomas tempranos de la enfermedad de marchitez por *Fusarium* causada por la raza 3 que presentan las plántulas de tomate incluyen coloración amarillenta de las hojas inferiores, pérdida prematura de cotiledones, necrosis vascular, epinastia, defoliación, retraso del crecimiento de las plantas y, en última instancia, la muerte de las plantas (Sánchez-Pena, et al., 2010), se observa, además, una lesión marrón pronunciada que rodea el hipocótilo (unión entre raíz y brote) este color es característico de la enfermedad y se emplea para su identificación. La infestación por FOLR_{III} provoca marchitez y amarillamiento en las hojas más viejas; dichos síntomas suelen afectar solo un lado de la planta, pudiendo ser de forma parcial o total, y con frecuencia los folíolos a un lado del peciolo se vuelven amarillos antes que los del otro lado. Las hojas al morir quedan unidas al tallo, los daños al tallo se observan con un cambio de coloración marrón-rojizo en el tejido vascular causando taponamiento y evitando la translocación de agua y fotoasimilados, si se realiza un corte transversal en el tallo se puede observar un oscurecimiento en los vasos (Cardona Piedrahíta & Castaño Zapata, 2019).

El marchitamiento de las hojas, la pudrición de la raíz y, finalmente, la muerte, son señal de la enfermedad en su estado más avanzado. La parte superior de la planta se marchita durante el día y se recupera en la noche, pero el marchitamiento se incrementa hasta que la planta se marchita completamente y se observa el oscurecimiento vascular en los tallos y los pecíolos de las hojas maduras infectados (Martínez-Ruíz, et al., 2016). Las plantas afectadas y sus sistemas radicales se atrofian. Bajo condiciones de mucha humedad, en los tejidos atacados y con pudrición seca se forma un micelio aéreo blanco cubierto por macroconidios que puede tornarse de color rosa anaranjado; esto ocurre con frecuencia cerca de la superficie del suelo o en cultivos con gran densidad de siembra. Lo cual presenta molestias a los productores incrementando los costos de producción en fungicidas y uso de patrones resistentes (Rodríguez, 2018)

2.6.2 Severidad de daño

Hay tres razas fisiológicas conocidas (raza 1, raza 2 y raza 3) dentro de FOL que se diferencian entre ellas en función de su patogenicidad entre diversos cultivares de tomate que comprenden genes de resistencia dominantes monogénicos y específicos de la raza (Biju et al., 2017). Las razas 1 y 2 se han probado en la mayoría de las áreas de cultivo de tomate en todo el mundo. La raza 1, inicialmente informada en 1886 y reportada en 1945 en Ohio, afectó gravemente y amenazó la producción comercial de tomate en Arkansas (Petit-Houdenot & Fudai, 2017) el descubrimiento y el uso posterior del gen *I* llevaron al patógeno a superar esta resistencia y, en consecuencia, a la aparición de la raza 2. La raza 3 se informó en Australia en 1978 por primera vez, después en varios estados americanos como California, Florida, Arkansas, Tennessee, entre otros, y tuvo resistencia a la *I-2* (Catanzariti, Lim, & Jones, 2015). Esta raza también se ha reportado en México. La mayoría de las variedades comerciales de tomate cultivadas en todo el mundo son resistentes a la raza 1 y 2, y algunas son resistentes a la raza 3 pero son pocas las variedades que están disponibles en el mercado (Biju et al., 2017).

Por la gravedad de los síntomas, la resistencia genética mediante el uso de cultivares resistentes y portainjertos resistentes sigue siendo el método más rentable y ambientalmente seguro de control para prevenir las enfermedades de FOLR_{III} en la producción de tomate (Debbi et al., 2018) mediante la selección de marcadores moleculares que puede ser un medio más efectivo de seleccionar razas de tomate (Sirinivas, et al., 2019) ya que no hay producto químico efectivo para combatir a FOL debido a la aparición de nuevas razas patógenas, además su uso es costoso, así como ambientalmente indeseable. Sin embargo, para el proceso de evaluación y de selección de genotipos resistentes, es necesario inducir el desarrollo de los síntomas de la enfermedad mediante un método de inoculación eficiente que permita clasificar la reacción de los diferentes genotipos evaluados (Sanchez, 2019).

Los métodos de inoculación artificial permiten observar la variabilidad en los periodos de incubación y de latencia del hongo, el proceso de colonización, el mecanismo de patogenia, la edad óptima de sensibilidad al agente causante

de la enfermedad, así como la optimización del tiempo y los recursos económicos (Ortiz & Hoyos., 2016). Independientemente de cuál sea el caso se debe tener en cuenta factores clave como la forma de penetración natural del inóculo, la etapa donde es susceptible la planta, tener un inóculo viable, presentar las condiciones ambientales para que se desarrolle el patógeno, entre otras.

.

2.7 Tipos de resistencia de las plantas ante el ataque de los patógenos

La resistencia a las enfermedades que es controlada genéticamente por la presencia de uno, varios o muchos genes para la resistencia de la planta contra el ataque del patógeno se conoce como resistencia verdadera. En este tipo de resistencia el huésped y el patógeno son más o menos incompatibles entre sí debido a la falta de reconocimiento químico entre ellos o porque la planta hospedante se defiende a sí misma del patógeno mediante los diferentes mecanismos de defensa que ya tiene, o activados, en respuesta a la infección. Existen dos tipos de resistencia verdadera: resistencia horizontal y resistencia vertical. (Agrios, 2005)

2.7.1 Resistencia horizontal

Todas las plantas tienen un cierto nivel de resistencia no específica, pero no siempre la misma, que es eficaz contra un cierto número de sus patógenos. Este tipo de resistencia a veces se denomina como resistencia no específica, general, cuantitativa, de planta adulta, de campo o durable, pero se conoce más comúnmente como resistencia horizontal (Zhu, et al., 2013)

La resistencia horizontal está bajo el control de muchos genes, de ahí el nombre de 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 (resistencia de genes menores). La resistencia horizontal que muestra una variedad vegetal ante todas las razas de un patógeno puede ser algo mayor (o menor) que la mostrada por otras variedades ante ese mismo patógeno, pero las diferencias por lo común son pequeñas e insuficientes para poder distinguir las variedades según su nivel de resistencia horizontal (resistencia no diferencial). Además la resistencia horizontal es afectada por diferentes condiciones ambientales, bajo las cuales también puede variar. En

general, la resistencia horizontal no evita que las plantas sean infectadas, sino que retarda el desarrollo 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 (Rubio Cobarrubias, Cadena Hinojosa, & Flores López, 2016)

2.7.2 Resistencia vertical

Muchas variedades vegetales son bastante resistentes a algunas razas de un patógeno, pero, en cambio son susceptibles a otras razas del mismo. En otras palabras, dependiendo de la raza del patógeno utilizada para infectar a una variedad vegetal, ésta puede ser resistente a una raza del patógeno y susceptible a otra. Este tipo de resistencia, en el que existe interacción diferencial entre el genotipo del patógeno y el del huésped, se denomina como resistencia específica, cualitativa o diferencial, pero se conoce con más frecuencia como resistencia vertical. La resistencia vertical suele estar controlada por uno o pocos genes (por ello se denomina resistencia oligogénica). Estos genes suelen tener un efecto importante sobre la interacción con el patógeno (se les denomina genes mayores). En general, la resistencia vertical inhibe el desarrollo inicial del patógeno que llega al campo proveniente de plantas huéspedes que no tienen los genes mayores necesarios. La resistencia vertical inhibe el desarrollo de epifitias al limitar el inóculo inicial. Las variedades con resistencia vertical (oligogénica) 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. Por el contrario, las variedades con resistencia horizontal (poligénica) son menos estables y pueden variar en su reacción al patógeno bajo diferentes condiciones ambientales, pero el patógeno tendrá que pasar por muchas más mutaciones para inhibir por completo la resistencia del huésped. Como regla general, la combinación de genes mayores y menores para resistencia contra el ataque del patógeno es la alternativa más conveniente para cualquier variedad vegetal (Agrios, 2005).

2.8 Mecanismos de defensa de las plantas

Las plantas, han desarrollado mecanismos de defensa, los cuales han sido categorizados como de defensa pasiva y defensa activa. El mecanismo de defensa pasiva está constituido por aquellas características físico-químicas preexistentes en la planta siendo las barreras físicas como la composición y estructura de la cutícula, tricomas, estomas y pared celular, y están las barreras químicas que comprenden taninos, terpenos, resinas, alcaloides (antes del ataque). El mecanismo de defensa activa, hace referencia al proceso de resistencia sistémica, siendo aquel que se genera luego de que la planta detecta que está siendo afectada por el medio, este mecanismo de defensa comprende tres procesos: 1. Resistencia local adquirida (LAR) desencadenada por la respuesta hipersensible (RH), muerte celular: zonas necróticas dando como señalizador a las fitoalexinas. 2. Resistencia sistémica adquirida (SAR) señal o mensaje que media la activación de reacciones defensivas en tejidos alejados de la zona afectada, tales como ácido salicílico y proteínas PR. 3. Resistencia sistémica inducida que es activada por cepas bacterianas de rizobacterias saprofitas y por heridas causadas por herbívoros relacionados con los Jasmonatos y etileno (Dotor Robayo & Cabezas Gutiérrez, 2014)

Ante una afectación proveniente de un patógeno, se activa el mecanismo de defensa, el cual tiene como componentes un elicitor, sustancia indicadora de ataque a la planta, un receptor del elicitor, proveniente de la planta, encargado de dar el aviso de ataque del patógeno, un señalizador, que funciona como desencadenante del proceso de resistencia y probable amplificador de la señal de ataque. El quitosano es un elicitor que inhibe la apertura estomática inducida por luz y produce mayor resistencia a *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora capsici* en tomate (Ortega *et al.*, 2007)

Como principales señalizadores se destacan el ácido jasmónico y el ácido salicílico y otros intermediarios como el ácido benzoico, el cual se encuentra en la misma ruta de síntesis del ácido salicílico. Una vez activados los componentes de esta cadena, se generará la respuesta de la planta, la cual puede ser de expresión de genes específicos para defenderse del patógeno, la síntesis de fitoalexinas, la generación de respuestas como la construcción de barreras

estructurales y la repuesta hipersensible, cuyo exponente visual más impactante es el proceso de muerte celular programada (Dotor Robayo & Cabezas Gutiérrez, 2014).

