



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN
VEGETAL**

**EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE LÍNEAS ÉLITE DE
TRIGO (*Triticum aestivum* L.) A LA INFECCIÓN DE
*Fusarium spp.***

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

Ivón García García

Baio la supervisión de: Dr. Santos Gerardo Leyva Mir



APROBADA



CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, MAYO DE 2021

**EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE LÍNEAS ÉLITE DE TRIGO
(*Triticum aestivum*) A LA INFECCIÓN DE *Fusarium spp.***

Tesis realizada por Ivón García García bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

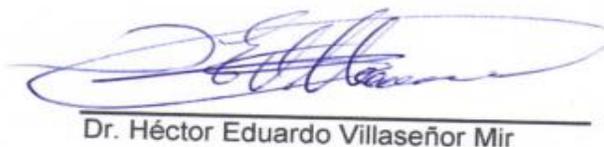
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

ASESOR:



Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir

ASESOR:



Dra. María Florencia Rodríguez García

ASESOR:



Dr. Mateo Vargas Hernández

CONTENIDO GENERAL

| | |
|--|------------|
| CONTENIDO GENERAL | iii |
| LISTA DE CUADROS | iv |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| DATOS BIOGRÁFICOS | vii |
| RESÚMEN GENERAL | 1 |
| GENERAL ABSTRACT | 2 |
| CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL | 3 |
| CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 2.1 Importancia mundial del trigo | 5 |
| 2.2 Importancia nacional del trigo | 5 |
| 2.3 Importancia del genero Fusarium | 6 |
| 2.4 Especies de Fusarium evaluadas | 7 |
| 2.5 Condiciones para que ocurra la enfermedad | 9 |
| 2.6 Ciclo de la enfermedad | 9 |
| 2.7 Tipos de resistencia | 10 |
| 2.8 El mejoramiento genético | 11 |
| 2.9 Literatura citada | 13 |
| 2.9 Literatura citada | 11 |
| CAPITULO III. EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE LÍNEAS ÉLITE DE TRIGO (<i>Triticum aestivum</i> L.) A LA INFECCIÓN DE <i>Fusarium</i> spp. | 16 |
| 3.1 Resumen | 16 |
| 3.2 Abstract | 16 |
| 3.3 INTRODUCCIÓN | 17 |
| 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| 3.4.1 Localización del experimento | 18 |
| 3.4.2 Material de estudio | 18 |
| 3.4.3 Especies de <i>Fusarium</i> evaluadas | 20 |

| | |
|--|----|
| 3.4.4 Desarrollo del experimento | 20 |
| 3.4.5 Diseño experimental | 21 |
| 3.4.6 Variables evaluadas | 21 |
| 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 23 |
| 3.6 CONCLUSIONES | 33 |
| 3.7 LITERATURA CITADA | 34 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Genotipos de trigos evaluados..... | 18 |
| Cuadro 2. Promedios individuales de peso fresco | 23 |
| Cuadro 3. Promedios individuales de peso seco..... | 26 |
| Cuadro 4. Promedios individuales de porcentaje de severidad..... | 30 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ciclo de la fusariosis de la espiga..... | 10 |
| Figura 2. Escala de daño por <i>Fusarium</i> spp..... | 22 |
| Figura 3. Respuesta de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de <i>Fusarium</i> , para la variable peso fresco..... | 24 |
| Figura 4. Respuesta de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de <i>Fusarium</i> , para la variable peso seco..... | 27 |
| Figura 5. Comportamiento de las variables peso fresco y peso seco de raíz..... | 29 |
| Figura 6. Porcentaje de severidad para los genotipos evaluados..... | 31 |

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por el financiamiento de mis estudios.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, al Departamento de Parasitología Agrícola y en especial al programa de Posgrado en Protección Vegetal, por darme la oportunidad de continuar con mi desarrollo en el ámbito académico.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)**, por todas las facilidades brindadas para la realización de la investigación.

Al **M.C ANTONIO SEGURA MIRANDA**, coordinador del programa de Posgrado en Protección Vegetal, por la disposición, compromiso y por las atenciones brindadas en esta etapa.

Al **Dr. SANTOS GERARDO LEYVA MIR**, por darme la posibilidad de realizar esta investigación por su apoyo, confianza, orientación y sus valiosos aportes.