2.9 Características del Material Genético

2.9.1 TVE-SM03 SofiMely®

La nueva variedad denominada SofiMely®, que se encuentra registrada oficialmente por el SNICS en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, presenta un crecimiento de habito Semi-Indeterminado, requiere de 23 días a inicio de floración después del trasplante, con una densidad de población en cielo abierto de 13 000 a 14 000 plantas por hectárea, con el manejo de camas de 1.80 a 1.84 m y distancia de 35 a 40 cm entre plantas, con poda a dos tallos, bajo el sistema de estacado regional modificado-modificado y acolchado bicolor, con fertirriego, en agricultura protegida de 15 000 a 16 000 plantas por hectárea, con el manejo de camas de 1.84 a 1.90 m y distancia entre plantas de 30 cm, en bolis de fibra de coco, acolchado bicolor y otros sistemas semi-hidroponicos con fertirriego a hilera sencilla, con poda a dos tallos y manejo de rafia y anillos.

Esta variedad presenta características de frutos extra firmes y de larga vida de anaquel, hombros uniformes y medio acanalados en la parte de los mismos y del pedúnculo, con frutos comerciales de tamaños extra grandes (3x4 y 4x4), grandes (4x5, 5x5 y 5x6) hasta en un 82% de la producción, medianos (6x6) en un 10%, chicos (6x7) en un 8.0% aproximadamente y con la característica de 5 a 6 lóculos en un 98% de los frutos en la parte interna del mismo, manteniéndose la calidad durante toda la etapa productiva independientemente de la fecha y modalidad de siembra, sin perder el tamaño grande si se mantiene la práctica de poda a dos tallos tanto en cielo abierto como en agricultura protegida, así también manejando los niveles de nutrición y polinización durante las etapas fenológicas. En cuanto al comportamiento de rendimiento en cielo abierto y poda a dos tallos es de 95 a 100 t ha⁻¹, para agricultura protegida bajo la modalidad de malla sombra y poda a dos tallos es de 310 t ha⁻¹, tolerante a bajas y altas temperaturas. En cuanto a la innovación de los atributos de calidad, respecto al dosel de la planta esta variedad es muy versátil porque presenta menor distancia

entre racimos que es de 22.53 cm o menos. Para la resistencia a una enfermedad más severa en los suelos de México (*Fusarium oxysporum*) presenta resistencia a las razas R_I y R_{II}, Ma, Mi, Mj, St. ToMV, Vd entre otras. La Firmeza es de 3.84 kg cm⁻², °Brix 3.706 y el contenido de licopeno es de 4.726 mg g⁻¹ (Sanchez., 2017).

2.9.2 Desarrollo y formación en líneas de especialidad.

Las líneas de especialidad TVD-005, TRHS, y TLHE-0008 no presentan ninguna descripción registrada debido a que están en proceso de formación y evaluación (Sanchez, 2019).

2.10 Definiciones

Aislamiento: Separación de un patógeno de su hospedero en un medio nutritivo.

Clorosis: Amarillamiento de los tejidos normalmente verdes, debido a la destrucción de la clorofila o a la imposibilidad de sintetizarla.

Cultivar: Línea de una planta seleccionada que mostrará características deseables que se traspan de generación en generación. Puede ser una variedad o un híbrido.

Elicitor: Moléculas capaces de inducir cualquier tipo de defensa en la planta y son producidos por agentes estresantes bióticos y abióticos. Actúa con los mismos principios que una vacunación

Enfermedad: Respuesta visible o invisible de una planta/tejido ante la acción de un organismo patógeno o factor ambiental que genera cambios en su forma, funcionamiento o integridad, originando un deterioro parcial hasta la muerte.

Fitoalexinas: Sustancia que producen los tejidos del hospedante para inhibir el desarrollo de hongos parásitos y que se forman cuando las células de la planta hospedante entran en contacto con un patógeno.

Fitopatógeno: Organismo que causa enfermedades en las plantas por medio de disturbios en el metabolismo celular causados por la secreción de enzimas, toxinas, fitorreguladores y otras sustancias. Algunos fitopatógenos pueden causar también enfermedades que crecen y se multiplican en el xilema y

en el floema de la planta, pudiendo bloquear el transporte del agua y los nutrientes desde la raíz hacia las hojas o el flujo de savia desde las hojas hacia el resto de la planta.

Haces vasculares: Cada uno de los cordones individuales que forman el sistema vascular primario de las plantas. Es un conjunto formado por los tejidos vasculares, el xilema y el floema, que incluye a veces tejidos mecánicos asociados (parénquima y esclerénquima).

Híbrido: Organismo vegetal procedente del cruce de dos organismos por la reproducción sexual de razas, especies o subespecies distintas, o de alguna o más cualidades diferentes.

Hongo fitopatógeno: Organismo eucariota que pertenece al reino Fungi. Forma un grupo polifilético (no existe un antepasado común a todos los miembros) y son parásitos o viven sobre materias orgánicas en descomposición. Sus paredes celulares están compuestas por quitina.

Infeción: Invasión y multiplicación de agentes patógenos en los tejidos de un organismo.

Inoculación: Proceso mediante el cual un patógeno y un hospedero entran en contacto directo, llegada o transferencia de un patógeno a su hospedante.

Inóculo: Término colectivo para referirse a los microorganismos o sus partes (esporas, fragmentos miceliales, etc.) capaces de provocar infección o simbiosis cuando se transfieren a un huésped. El término también se usa para referirse a los organismos simbióticos o patógenos transferidos por cultivo.

Palatabilidad: Se emplea para aludir a la cualidad de un alimento que resulta agradable al paladar.

Raza fisiológica: Taxón inferior a una forma especial que se diferencia fisiológicamente por su mayor virulencia cuando se infecta una serie dada de variedades de plantas.

Resistencia a enfermedades: Resulta de la interacción específica de los genes de resistencia (R) de las plantas con los correspondientes genes de avirulencia (Avr) de los patógenos.

Resistencia citoplasmática: Es controlada por unidades hereditarias dentro del citoplasma, que están ubicadas dentro de los cloroplastos y la mitocondria. Es transmitida a través del progenitor femenino y puede ser incorporada por la retrocruza con el progenitor recurrente deseado, como padre, con la fuente parental deseada, como madre.

Resistencia horizontal: Resistencia parcial igualmente efectiva para todas las razas de un patógeno.

Resistencia vertical: Resistencia completa a algunas razas de un patógeno, pero no a otras.

Resistencia: Capacidad que tiene un organismo para no contraer una enfermedad en forma total o parcial. Es una característica heredable y es controlada principalmente por el sistema genético nuclear y en algunos casos por el citoplasmático.

Síntoma: Reacciones o alteraciones internas o externas que sufre una planta como resultado a una enfermedad.

Susceptible: Incapacidad de una planta para resistir el efecto de un patógeno u otro factor perjudicial.

Tolerancia: Capacidad que tiene una planta para soportar los efectos de una enfermedad sin llegar a la muerte, puede convivir con un fitopatógeno.

Variedad: Población con caracteres que la hacen reconocible y que se cruza libremente con otras poblaciones de la misma especie.

Vida de anaquel: Periodo en que el producto o la fruta mantiene características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor y el almacenado bajo condiciones óptimas preestablecidas.

Vigor: Expresión de todas las características internas y externas, que se traducen en la presencia de ella en un medio determinado y que cumplen la función que le corresponde. El vigor de la semilla es la suma de aquellas propiedades de esta que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla o de un lote durante la germinación y la emergencia de la plántula.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de fibra de vidrio en el área experimental del Departamento de Parasitología, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Campus Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Localizado entre las coordenadas geográficas 25° 22" de latitud norte y 101° 02" longitud oeste y a una altitud de 1742 msnm. Durante el ciclo Invierno – Primavera del 2018-2019.

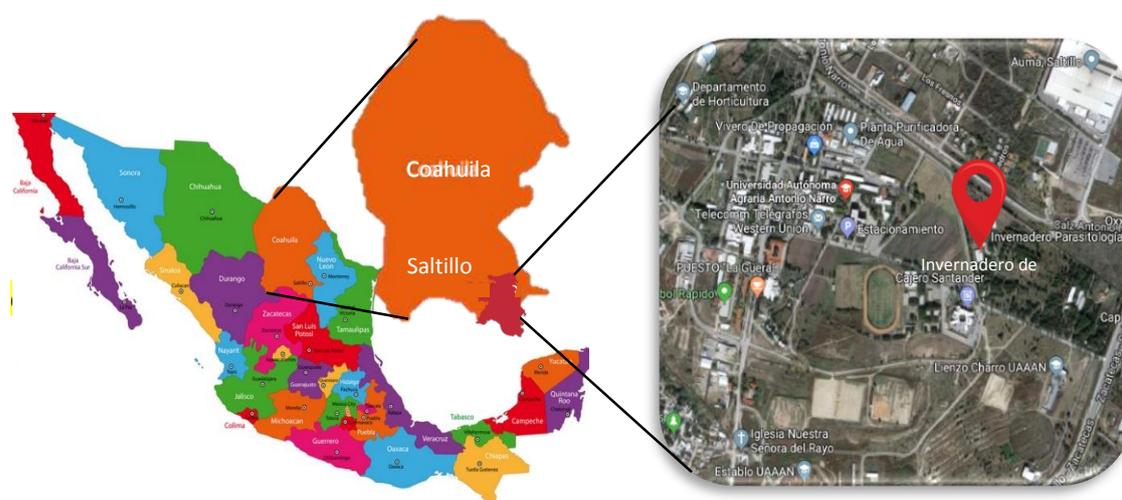


Figura 2. Ubicación del trabajo experimental. UAAAN Campus Saltillo.