Al **DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ**, por la disposición, sus valiosos aportes y por la asesoría y ayuda en la elaboración e interpretación de los análisis estadísticos.

Al **DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR**, por su apoyo en la realización del presente trabajo.

A la **DR. MARÍA FLORENCIA HERNÁNDEZ GARCÍA**, por su apoyo en la fase de invernadero, además de sus oportunas y apropiadas sugerencias.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Ivón García García

Fecha de nacimiento: 21 de Septiembre de 1991

Lugar de nacimiento: San Salvador Atenco, Estado de México.

Profesión: Ing. Agrónomo Especialista en Fitotecnia

Cedula Profesional: 09258704

Desarrollo académico

Nivel medio superior: Escuela Preparatoria Oficial Número 13.

Nivel superior: Egresada de la Universidad Autónoma Chapingo de la licenciatura, Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia.

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE LÍNEAS ÉLITE DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) A LA INFECCIÓN DE *Fusarium* spp.

El cultivo de trigo es afectado por diferentes microorganismos que disminuyen su rendimiento, de estos, los hongos del género *Fusarium* son causantes de una de las principales enfermedades conocida como fusariosis de la espiga, pero no es la única enfermedad que provocan, ya que son causantes de pudriciones de raíz, tallo y corona. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de treinta líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) en condiciones de invernadero a la infección de tres especies de *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*. Se estimó el peso en fresco y seco de las raíces de los genotipos inoculados con cada una de las especies de *Fusarium* y se evaluó cuál de las tres especies causó mayor severidad, en general para todas las variedades y en particular para variedades específicas. Los resultados fueron: para *F. boothii*, los genotipos que mostraron mayor peso en fresco de la raíz fueron línea 39, línea 38, línea 8 y línea 35, mientras que el genotipo con menor valor fue la línea 26; para *F. camptoceras*, los genotipos identificados con mayor peso en fresco fueron línea 7, línea 15 y línea 13; el genotipo que obtuvo un valor menor fue línea 34; finalmente para *F. graminearum*, los genotipos con valores altos fueron línea 12, línea 3, línea 9, línea 6, línea 1 y línea 2, y el genotipo con menor valor para peso en fresco fue la línea 28. Así mismo, *F. boothii* fue la especie que más afectó a los genotipos evaluados, *F. camptoceras* ocupó el segundo lugar, y *F. graminearum* a pesar de que seis de las líneas evaluadas obtuvieron los mejores promedios, dieciséis genotipos se vieron afectados, obteniendo valores por debajo de la media.

Palabras clave: *F. graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*, genotipos, especies.

Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ivón García García

Director: Dr. Santos Gerardo Leyva Mir.

GENERAL ABSTRACT

EVALUATION OF RESISTANCE OF ELITE LINES OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) TO THE INFECTION OF *Fusarium* spp.

Abstract

The wheat crop is affected by different microorganisms that decrease its yield, of these, the fungi of the genus *Fusarium* are the cause of one of the main diseases known as fusariosis of the spike, but it is not the only disease they cause, since they are causative of root, stem and crown rots. This research aimed to evaluate the behavior of thirty lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) under greenhouse conditions to the infection of three species of *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. camptoceras* and *F. boothii*. The fresh and dry weight of the roots of the genotypes inoculated with each of the *Fusarium* species was estimated and it was evaluated which of the three species caused the greatest severity, in general for all varieties and in particular for specific varieties. The results were: for *F. boothii*, the genotypes that showed the highest fresh weight of the root were line 39, line 38, line 8 and line 35, while the genotype with the lowest value was line 26; for *F. camptoceras*, the genotypes identified with the highest fresh weight were line 7, line 15 and line 13; the genotype that obtained a lower value was line 34; finally for *F. graminearum*, the genotypes with high values were line 12, line 3, line 9, line 6, line 1 and line 2, and the genotype with the lowest value for fresh weight was line 28. Likewise, *F. boothii* was the species that most affected the evaluated genotypes, *F. camptoceras* ranked second, and *F. graminearum* despite the fact that six of the evaluated lines obtained the best averages, sixteen genotypes were affected, obtaining values below the half.

Keywords: *F. graminearum*, *F. camptoceras* and *F. boothii*, genotypes, species.

Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ivón García García

Director: Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El trigo es una planta anual de crecimiento invierno primaveral, que debido a su gran diversidad genética, puede crecer y reproducir en ambientes muy diferentes entre sí. Este cultivo se extiende ampliamente en muchas partes del mundo (Iglesias, 1996). Se desarrolla con mayor éxito entre los 30° y 60° de latitud norte y entre los 27° y 40° de latitud sur, aunque puede ser cultivado fuera de estos límites, desde el círculo polar ártico hasta zonas elevadas cercanas al ecuador (Márquez *et al.*, 2014).

Según datos de la Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo (CANIMOLT), El trigo es el segundo cereal en importancia en la alimentación de los mexicanos, que consumen en promedio 57.4 kg per cápita al año. Además representa el 40% del total del gasto de los hogares mexicanos en cereales y proporciona 10% del total de calorías de la dieta.

La producción de trigo grano se divide en cristalino, utilizado principalmente en la elaboración de pastas y harinero, empleado primordialmente en la producción de panes, productos de repostería y harinas. El trigo cristalino representa 59.79% de la producción de trigo, con lo que se satisface el consumo nacional y también posiciona a México como el tercer exportador de este producto a nivel mundial. En contraste, la producción de trigo harinero, que se encuentra localizada en áreas más dispersas de México, es insuficiente para abastecer la demanda nacional, por lo que existe una dependencia de las importaciones, equivalentes a 74.93% del consumo nacional (SAGARPA, 2017).

A nivel mundial el cultivo de trigo es afectado por diferentes microorganismos que disminuyen su rendimiento, de estos los hongos del género *Puccinia* causantes de las diferentes royas se consideran los más dañinos; sin embargo, para patógenos del suelo en este cereal se ha identificado otro grupo de hongos causantes de pudriciones de raíz tallo y corona (PCR) pertenecientes a un complejo del género *Fusarium* (Mariscal *et al.*, 2018).

Las pudriciones de raíz, corona y tallo en trigo se consideran una amenaza seria para este cereal en diversas partes del mundo ya que las pérdidas que ocasionan en el rendimiento y calidad de grano llegan hasta 89% y pueden ser comparables con las causadas por las royas, además de que los hongos asociados a estas pudriciones sintetizan micotoxinas que pueden contaminar productos alimenticios. Esta problemática en México ha sido poco estudiada; sin embargo, en los últimos años, estas enfermedades en trigos de riego y temporal han sido más incidentes lo que está causando preocupación en los productores de este cereal en el país (Suaste *et al.*, 2020).

Ante este panorama es importante conocer las características de resistencia que presentan los materiales generados a partir del mejoramiento genético por las instituciones de investigación. Se planteó como objetivo del presente estudio evaluar la respuesta de treinta líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) en condiciones de invernadero a la infección de tres especies de *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*, además determinar la especie de mayor patogenicidad asimismo las líneas que presentaron mayor resistencia.

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia mundial del trigo

En las regiones en desarrollo, casi 60% del uso total de cereales se destinó a la alimentación humana para el año 2015, mientras que en los países desarrollados estos representaron solamente el 10% del consumo. El trigo es el cereal más utilizado en la alimentación humana, debido al alto valor energético y a un mayor contenido de proteínas en comparación con el maíz y el arroz. Este cereal se cosecha en prácticamente todo el mundo, el comercio y la superficie cultivada de trigo es la más grande entre los cultivos agrícolas (CANIMOLT, 2015).

Hasta 2005, los precios de los granos habían permanecido bajos debido a una sobreoferta inducida por los abultados subsidios a los productores de los países desarrollados. Esta situación cambió a partir de 2006, cuando se tuvo un incremento en los precios del maíz que repercutió también en la cotización del trigo. Además, varios factores ambientales redujeron la producción mundial de este cereal (Márquez *et al.*, 2014). Se prevé que su producción supere los 787 millones de toneladas, 63 millones más que en el año 2015, destacando los incrementos por parte de la india (13 MT), La Federación Rusa (10 MT), la Unión Europea (8 MT), China (5MT) y Paquistán (4 MT) (CANIMOLT, 2015).