3.2 Material biológico para inoculación

El Laboratorio de Parasitología Molecular de la UAAAN proporcionó la cepa de FOLR_{III} el cual reporta en su paquete de ficha técnica que las muestras de tejidos vegetales de donde se aislaron, multiplicaron y enriquecieron se colectaron de un cultivo de tomate establecido en la región de Villa de Arista, San Luis Potosí.

3.3 Siembra

La siembra se llevó a cabo el día 19 de octubre de 2018 en el Invernadero de Alta Tecnología perteneciente al Departamento de Forestal de la UAAAN en charolas de poliestireno de 200 cavidades colocando una semilla por cavidad,

se hizo una preparación de sustrato de peat-moss 50% con perlita 50% el cual se mezcló perfectamente y se humedeció hasta saturación.

3.4 Preparación de camas, sistema de riego y trasplante

Se utilizó tierra extraída de jardín no tratada solamente cribada. Se nivelaron las camas, así como la aplicación de una fertilización de fondo básica con N, P, K, se colocó un sistema de riego con cintilla de emisores a 30 cm de distancia y una separación de 30 cm entre cintillas, colocando los emisores hacia arriba, aplicando un riego pesado de asiento llevando a capacidad de campo para facilitar el trasplante, así como evitar deshidratación y daños al sistema radical de la plántula.

El trasplante se realizó el día 17 de diciembre del 2018 cuando las plántulas contaban con cuatro hojas verdaderas, seguido de la aplicación de un riego de asiento, con el fin de evitar estrés por deshidratación en la planta, además de eliminar los espacios porosos con aire en el suelo.

El riego se efectuó diariamente durante dos horas, para mantener la planta en un óptimo estado hídrico, evitar supresión de raíz y turgencia de las mismas causado por el desbalance hídrico. El experimento concluyó el día 03 de abril del 2019.

3.5 Establecimiento del experimento y manejo de las plantas

El experimento fue establecido en camas de 10 x 0.90 x 0.40 m con un marco de plantación a doble hilera, de 20 cm entre planta por 30 cm de separación entre tratamientos. Durante el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo se realizaron aporques, escardas, conducción y podas según las necesidades que la planta requería, ésta actividad se realizó con la finalidad de reducir la humedad manteniendo la aireación del suelo, eliminar malezas para evitar hospederos para otras enfermedades que se pudieran presentar, además de dar mejor sostén a la planta, facilitando las labores culturales. Se realizó desbrote inicial con el propósito de facilitar aireación y vigor a la planta.

El sistema de conducción utilizado fue el regional modificado-modificado, efectuándose a los 30 días después del trasplante, para ello se utilizaron carrizos de 2.50 m aproximadamente anclados al suelo a 30 cm de profundidad para un

mejor sostén, sujetos con alambre, se utilizó rafia agrícola colocándose una encima de la otra a cada 30 cm de altura, cuidando de no dañar la planta y así facilitar su crecimiento libremente. Durante el desarrollo del experimento se realizaron aplicaciones para el control de plagas (mosquita blanca, paratrioza y pulgones).

3.6 Inoculación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (R_{III})

Se inoculó FOLR_{III} en la fecha del 10 de enero del 2019. La concentración fue de 1×10^6 esporas mL⁻¹, para la inoculación se colocaron 3 mL de solución en una jeringa inyectándose directamente en la raíz de la planta, para ello, se extrajo la planta del suelo tratando de hacer heridas con el propósito de dañar gradualmente la raíz y así facilitar la entrada del inóculo. Al final de la aplicación se cubrieron las raíces de las plantas dando un riego ligero, además de proporcionar las condiciones adecuadas para el desarrollo del hongo.

3.7 Descripción del Material Genético

El experimento fue realizado con la finalidad de evaluar la interacción entre FOLR_{III} y cuatro materiales de diferente constitución genética resistentes y/o tolerantes a este patógeno utilizando un testigo absoluto y seis tratamientos donde se aplicaron tres inoculados y tres no inoculados.

Cuadro (1.3) Características generales de los materiales genéticos utilizados en el experimento.

Tratamientos	Material genético	Descripción
T1	TLHE-0008 A	Línea de especialidad frutos color morado, hábito de crecimiento Indeterminado.
T2	TLHE-0008 I	
T3	TVD-005 A (Testigo absoluto)	Tomate Pacífica Plus, hábito de crecimiento Determinado.
T4	TVE-SM03 A	Material registrado SofiMely® hábito de crecimiento Semi-Indeterminado
T5	TVE-SM03 I	
T6	TRHS A	Tomate Híbrido Rafaellos, hábito de crecimiento Indeterminado.
T7	TRHS I	

El material TVE-SM03 utilizado para el experimento es registrado ante el SNICS como SofiMely®, forma parte de un programa de mejoramiento genético de tomate realizado por el M.C. Alfredo Sánchez López, cuyas características son el ser de crecimiento Semi-Indeterminado, larga vida de anaquel, extra firme, alta calidad nutracéutica, tamaños de fruto homogéneos desde el inicio hasta el final de cosecha, entrenudos entre racimo y racimo cortos, entre otras cualidades.

3.7.1 Abreviaturas de los tratamientos

TLHE-0008 A = Tratamiento no inoculado

TLHE-0008 I = Tratamiento Inoculado

TVD-005 A = Testigo absoluto no inoculado

TVE-SM03 A = Tratamiento no inoculado

TVE-SM03 I = Tratamiento inoculado

TRHS A = Tratamiento no inoculado

TRHS I = Tratamiento inoculado

Nota: Para referirse al tratamiento TVE-SM03 tanto inoculado como no inoculado, será representado añadiendo en su modo de material registrado como SofiMely®.

3.7.2 Material utilizado en el experimento

El material de campo a utilizar desde el inicio hasta el final del experimento constó de los siguientes:

Cepa de FOLR^{III}, libreta de campo, lápiz, flexómetro con medición a 3 m, vernier electrónico y manual, etiquetas, palillos de madera, cámara fotográfica, rafia agrícola, cúter, carrizos, alambre, mochila aspersora para fumigaciones, jeringas de 3 mL, bolsas de papel para coleccionar muestras, marcador, regaderas de jardín (humedecer las orillas de la cama), charola de 200 cavidades para germinación, sustrato Peat-Moss y vermiculita, tierra de jardín, hipoclorito de sodio (desinfestar carrizos), azadón, pala, machete, carretilla, pinzas para alambre.

3.8 Variables evaluadas

Dentro de las variables agronómicas evaluadas durante el desarrollo del experimento se encuentran:

- Altura de la planta
 - Diámetro del tallo
 - Longitud Horizontal de la Raíz
 - Longitud Vertical de la Raíz
- Variable Fitopatológica
- Severidad

Para la variable Severidad, se evaluó visualmente de acuerdo a una escala de severidad que consto de 0-5 (Figura 3.2) realizado por Vivienne Gepp (2011)



Figura 3. Escala visual de severidad utilizada de 0 a 5 para la evaluación de los materiales realizado por Vivienne Gepp (2011).

- 0:** Inmune: Plantas sin pústulas, sin síntomas visuales en la parte radical y tallo.
- 1:** Resistente (R): pústulas muy chicas sin tejido muerto.
- 2:** Moderadamente resistente (MR): pústulas chicas-medianas con algo de tejido muerto en raíz.

3: Moderadamente susceptible (MS): pústulas medianas rodeadas de tejido muerto.

4: Susceptible (S): pústulas grandes con tejido muerto y con daños severos al tallo y raíz.

5: Plantas muertas: pústulas con tejido muerto.

Posteriormente se transformaron los datos en la escala a porcentajes (%) a través de la fórmula siguiente propuesta por Carrón en 2016:

$$S = \left(\frac{\sum(a \times b)}{n \times k} \right) \times 10$$

Dónde:

S= Severidad

$\sum(a \times b)$ = Sumatoria del grado de afección total

n= Número de plantas evaluadas

k = Grado mayor de la escala

Altura de Planta

La toma de datos fue a partir del día de la inoculación (10 de enero del 2019), anotándose cada 2 semanas desde la base del tallo hasta el ápice de la planta utilizando flexómetro graduado a 3 m.

Diámetro de Tallo

El diámetro del tallo fue determinado una vez cada 2 semanas, tomándose en los entrenudos de la parte media de la planta de manera horizontal del tallo, utilizando vernier con escala milimétrica.

Longitud Horizontal de la Raíz

Para medir la raíz se extrajo la planta completamente cuidando de no dejar raíces en el suelo y/o de no quebrar la raíz principal, se midió la longitud horizontal de las raíces primarias con ayuda del flexómetro graduado en centímetros.

Longitud Vertical de la Raíz

Se midió la longitud vertical desde la base del tallo hasta el ápice de la raíz principal con la ayuda del flexómetro

Severidad

Se eliminó el exceso de tierra sacudiendo la planta lavando con agua corriente para eliminar la mayoría de impurezas y así facilitar la observación de los síntomas de daño en el sistema radicular. Se realizó un corte longitudinal en tallo y raíz con un cúter para exponer los haces vasculares y así observar los daños causados por *Fusarium* en el xilema, finalmente se realizó otro corte transversal para verificar los daños.

3.9 Diseño experimental y modelo estadístico

Para facilitar la interpretación de los resultados de campo bajo las condiciones de agricultura protegida en camas con suelo compuesto, se realizaron los Análisis de Varianza ANVA utilizando el sistema R Core ver 3.2.5 (R Core Team, 2016) con una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$) los cuales fueron realizados de acuerdo a las variables en base a los tratamientos establecidos con un diseño experimental completamente al azar, en el que se utilizaron tres repeticiones con un total de cuatro tratamientos y seis unidades experimentales por cada uno.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de Planta

La altura de planta fue afectada significativamente por la Inoculación de FOLR_{III} (Figura 4), la línea TLHE-0008 I mostró en su comportamiento un aumento altamente significativo con una altura superior a los 100 cm a los 106 días después del trasplante (DDT) y 83 días después de la inoculación (DDI), mientras que su recíproco no inoculado TLHE-0008 A mantuvo un similar comportamiento llegando a medir por encima de los 90 cm. En el resto de los tratamientos se obtuvieron plantas de similar altura por debajo de los 50 cm respectivamente.