Los principales países productores de trigo participaron en conjunto con un 67.7 por ciento de la producción mundial: Unión Europea 19.8% (151.3 MT), China 17.6% (134.3 MT), India 12.9% (98.5 MT), Rusia 11.2% (85.2 MT) y Estados Unidos 6.2% (47.4 MT), para el ciclo 2017/2018 (FIRA, 2019).

2.2 Importancia nacional del trigo

En México, la cantidad demandada de cereales ha crecido más que la cantidad producida. Un aumento en las importaciones de granos es el resultado. El aumento de la población y su cambio en hábitos de consumo incrementarán más la cantidad demandada de cereales. Hasta ahora, la mayor parte del trigo y de otros granos se

ha producido por grandes productores en las áreas de riego. Las posibilidades de aumentos en las cosechas por este grupo son escasas (Márquez *et al.*, 2014).

En el año agrícola 2017, 86.8 por ciento de la producción nacional de trigo se centró en cinco entidades: Sonora 51.1% (1.79 MT), Baja California 11.3% (.40MT), Guanajuato 10.1% (.36MT), Sinaloa 7.8% (.27MT) y Michoacán 13.2% (.23MT). En las tres entidades del noreste el trigo se produce únicamente en el ciclo Otoño-Invierno. En Sonora 87.4 por ciento de la producción de trigo es del tipo cristalino o duro, situación que obedece a una menor productividad de las variedades de trigos harineros o suaves, que presentan una mayor susceptibilidad a enfermedades como la roya y el carbón parcial (FIRA, 2019).

2.3 Importancia del género *Fusarium*

Los hongos del género *Fusarium* tienen una amplia distribución en el mundo y una gran importancia desde el punto de vista agrícola y económico. Su ocurrencia es cosmopolita y las diversas especies son comunes en el suelo, en el aire y en el agua. Muchas especies del género *Fusarium* tienen una gran capacidad de ocasionar enfermedades en distintos tipos de plantas cultivadas. Algunas especies pueden causar infecciones oportunistas en el hombre y en los animales y algunas pocas producen toxinas que pueden afectar al hombre y a los animales (Booth, 1971; Arbeláez, 2000).

El tizón de la espiga del trigo causado por *Fusarium graminearum*, es una enfermedad que se presenta durante la floración en condiciones templado húmedo, es un problema importante, debido a la reducción del peso de los granos y por consecuencia el rendimiento, además de la contaminación en los granos, producida por la presencia de micotoxinas (Flores *et al.*, 2007). Las micotoxinas son metabolitos fúngicos que afectan granos y forrajes y cuya ingestión, inhalación o absorción cutánea reduce la actividad, hace enfermar o causa la muerte de animales y personas. Entre tales toxinas se destacan los tricotecenos como el deoxynivalenol (DON, también conocido como vomitoxina o factor de rechazo de alimento), la toxina T-2, el nivalenol (NIV), la toxina HT-2 y el diacetoxyscirpenol

(DAS). Todas ellas son consideradas inmunodepresores y su consumo se relaciona con el rechazo del alimento, pérdida de peso, vómitos, diarrea, anemia y lesiones cutáneas (Bartosik *et al*, 2012).

2.4 Especies de *Fusarium* evaluadas

Fusarium graminearum Schwabe, (Teleom. *Gibberella zeae*)

Es una especie cosmopolita y presenta una amplia gama de hospedantes. Las principales especies de interés económico susceptibles son: trigo, cebada, avena, centeno, maíz, trébol, alfalfa, arroz (Leslie and Summerell, 2006).

En trigo provoca la fusariosis o roña de la espiga, ataca la planta a partir de la emisión de la espiga, aunque la floración es el estado más susceptible. En México, la especie causal que predomina es *Fusarium graminearum*, pero también están presentes *F. culmorum*, *Microdochium nivale*, *F. equiseti* y *F. avenaceum* (Teleom. *Gibberella atenacea*) (Gilchrist, *et al.*, 2005).