El testigo absoluto TVD-005 A mantiene un similar crecimiento con la Línea TRHS I, esto es hasta los 106 DDT y 83 DDI diferenciando por 5 cm, mientras que su recíproco no inoculado TRHS A permanece por encima de ambos desde el inicio hasta el final del experimento, terminando con una ventaja de 10 cm, incluso termina siendo el de mayor crecimiento por encima del genotipo TVE-SM03 I SofiMely® como en TVE-SM03 A SofiMely®. En general, con la inoculación de FOLR_{III} ninguno de los tratamientos tuvo descensos en su altura.

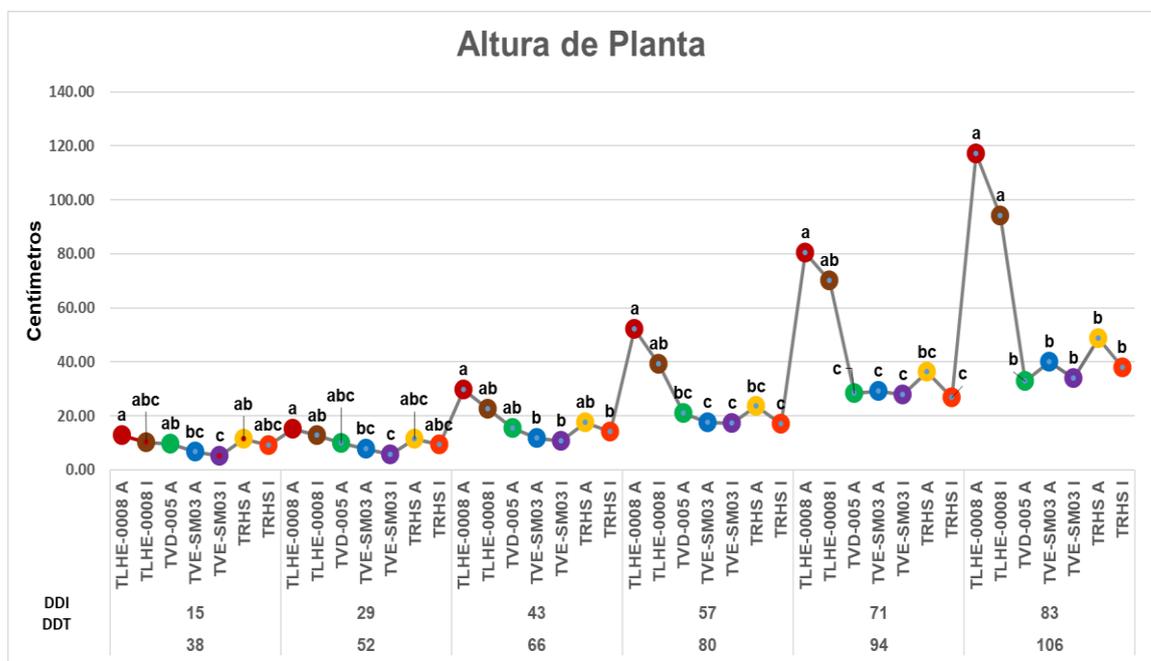


Figura 4. Altura de la planta promedio de Tomate con base en los Días Después del Trasplante (DDT) y a los Días Después de la Inoculación (DDI), de acuerdo al efecto de FOLR_{III}.

En las características importantes de un nuevo material genético está considerado en su caracterización el hábito de crecimiento, sin embargo, con respecto a los resultados obtenidos se observó una gran diferencia en el desarrollo vegetativo de la planta, lo anterior se le atribuye principalmente a que se manejaron materiales de hábitos de crecimiento y constitución genética diferentes, tal es el caso de: Indeterminado, Semi-Indeterminado (Sanchez., 2017) y Determinado. Con base en los resultados y análisis estadístico, en esta característica se observa que existe una gran variación, dado que, los materiales fueron de diferente grado en cuanto a su formación (Figura 5) además, algunos de estos materiales están en proceso de formación mientras que otros ya cuentan con su registro correspondiente y su estabilidad de acuerdo a las características en los hábitos antes citados, los resultados anteriores coinciden con lo reportado por (Estrada., 2017) donde demostró que un mayor vigor manejadas bajo agricultura protegida, fue para el Híbrido Caimán F1® seguido por las Líneas TSAN-SI-SV7-3-1-SI y TSAN-10003SVI y TSAN-10001SV respectivamente.

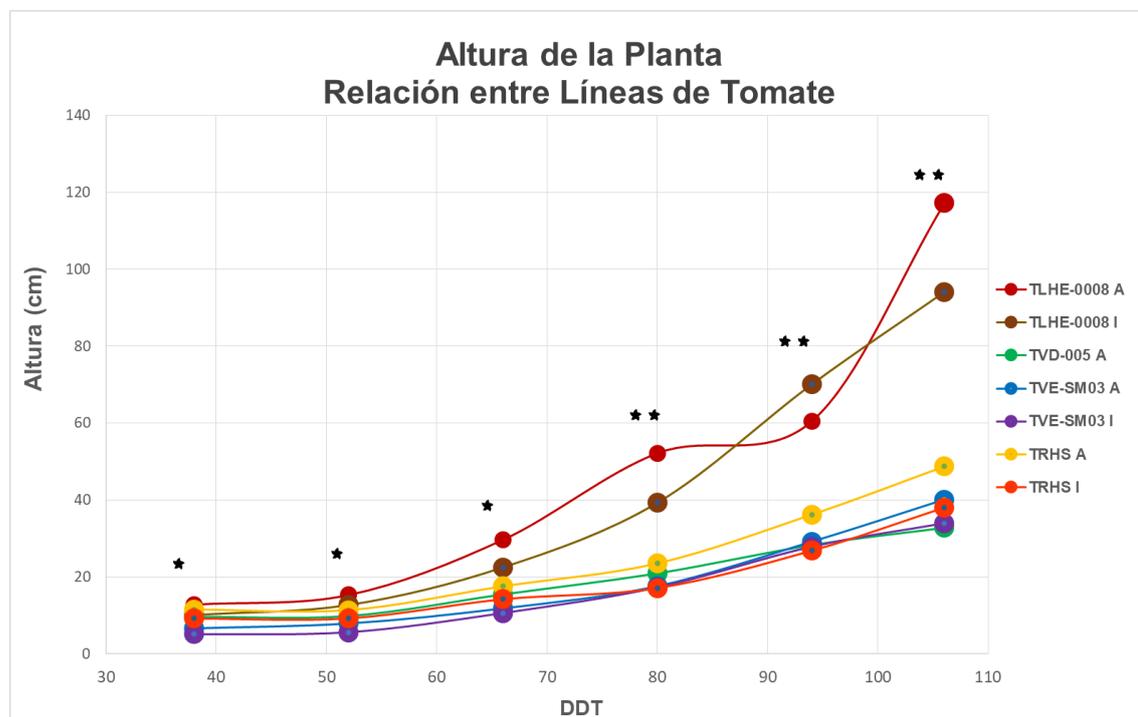


Figura 5. Altura de las plantas de Tomate y su relación entre materiales vegetativos, de acuerdo al efecto de FOLR_{III}. indicando la clasificación de medias con probabilidad significativa (*) y probabilidad altamente significativa.

4.2 Diámetro de Tallo

En el análisis de varianza para la variable diámetro de tallo considerando 6 lecturas que correspondían a diferentes fechas y para lo cual fueron promediados para su análisis fue afectado significativamente por la Inoculación de FOLR_{III}, en donde se encontraron diferencias significativas a la probabilidad de $p \leq 0.05$ para esta característica en particular. Una vez obtenidos los niveles de significancia para esta variable a través de la prueba de comparación de medias con Tukey, al final del experimento se encontró que el valor más alto para grosor de tallo fue para línea TLHE-008 I con 7.66 mm y para TLHE-0008A con 7.77 mm, seguido por TVE-SM03 I Sofimely® con 6.13 mm y para TVE-SM03 A Sofimely® con 5.80 mm, seguidos por el testigo absoluto TVD-005 A con 4.14 mm respectivamente (Figura 6).

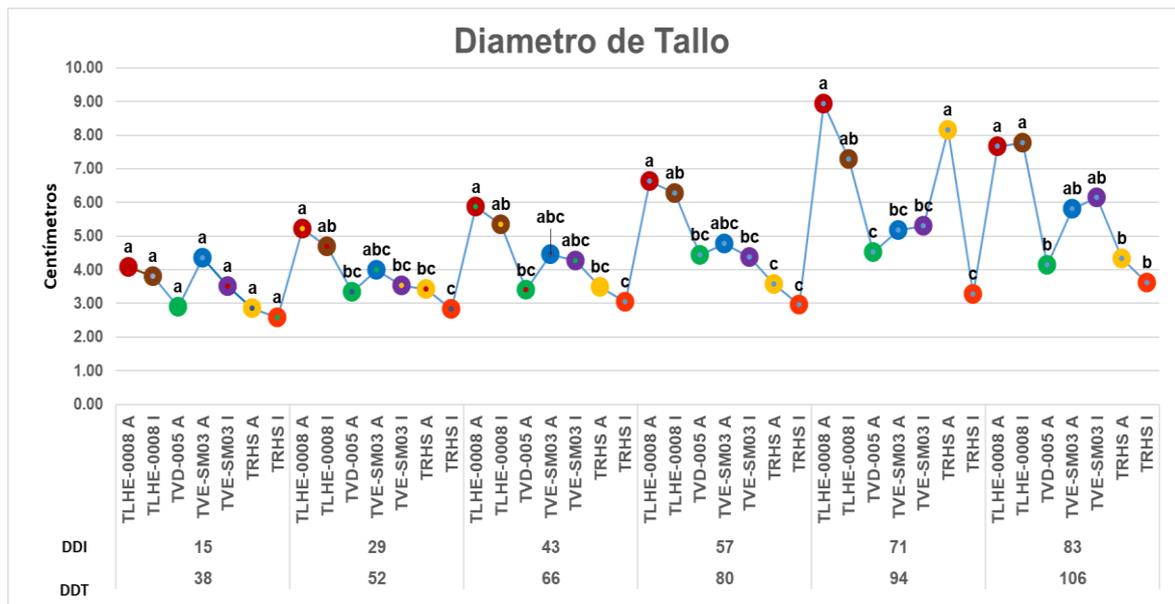


Figura 6. Diámetro del Tallo según su comportamiento de acuerdo a los Días Después del Trasplante (DDT) y a los Días Después de la Inoculación (DDI), teniendo mayor significancia los valores > al 95%.

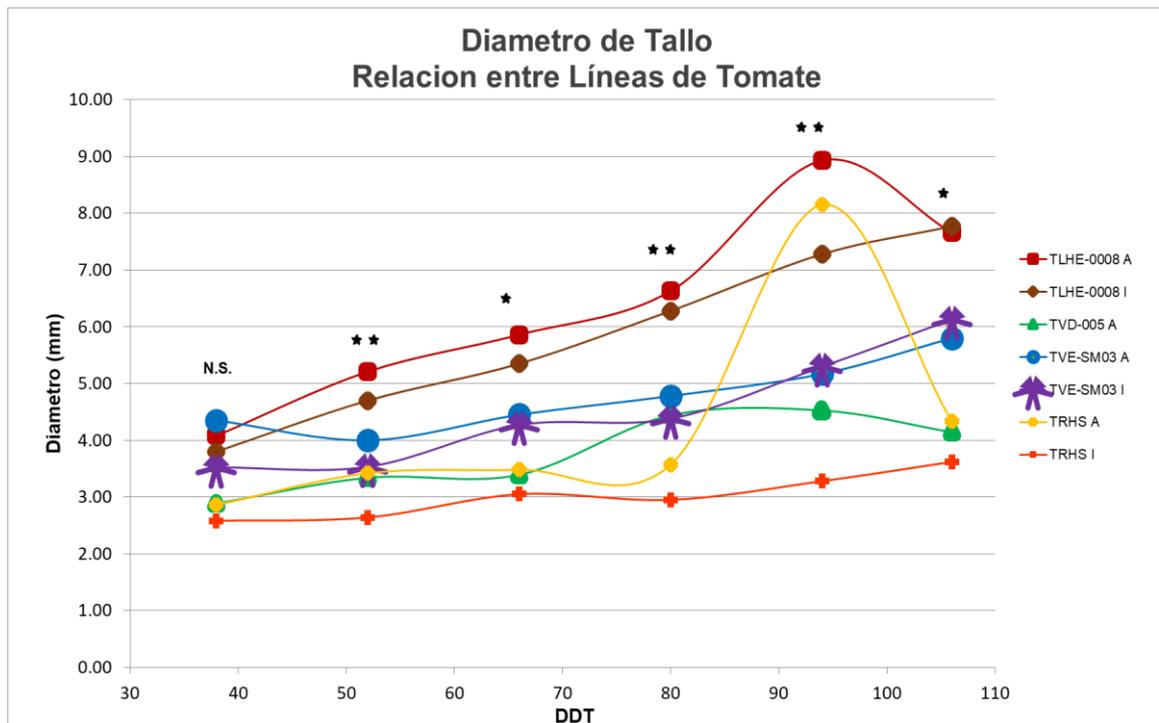


Figura 7. Diámetro de tallo de las plantas de Tomate y su relación entre materiales vegetativos, de acuerdo al efecto de FOLR_{III}. donde: estadísticamente no hay diferencia significativa (N.S.), probabilidad significativa (*) y probabilidad altamente significativa (**)

En la producción de tomate y sobre todo intensiva y/o extensiva es muy importante considerar la característica de grosor de tallo, puesto que es un parámetro que se va monitoreando para ver el comportamiento tanto del genotipo como del dosel de planta ya que es un proceso de interés para considerar la producción expresada en tamaño de fruto y calidad del mismo, aunque también se consideran otras características como manejo de la poda a uno o dos tallos, nutrición y el desarrollo expresado intraplanta. Por lo anterior, el desarrollo que se observó en los diferentes genotipos es muy variado en cuanto a su vigor debido a que cada uno de los materiales son de diferente hábito de crecimiento (Indeterminado, Semi-Indeterminado y Determinado) y además pudo tener influencia la temperatura promedio y nutrición a la que fueron sometidos estos materiales, lo que este resultado puede deberse a esta característica (Figura 7), sin embargo, si estos materiales fueran manejados con prácticas más eficientes pudiera expresarse esta característica de diferente manera si se establecieran en condiciones diversas en agricultura protegida y/o cielo abierto. Este resultado coincide con lo realizado por (García, 2018) donde

encontró que el valor más alto para grosor de tallo se obtuvo para el híbrido experimental TSAN-04-S1-SV-7-3-1-SI que superó a un híbrido comercial Caimán®.

4.3 Longitud de Raíz Horizontal

La longitud de la raíz horizontal principal no fue afectada significativamente ya que, con base en los resultados obtenidos una vez realizado el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $p \leq 0.05\%$ (Figura 8).

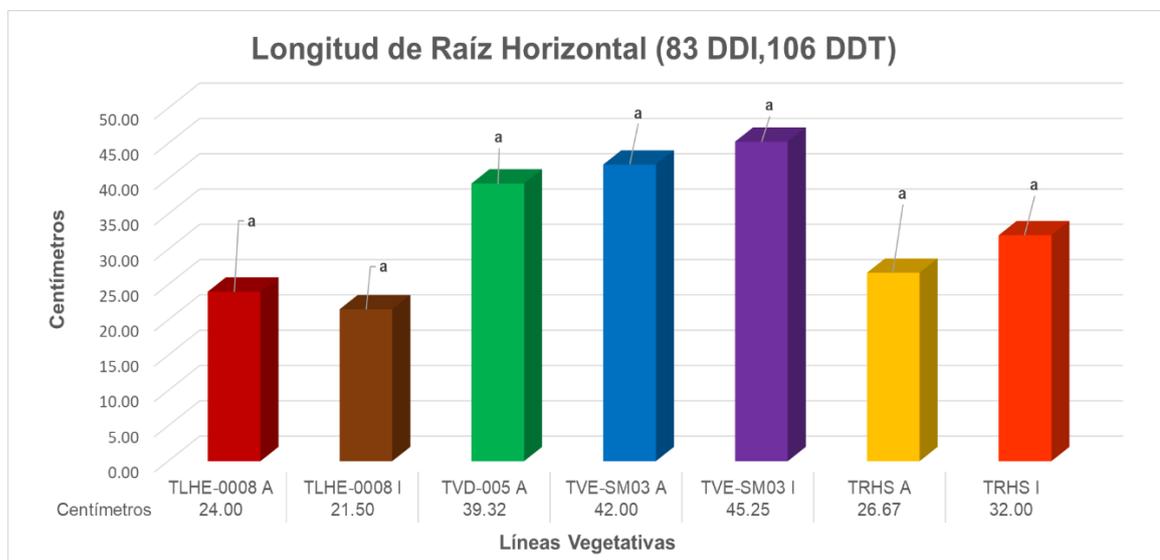


Figura 8. Comportamiento de la raíz principal de las plantas de Tomate al final del experimento.

La longitud de raíz principal, así como las raíces secundarias y adventicias juegan un papel muy importante para el comportamiento y estabilidad de un material genético, ya que el desarrollo y profundidad de esta característica son factores de la planta que garantizan la absorción de nutrientes y agua para generar el desarrollo vegetativo-reproductivo independientemente de la modalidad en que se maneje, sin embargo, cuando se trata de materiales de diferentes hábitos de crecimiento existe la probabilidad de que su demanda para lo antes mencionado se manifieste a través de este carácter. Por lo anterior se puede observar que la Línea TVE-SM03 I SofiMely®, incrementó su longitud en

raíz al final del experimento, resultado que concuerda con (Sánchez, 2017) en su registro de ficha técnica de este material. De acuerdo a los resultados, esta característica fue presentada con 45.25 cm de longitud de raíz horizontal, seguido por TVE-SM03 A SofiMely® con 42 cm de longitud. Representándose la menor longitud para la Línea TLHE-0008 I que mostró una longitud menor que el resto de los tratamientos.

4.4 Longitud de Raíz Vertical

La longitud vertical de la raíz principal no fue afectada de manera significativa por FOLR_{III} ya que el efecto de los tratamientos estadísticamente fue el mismo en todas las plantas (Figura 9). Sin embargo, se puede observar que el testigo TRHS A muestra la longitud en raíz más baja que el resto de los tratamientos al final del experimento con 19.33 cm, mientras que la línea TLHE-0008 A se mantiene por encima con 36.4 cm, seguido por TVE-SM03 A y TVE-SM03 I con 32.0 y 30.50 cm respectivamente.

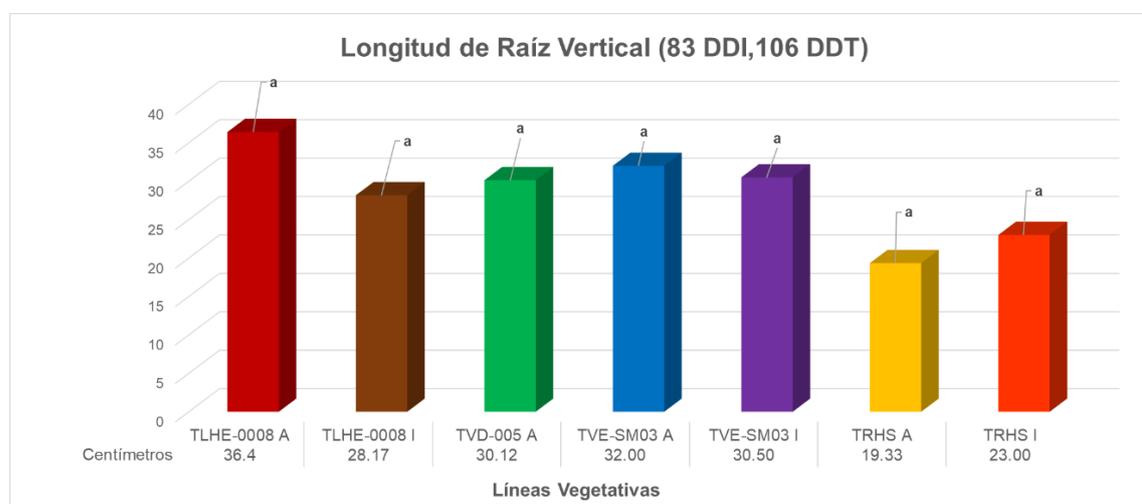


Figura 9. Comportamiento de la raíz principal de las plantas de Tomate al final del experimento, de acuerdo a los 83 Días Después del Trasplante (DDT) y a los 106 Días Después de la Inoculación (DDI).