Las principales características que presenta esta especie son las siguientes, produce fiálides laterales y macroconidios. Una característica distintiva de los macroconidios de este hongo es la célula basal en forma de pie. Esta especie no produce microconidios. *Fusarium graminearum* es de las pocas especies que producen peritecios bajo condiciones de campo. Los peritecios representan la fase sexual del hongo (*Gibberella zeae*), y se les observa sobre las glumas del trigo, emergiendo del tejido, juegan un papel importante en la sobrevivencia del patógeno, ya que, permanece sobre los restos del cultivo anterior, representan la fuente de inóculo inicial de la fusariosis (Ireta y Gilchrist, 1994).

Al incrementar el inóculo de *F. graminearum* en medio de cultivo y condiciones de laboratorio, produce macroconidios que miden 37,5 a 67,5 μm x 3,75 a 6,25 μm y ascosporas que miden de 18,75 a 27,5 μm x 3,75 a 5,75 μm (Valverde, 2020).

Fusarium camptoceras

F. camptoceras se considera principalmente un hongo saprofita y un invasor secundario de los tejidos vegetales. Se ha aislado de varias plantas (por ejemplo,

banano, cacao), principalmente en regiones tropicales y subtropicales (Booth, 1971; Gerlach y Nirenberg, 1982).

Al incrementar el inóculo presenta las siguientes características; colonias de crecimiento muy rápido, que alcanzan 7,0 - 8,0 de diámetro, en 6 días a 25 ° C en PDA. Micelio aéreo: generalmente abundante, con apariencia de polvo por conidios dispersos. Pigmentación: blanquecina, beige, de color beige rosado a miel, ocráceo oscuro y finalmente marrón oscuro. No forma cuerpos esclerotiales. Esporulación: solo dispersa en el micelio aéreo, comenzando después de unos días, las capas esporodociales están completamente ausentes. Olor - no perceptible. Conidióforos - formado únicamente en el micelio aéreo, a menudo de forma ligeramente irregular, muy raramente ramificado verticalmente. Células conidiógenas predominantemente poliblasticas, bastante variables en longitud (10-35 µm) y ancho (2.6-5.0 µm). (Gerlach y Nirenberg, 1982).

Fusarium boothii

Fusarium boothii forma parte del complejo de especies de *Fusarium graminearum* (FGSC), el importante grupo de patógenos del grano que causa la pudrición de la mazorca de maíz por *Gibberella* y el tizón de la espiga del trigo por *Fusarium*. Se sabe que infecta muchos cultivos de cereales como el maíz, el trigo y la cebada. Además, este patógeno es un productor de micotoxinas 15-ADON y, por lo tanto, es motivo de preocupación para los granos almacenados y los productos derivados de estos (Gryzenhout *et al.*, 2016).

Se cree que *F. boothii* evolucionó en Centroamérica junto con *F. mesoamericanum* (Aoki *et al.* 2012), pero sus orígenes no están claros debido a su amplia extensión geográfica. Distribución, que incluye México y varios países de África, Asia y América del sur (Valverde, 2020). *F. boothii* es muy común en Sudáfrica, especialmente en el cultivo de maíz (Boutigny *et al.* 2011)

Al incrementar el inóculo en medio de cultivo PDA y agar-zanahoria en condiciones de laboratorio obtuvo macroconidios producidos por los aislados de *F. boothii* miden de 35 a 66.25 µm x 3.75 a 6.25 µm, y las ascosporas producidas miden de 17.5 a 32.5 µm x 3.75 a 7.50 µm. (Valverde, 2020).

2.5 Condiciones para que ocurra la enfermedad

La enfermedad se favorece con lluvias, temperatura media de 20 °C durante la floración, rastrojo infectado de maíz o trigo en la superficie del suelo. Uso de cultivares susceptibles. Presencia de malezas hospedantes del patógeno (*Lolium multiflorum*, *Paspalum dilatatum*, *Sorghum halepense*, *Lolium spp*, *Cynodon dactylon*) (Carrasco *et al*, 2005).

La infección inicia con la penetración del patógeno en el tejido del hospedero entre 36 a 48 horas después de la inoculación y los primeros tejidos invadidos son las glumas, el ovario y las anteras. La penetración en la espiga se favorece por las temperaturas relativamente bajas y la alta humedad relativa (Nicholson *et al.*, 2007).