4.5 Severidad

La severidad juega un papel de sumo interés en un programa de mejoramiento genético, por lo que en los resultados obtenidos para este carácter en donde fue afectado de manera altamente significativa por la Inoculación de FOLR_{III}, para

algunos materiales evaluados. La prueba de comparación de medias con el método de Tukey con una significancia de $p \leq 0.05\%$ arrojaron resultados donde la mayoría de las plantas de la Línea TLHE-0008 I y TLHE-0008 A tuvieron un daño total al 100% , seguido por el testigo absoluto TVD-0005 con 67% de daño, los resultados demuestran el alto grado de Susceptibilidad de estos materiales mientras que el resto de las Líneas mantuvieron un comportamiento de daño estadísticamente bajo, sin embargo, la Línea TVE-SM03 A SofiMely® y TVE-SM03 I SofiMely® muestra un porcentaje relativamente más bajo que los testigos con 27% de daño, lo que indica mayor resistencia al ataque por FOLR_{III}, esto demuestra que estos materiales presentan un grado de resistencia en alta significancia (Figura 10).

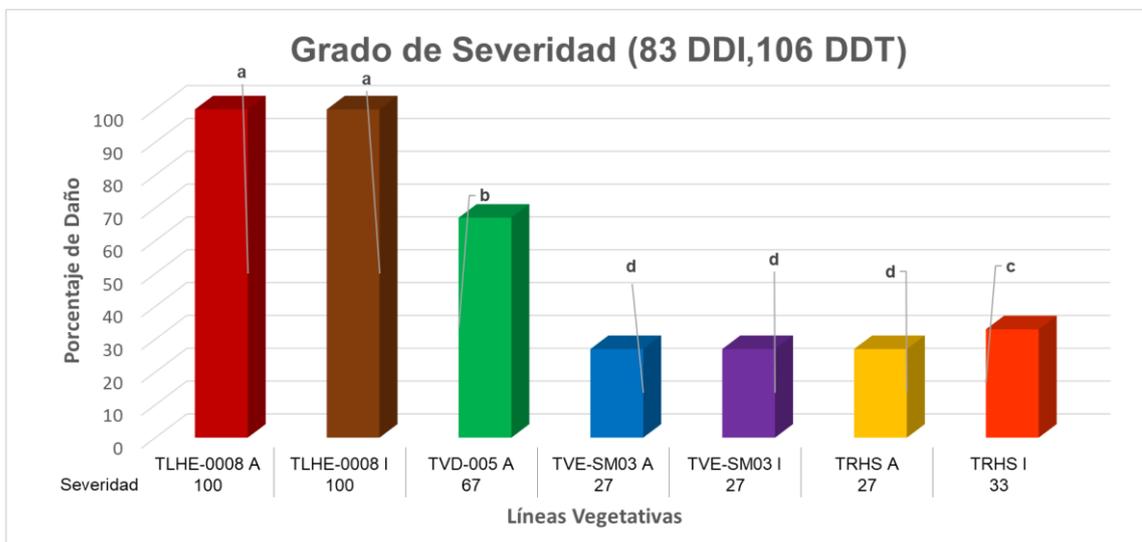


Figura 10. Porcentaje de daño en las plantas de Tomate al final del experimento, con el método de Tukey ($p=0.05$).

Estos resultados coinciden con lo encontrado por (Rodriguez, 2018) donde reporta que la variedad TVE-SM03 SofiMely® tiene resistencia sin importar los métodos de inoculación para que presentara el daño correspondiente, aun así, su desarrollo vegetativo fue bastante favorable, expresándose un desarrollo normal de la planta.

4.6 Análisis de correlación para algunos caracteres de interés

4.6.1 Severidad Vs. Altura de Planta

En el análisis de correlación para algunas características, es muy importante el mantener respuesta cuando se considera la resistencia evaluada para algunas Líneas como en este caso. En donde la correlación que existe en la característica Severidad Vs. Altura de Planta es de interés para el objetivo que se persigue dentro de estos trabajos de investigación, teniendo un coeficiente de variación (CV) de 2.84 para severidad y CV de 25.86 para altura de planta, donde se encontró una relación positiva de $R^2 = 0.9422$ para este carácter (Figura 11).

Como era de esperarse los materiales TVE-SM03 A SofiMely®, TVE-SM03 I SofiMely®, TRHS A y TRHS I presentaron menos daño, indicando resistencia al patógeno en 27 %. Lo anterior causó que la planta mostrara menor altura corroborándose con el material testigo TVD-0005 A, pero este presentó un daño 70 %, sin embargo, los materiales TLHE-0008 I y TLHE-0008 A fueron menos resistentes lo que significa que el patógeno causó un daño (100 %) sin afectar la altura de la planta.

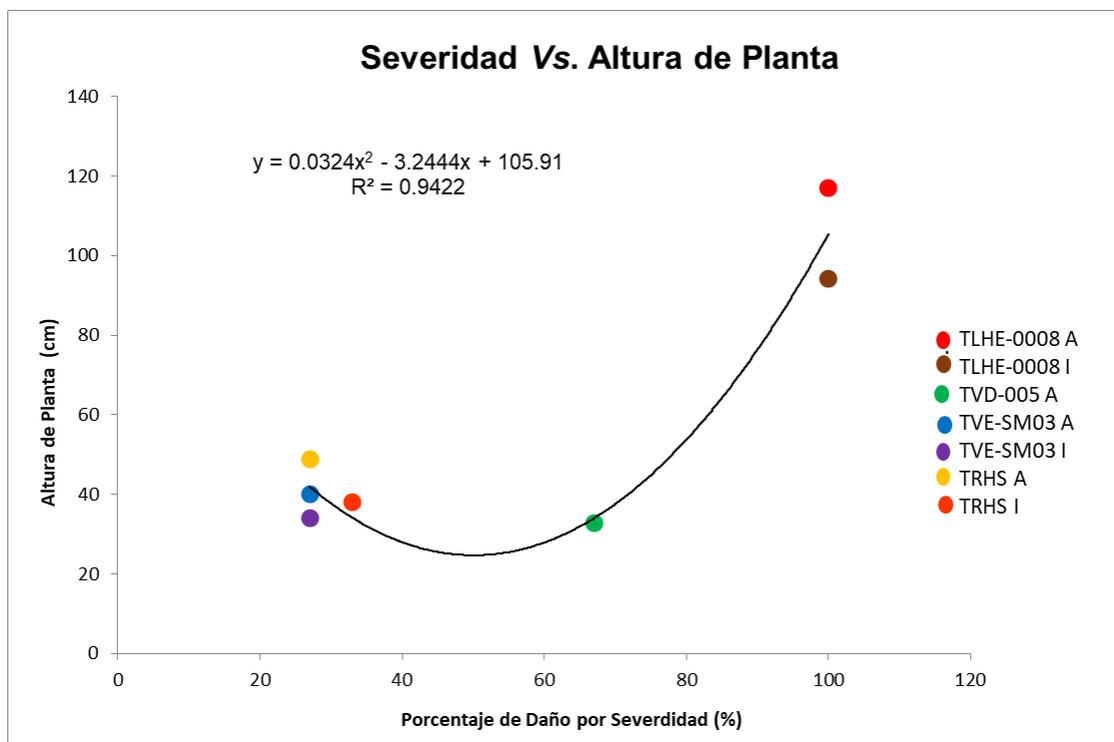


Figura 11. Altura de planta de siete tratamientos con diferentes porcentajes de severidad.

4.6.2 Altura de Planta Vs. Diámetro de Tallo

La interacción de los factores altura de planta Vs. diámetro de tallo se encontró una relación positiva presentando con un CV de 25.86 para altura de planta, considerando que pueden intervenir algunos factores importantes para que se manifieste esta característica, sin embargo, para diámetro de tallo con un CV de 17.19 dando como resultado una diferencia significativa predominando el vector de inoculación Vs. no inoculación y el propio material genético evaluado. Donde se determinó un coeficiente de determinación de $R^2= 0.8777$ lo que manifiesta que este carácter tiene una fuerte influencia en la tolerancia del material genético a FOLR_{III} (Figura 12).

Se ha encontrado una fuerte relación positiva del diámetro medio y altura de planta, de forma que los diámetros de los materiales como el caso del Híbrido TRHS I, TVE-SM03 A SofiMely®, TVE-SM03 I SofiMely®, TRHS A y TVD-0005 A mostraron altura similar en la correlación respectiva, lo que significa que el patógeno presento el mismo efecto para los materiales mencionados. Sin embargo, los materiales TLHE-0008 A y TLHE-0008 I el diámetro de tallo presento mayor altura, lo que significa que la resistencia genética se aporta del propio material genético Indeterminado resistente mas no del fenotipo de la planta (Figura 4.14). Para el caso de SofiMely® que manifiesta diámetro Vs. altura de planta, es un material que por su característica de hábito Semi-Indeterminado que lo diferencia del resto de los materiales evaluados. Esto coincide con lo mencionado por (Sánchez, 2017).

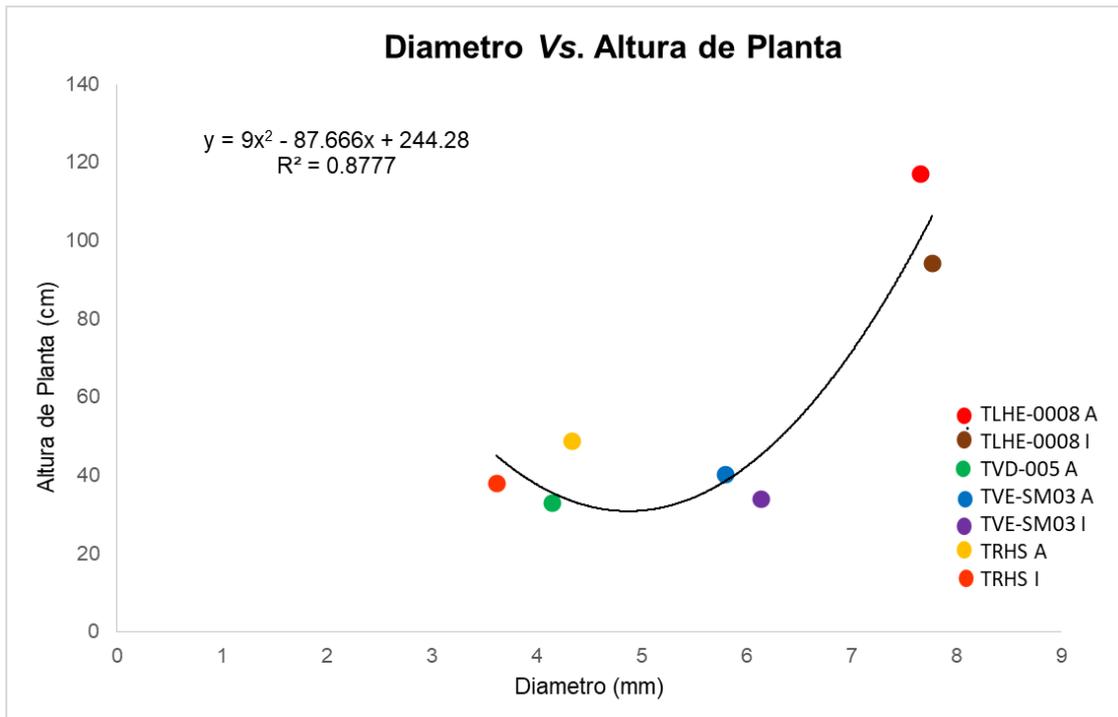


Figura 12. Altura de planta de siete tratamientos con diferentes diámetros.

4.6.3 Longitud de Raíz Horizontal Vs. Altura de Planta

Se ha encontrado una fuerte relación negativa de la longitud de raíz horizontal y altura de planta donde el coeficiente de determinación es de $R^2 = 0.8777$ para este carácter, de manera que los materiales TLHE-0008 A y TLHE-0008 I mostraron un sistema radicular deficiente de 21 y 24.5 cm respectivamente. No obstante son los tratamientos que mayor altura presentan, esto podría deberse a que este material tanto inoculado como no inoculado sobrevive solo con los nutrientes que hay en el suelo, podría generarse un desarrollo al suministrarle la nutrición durante el manejo y los requerimientos necesarios es probable aumentará su sistema radicular, además de que el hongo podría manifestar selectividad hacia los materiales para causar el daño, otro factor podría atribuírsele a que la cama donde se establecieron estos tratamientos se trabajó completamente libre, mientras que en las camas donde se estableció el resto de los tratamientos ya se habían realizado trabajos con inoculación por lo que podría estar la presencia de hongo por cultivos anteriores, lo que podría significar que el daño comenzó en etapas fenológicas avanzadas, indicando que al entrar a la etapa reproductiva, las plantas comenzaron a presentar con daño y a morir.

En cuanto a los tratamientos restantes mantuvieron un comportamiento muy similar, donde la altura de planta fue menor a los 45 cm que por las características de su hábito y con un potente sistema radicular, esto demuestra que el vector de inoculación Vs. tratamientos no inoculados permitieron obtener los nutrientes sin necesidad de alongarse (Figura 13), tal es el caso de SofiMely®, presenta un sistema radicular fuerte y tiende a menos desarrollar, mantiene una raíz desarrollada con un porte de planta bajo, esto hace que absorba los nutrientes más rápidamente.

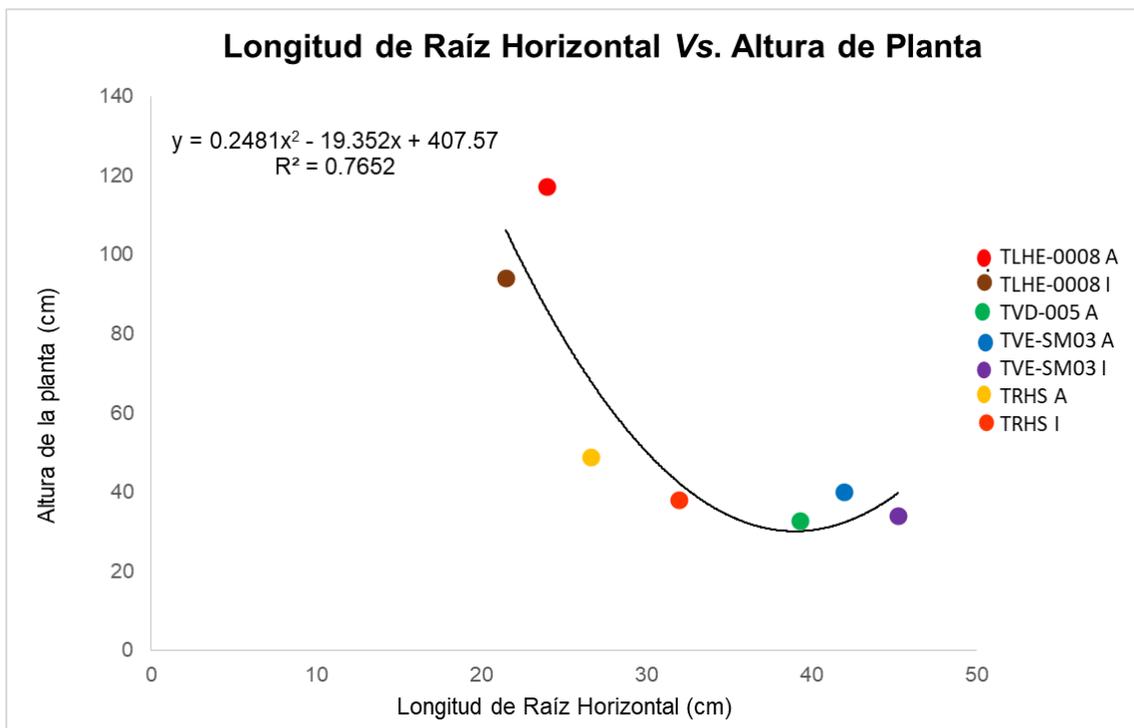


Figura 13. Altura de planta de siete tratamientos con diferentes longitudes de raíz horizontal.

V. CONCLUSIONES

- Se recomienda realizar los estudios pertinentes para SofiMely® como un posible patrón portainjerto para variedades susceptibles y/o tolerantes debido a su sistema radicular.
- Los materiales genéticos THLE-0008 y TRHS pudieran ser de utilidad para producción a cielo abierto e invernadero.
- Estos materiales ofrecen una posible alternativa por el posible grado de tolerancia ante **FOLR_{III}**.
- Los costos para su control serán reducidos al no tener que utilizar productos químicos disminuyendo su uso y favoreciendo al medio ambiente, además del ahorro por parte del productor cuando decide el uso de injertos.
- El material que manifestó mayor Severidad fue para THLE-0008 tanto inoculado como no inoculado, sin embargo, presentó la mayor altura de planta, mayor diámetro de tallo y escaso desarrollo radicular.
- La tolerancia es posible que se manifieste ya que aún se encuentra en proceso de formación, lo que lleva a seguir investigando mediante programas de mejoramiento genético para este carácter.
- Se entiende que existió una fuerte relación positiva para algunas variables evaluadas, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación.

VI. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. (2005). Fitopatología. UTEHA.
- Ascencio-Álvarez, López Benítez, A., Borrego Escalante, F., Rodríguez Hernández, S. A., Flores Olivas, A., Jiménez Días, F., & Gámez Vázquez, A. J. (2008). Marchitez Vascular del Tomate: I. Presencia de Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en Culiacán, Sinaloa, México. Revista mexicana de fitopatología., 114-120 p.
- Bawa, I. (2016). Management strategies of Fusarium wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.): A review. International Journal of Advanced Academic Research | Sciences, Technology & Engineering, 55 p.
- Biju, V. C., Fokkens, L., Houterman, P. M., Rep, M., & Cornelissen, B. (2017). Multiple evolutionary trajectories have led to the emergence of races in *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Environ. Microbiol., 83 p.
- Cardona Piedrahíta, L., & Castaño Zapata, J. (2019). Comparación de métodos de inoculación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc) Snyder & Hansen, causante del marchitamiento vascular del tomate. Revista Académica Colombiana.
- Catanzariti, A., Lim, G., & Jones, D. (2015). The tomato I-3 gene: a novel gene for resistance to *Fusarium* wilt disease. New Phytologist., 106 - 118 p.
- Cha, J., Han, S., Hong, H., Cho, H., Kim, D., Kwon, S., . . . Kwak, Y. (2016). Microbial and biochemical basis of a *Fusarium* wilt-suppressive soil. The ISME Journal Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology, 119-129.
- Debbi, A., Boureghda, H., Monte, E., & Hermosa, R. (2018). Distribution and Genetic Variability of *Fusarium oxysporum* Associated with Tomato Diseases in Algeria and a Biocontrol Strategy with Indigenous *Trichoderma* spp. Frontiers in Microbiology, 282.
- Dotz Robayo, M., & Cabezas Gutiérrez, M. (2014). Mecanismos de Resistencia Sistémica en Plantas. Acta-Iguazu.
- Estrada., D. I. (2017). Estudio de la Estabilidad en Líneas Avanzadas en Proceso de Registro de Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) Tipo Beef Extrafirmes Bajo Agricultura Protegida en la Reguón del Altiplano Potosino. Tesis.