2.6 Ciclo de la enfermedad

En la (Figura 1) se muestra el ciclo de la enfermedad generalizada de *F. graminearum* en el trigo. La principal fuente de inoculo primario son las ascosporas, las que son liberadas de los peritecios a partir de procesos de hidratación, después de las lluvias y preferentemente durante la noche. Mientras que las ascosporas son transportadas por el viento a largas distancias los macroconidios son diseminados por el viento a corta distancia y por el salpicado de lluvias. (Díaz, 1996).

Las primeras infecciones se pueden iniciar indistintamente a partir de ascosporas o de macroconidios. Estos se depositan sobre las glumas y anteras que ya han salido de la flor. En caso de que aún no hayan salido las anteras, las esporas pueden permanecer viables por algunos días en espera de las anteras, para posteriormente iniciar el proceso de penetración; también existe evidencia preliminar de que los conidios, una vez que han germinado, pueden penetrar directamente a través de las glumas (Ireta, 1986).

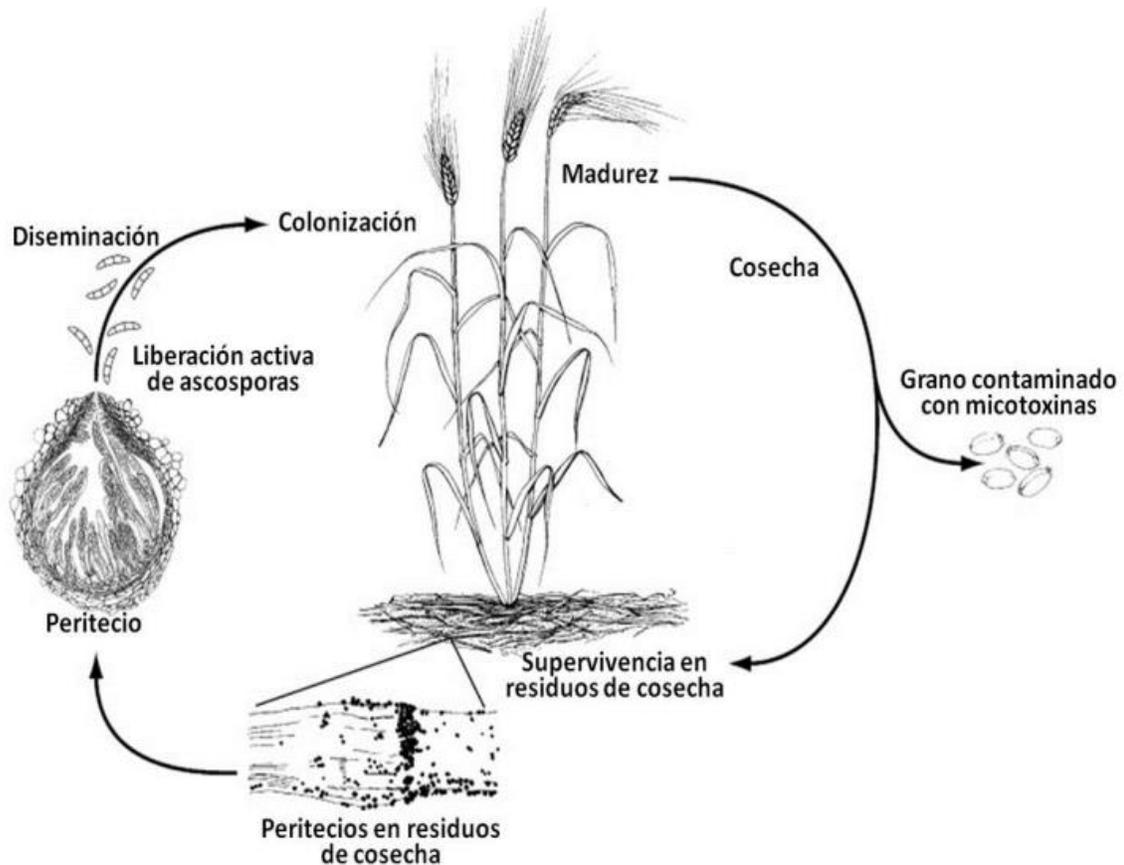


Figura 1: Ciclo de la Fusariosis de la Espiga de Trigo ocasionada por *Fusarium graminearum* Schwabe, (Teleom. *Gibberella zae*) (Trail, 2009).

2.7 Tipos de resistencia

Las especies de *Fusarium* causantes de marchitez siguen un patrón similar de infección; penetran por la raíz y colonizan en el tallo de las plantas el sistema vascular. Sin embargo, la colonización se restringe en cultivares tanto resistentes como susceptibles, a la región de entrada inicial del patógeno, debido a la oclusión de los vasos por geles, deposiciones de calosa y tilosas. En los cultivares susceptibles la colonización continúa en una distribución secundaria cuando los geles y calosas son degradados por el efecto de enzimas pectolíticas del patógeno y el crecimiento de las tilosas es inhibido. En los cultivares resistentes, flavonoides

del tipo de las catequinas y sus productos de oxidación inactivan las enzimas, y la distribución secundaria es confinada a los puntos de infección inicial (González *et al.*, 2012).

Los especialistas en fitopatología comúnmente distinguen dos categorías principales de resistencia: vertical y horizontal. La resistencia vertical o específica, se presenta cuando una variedad es resistente a algunas razas fisiológicas del organismo patógeno, pero es sensible a otras; reduce la cantidad de inóculo inicial capaz de infectar al huésped, pero no sirve para restringir la infección ni las tasas de producción de esporas de estas razas o cepas. Por el contrario, la resistencia horizontal o no específica, sirve para reducir las tasas de infección y de reproducción del organismo patógeno, al reducir el número de esporas que causan lesiones, aumentar el intervalo entre la infección y la esporulación, además de reducir el número de esporas secundarias producidas por cada infección (Stubbs *et al.*, 1986).

2.8 El mejoramiento genético

El nivel de producción y consumo mundial de trigo ubican a este cereal como uno de los cultivos más importantes dentro del sistema agropecuario. Por consiguiente el mejoramiento genético tendiente a superar los diversos factores bióticos y abióticos que afectan su producción en la vasta región donde es sembrado en un proceso de gran impacto mundial (Tranquilli y Suárez, 2003).

Según Agrios, (2005) a principios de 1900 aparecieron los primeros estudios sobre la herencia de la resistencia a las enfermedades, en 1905, se describió la herencia mendeliana de la resistencia de dos variedades de trigo y su progenie a una roya. En 1911, se demostró que existe variabilidad genética dentro de las especies de patógeno. Para 1914, se descubrió que dentro de una especie de patógeno existen razas fisiológicas que son morfológicamente idénticas pero que difieren en su capacidad para infectar a una serie de variedades distintas de un mismo hospedante. Estos sucesos fueron avanzando hasta formar un programa de mejoramiento en trigo.

El mejoramiento de trigo en México se inició en 1946 y se trabajó con un esquema organizado que arrojó beneficios como lograr el control de la roya del tallo, alcanzar la autosuficiencia en 1957 y cosechar su producción record de 5.5 MT en 1985 (Villaseñor, 2015).

La generación de nuevos recursos biotecnológicos que amplían las posibilidades de desarrollar estrategias valiosas para comprender la función biológica del trigo es un proceso de gran impacto mundial. Por lo que la potencialidad de los marcadores moleculares en el desarrollo de germoplasma en trigo, se ha percibido de gran valor, es una herramienta importante porque permiten construir mapas genómicos, determinar relaciones de parentesco entre variedades y especies afines, establecer matrices de identificación varietal, adelantar la recuperación de un fondo genético, asistir en la incorporación de genes deseables en materiales elite, como una estrategia alternativa dentro de los programas de mejoramiento (Tranquilli y Suárez, 2003).

Otra opción puede ser lo que menciona Suaste *et al.*, (2020); para la resistencia a pudriciones de raíz, tallo y corona de los trigos hexaploides el mapeo de Quantitative Trait Loci (QTL). El mejoramiento genético para esta enfermedad mediante la introgresión de los alelos con estos QTL es la estrategia más factible y la piramidación de estos QTL parece ser la estrategia más viable en los programas de mejoramiento genético.