- FAOSTAT., F. a. (2017). Statistical Databases. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fernández-Valiela, M. V. (2001). Introducción a la Fitopatología. Buenos Aires, Argentina: INTA.
- Garcés de Granada, E., Orozco de Amezquita, M. C., Bautista Mendoza, G. R., & Valencia Zapata, H. A. (2001). *Fusarium oxysporum* EL HONGO QUE NOS FALTA CONOCER. bdigital portal de revistas unal. Universidad Nacional de Colombia, 7-25 p.
- García, M. G. (2018). Identificación de algunos caracteres de importancia en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para contribuir en la formación de nuevos cultivares. Tesis Licenciatura.
- Gómez, A. M. (2015). Estudio de la interacción molecular huésped-patógeno utilizando el modelo insecto-hongo *Galleria mellonella-Fusarium oxysporum*, mediante la caracterización de genes, proteínas y péptidos de defensa provenientes de la respuesta humoral innata. Medellín: Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Tesis.
- Haifa Chemicals. (2014). Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero. Miami, Estados Unidos de América.
- Khan, N., Maymon, M., & Hirsch, A. M. (2017). Combating *Fusarium* Infection Using Bacillus-Based Antimicrobials. *Microorg.*, 75 p.
- López Marín., I. A. (2016). Manual Técnico del Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) . San José, Costa Rica: INTA Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Martínez, R. H. (2014). Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en predios tomateros en San Luis Potosí*. *SciELO*.
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes Díaz, L., Ail Catzim, C. E., Hernández Montiel, L. G., Del Toro Sánchez, C., & Rueda Puente, E. O. (2016). Hongos Fitopatógenos Asociados Al Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) En La Zona Árida Del Noroeste De México: La Importancia De Su Diagnóstico. *European Scientific Journal*.
- Ortiz & Hoyos., E. L. (2016). Standard methods for inoculations of *F. oxysporum* and *F. solani* in Passiflora. *African J. Agricultural Res. (Nigeria)*., 17 p.

- Petit-Houdenot, Y., & Fudai, I. (2017). Complex Interactions between Fungal Avirulence Genes and Their Corresponding Plant Resistance Genes and Consequences for Disease Resistance Management. *Planta. Sci.*, 1072.
- Ravindra, S., Biswas, S., Nagar, D., Singh, J., Morajdhwaj, S., & Yogesh, M. K. (2015). Sustainable Integrated Approach for Management of Fusarium Wilt of Tomato Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Synder and Hansen. *AgEcon*, 138 - 147 p.
- Rodriguez, L. G. (2018). Respuesta a la Resistencia Genética en Líneas Extra Firmes de Larga Vida de Anaquel de Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) Tipo Beef Entre Diferentes Técnicas de Inoculación y Campos de Acción de *Fusarium Oxisporum* (R3) . Saltillo, Coahuila: UAAAN.
- Rubio Cobarrubias, O. A., Cadena Hinojosa, M. A., & Flores López, R. (2016). Comparación de la resistencia horizontal y vertical contra el tizón tardío de la papa en Toluca. *Scielo, Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 755-766 p.
- Sanabria, L. Z. (2001). Características culturales y patogénico en aislamientos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* procedentes de plantaciones comerciales de tomate. *Agronomía Tropical (Venezuela)*.
- Sánchez, A. S. (2017). Registro de la variedad SofiMely Extrafirmes de larga vida de anaquel de tomate *Solanum lycopersicum* L. tipo Beef. Saltillo, Coahuila: UAAAN.
- Sanchez, L. Á. (2019). Curso de Mejoramiento de Cultivos Hortícolas. UAAAN.
- Sanchez., L. A. (2017). Registro para patentes ante el SNICS. Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. SAGARPA, SNICS.
- Sánchez., L. A. (2018). Curso de Producción de Hortalizas de Clima Cálido. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Sánchez-Pena, P., Cauich Pech, S., Nunez Farban, J., Nunez Cebreros, R., Hernández Verdugo, S., & Parra Terraza, S. (2010). Incidence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Races in Tomato in Sinaloa, Mexico. *Plant Dis.*
- SIAP., S. d. (2018). Reporte del Tomate.
- Sirinivas, C., Devi, N., Narasimbha Murthy, K., Chakrabhavi Dhananjaya, M., Lakshmeesha, T., Pratap Singh, B., . . . Nayaka, S. C. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of

tomato: Biology to diversity– A review. ScienceDirect. Saudi Journal of Biological Sciences., 1315-1324 p.

UPOV. (2001). Directrices para examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Suiza: Ginebra.

Villaverde, J. (2018). Todo sobre Fusarium. Plantamus.

Zhu, S., Duwal, A., Su, Q., Vossen, J., Visser, R., & Jacobsen, E. (2013). Vector integration in triple R gene transformants and the clustered inheritance of resistance against potato late blight. Transgenic Res., 315-325.

VII. APÉNDICE

Cuadro 1. Análisis de Varianza ANVA para variable Altura de Planta en fecha del 25/01/2019.

```
Response: Altura de la Planta

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  128.092   21.349   5.0162  0.006119 **
Residuals   14   59.583    4.256

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 22.23514
```

Cuadro 2. Análisis de Varianza ANVA para variable Altura de Planta en fecha del 08/02/2019.

```
Response: Altura de Planta

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  182.178   30.3631  5.1221  0.005596 **
Residuals   14   82.989    5.9278

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 23.67628
```

Cuadro 3. Análisis de Varianza ANVA para variable Altura de Planta en fecha del 22/02/1019.

```
Response: Altura de Planta

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  801.52   133.587  4.605  0.008746 **
Residuals   14  406.12    29.009

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 30.95901
```

Cuadro 4. Análisis de Varianza ANVA para variable Altura de Planta en fecha del 08/03/2019.

```

Response: Altura de Planta

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6    3341    556.84   12.844  5.476e-05 ***
Residuals   14     607     43.35
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 24.52929

```

Cuadro 5. Análisis de Varianza ANVA para variable Altura de Planta en fecha del 22/03/2019.

```

Response: Altura de Planta

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  9240.1  1540.01   7.7722  0.0008029 ***
Residuals   14  2774.0   198.14
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 32.96645

```

Cuadro 6. Análisis de Varianza ANVA para variable Altura de Planta en fecha del 03/04/2019.

```

Response: Altura de Planta

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  20431.4  3405.2   19.074  5.385e-06 ***
Residuals   14  2499.4   178.5
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 23.11261

```

Cuadro 7. Análisis de Varianza ANVA para variable Diámetro de Tallo en fecha del 25/01/2019.

```

Response: Diamtreo de Tallo

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  8.2459  1.37432   3.1291  0.03684 *
Residuals   14  6.1489  0.43921
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 19.26935

```

Cuadro 8. Análisis de Varianza ANVA para variable Diámetro de Tallo en fecha del 08/02/2019.

```

Response: Diámetro de Tallo

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  12.4507  2.07511  7.6455  0.0008714 ***
Residuals   14   3.7998  0.27141
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 13.4851

```

Cuadro 9. Análisis de Varianza ANVA para variable Diámetro de Tallo en fecha del 22/02/2019.

```

Response: Diámetro de Tallo

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  19.8714  3.3119  6.2647  0.002273 **
Residuals   14   7.4013  0.5287
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 17.04501

```

Cuadro 10. Análisis de Varianza ANVA para variable Diámetro de Tallo en fecha del 08/03/2019.

```

Response: Diámetro de Tallo

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  32.297  5.3828  9.0722  0.0003642 ***
Residuals   14   8.307  0.5933
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 16.3211

```

Cuadro 11. Análisis de Varianza ANVA para variable Diámetro de Tallo en fecha del 22/03/2019.

```

Response: Diámetro de Tallo

          Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  76.666  12.7777  17.737  8.339e-06 ***
Residuals   14  10.085  0.7204
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 13.93307

```

Cuadro 12. Análisis de Varianza ANVA para variable Diámetro de Tallo en fecha del 03/04/2019.

```

Response: Diámetro de Tallo

          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  50.720   8.4533   6.1264 0.00252 **
Residuals   14  19.317   1.3798
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 20.84215

```

Cuadro 13. Análisis de Varianza ANVA para variable Longitud de Raíz Horizontal evaluada al final del experimento.

```

Response: Longitud de Raíz Horizontal

          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
TRATAMIENTO  6 1575.9   262.66   1.428  0.272
Residuals   14 2575.1   183.93
cv
[1] 41.14517

```

Cuadro 14. Análisis de Varianza ANVA para variable Longitud de Raíz Vertical evaluada al final del experimento.

```

Response: Longitud de Raíz Vertical

          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
TRATAMIENTO  6  586.99   97.831   1.5144 0.2441
Residuals   14  904.43   64.602
cv
[1] 28.19964

```

Cuadro 15. Análisis de Varianza ANVA para variable Severidad de Daño evaluada al final del experimento.

```

Response: Porcentaje de Severidad

          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
TRATAMIENTO  6 21083.1  3513.9  1466.2 < 2.2e-16 ***
Residuals   14   33.6    2.4
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv
[1] 2.844262

```

Cuadro 15. Coeficientes de Variación (CV) de las diferentes variables respecto a las fechas de evaluación. Probabilidad no significativa (*), probabilidad significativa (**), probabilidad altamente significativa (***)

Fecha	Altura	Diámetro	Long. Hor. Raíz	Long. Vert. Raíz	Severidad
25/1/2019	22.23 **	19.27 *	-	-	-
8/2/2019	23.67 **	13.48 ***	-	-	-
22/2/2019	30.95 **	17.04 **	-	-	-
8/3/2019	24.52 ***	16.32 ***	-	-	-
22/3/2019	32.96 ***	13.93 ***	-	-	-
3/4/2019	20.8 **	23.11 ***	41.14 *	28.19 *	2.84 ***
Promedio	25.86	17.19	41.14	28.19	2.84

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México