2.9 LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 2005. Fitopatología. 2 ed. México. Limusa. 952 p.
- Aoki, T., Ward, T.J., Kistler, H.C., O'Donnell, K. 2012. Systematics, phylogeny and trichothecene mycotoxin potencial of *Fusarium* head blight cereal pathogens. JSM Mycotoxins. Núm. 62(2). 91-102 p.
- Bartosik, R; Castellari, C; Cardoso, L; de la Torre, D; Abadía, B; Carpaneto B. y Valle, F.M. 2012. Manejo de trigo con fusariosis en la poscosecha. INTAPRECOP. 15 p.
- Booth, C. 1971. *Fusarium*: Laboratory Guide to the Identification of the Major Species. The common Wealth Mycological Institute, Kew. 237 p.
- Boutigny, A., Ward, T. J., Van Coller, G.J., Flett, B., Lamprecht, S.C., O'Donnell, K. and Viljoen A. 2011. Analysis of the *Fusarium graminearum* species complex from wheat, barley and maize in South Africa provides evidence of species-specific differences in host preference. Fungal Genet Biol. Núm. 48(9). 914-920 p.
- Cámara Nacional de la Industria Molinera de trigo (CANIMOLT). 2015. Reporte estadístico 2015-2016. Medio de comunicación anual. México. 136 p.
- Carrasco, N; Báez, A; Belmonte M. L. 2005. Trigo. Manual de campo. INTA. RIAN. 82 p.
- Díaz, M. 1996. Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas. Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA. Serie Técnica No.74. Montevideo, Uruguay.
- Fideicomisos Instituidos en relación con la agricultura (FIRA). 2019. Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Trigo. 26 p.
- Flores, L. H. E; Ireta, M. J; y Ruíz, C. J. A. 2007. Factores Meteorológicos Asociados al Tizón de la Espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en Trigo (*Triticum aestivum* L). INIFAP, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, km 8 Carr. Tepatitlán Lagos de Moreno, Jalisco.
- García, J.M., Shagarodsky, T., Fresneda, J. A., Fundora, Y. H., y González, J. 2007. Caracterización de especies del género *Fusarium* en el cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum*) en las provincias ciudad Habana y La Habana. Temas de Ciencia y Tecnología. 32 (11), 63-66 p.

- Gerlach, W., and Nirenberg, H. 1982. The genus *Fusarium*: A pictoral atlas. Biologische Bundesanstalt für Land. Berlin-Dahlem. 406 p.
- Gilchrist, S.L.; Fuentes, D. G.; Martínez, C. C.; López, A. R. M.; Duveiller, E.; Singh, R. P.; Henry, M. y García, A. I. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. Segunda edición. México, D.F.: CIMMYT.
- González, I.; Yailén, A., y Peteira, B. 2012. Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*-tomate. Revista de Protección Vegetal, 27(1), 1-7.
- Gryzenhout, M., Khoosa, B., Landman. L. 2016. First report of fusarium boothii from pecan (*Carya illinoensis*) and camel thorn (*Vachellia eriolba*) trees in South Africa. South African Journal of Botany. Vol. 158-162 p.
- Iglesias, L. A. Dinámica de la germinación de la semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) con diferentes manejos del agua. Cultivos Tropicales, 1996, vol. 17, no. 1, p. 13-15.
- Ireta, M.J y Gilchrist, S. L. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F; CIMMYT.
- Ireta, M.J. 1986. Estimación de pérdidas en trigo (*Triticum sp.*) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Lesie, J.F. and Summerell, B.A. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell publishing. 369 p.
- Mariscal, A. L. A., Solís, M. E., Villaseñor, M. H. E., Ramírez, R. A y Moreno, G. B. 2018. Manejo integrado de la secadera del trigo en El Bajío. Folleto técnico núm. 11. INIFAP-CIRCE-CEBAJ. Celaya, Guanajuato. 40 p.
- Márquez, B.S., Almaguer V.G., Schwentesius R.R. y Ayala G.A. 2014. Trigo en Sonora y su contexto nacional e internacional. Cámara de diputados. LXII Legislatura. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). México. 218 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Subsecretaría de agricultura. 28 p.
- Stubbs, R.W., Prescott, J.M., Saari, E.E. y Dubin H.J. 1986. Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 55 p.

- Suaste, F. M; Iturriaga, de la F.G; Solís, M.E; Raya, P. J; Ramírez, P. J y Mariscal, A. L. 2020. Resistencia a *Fusarium* causante de pudriciones en trigo: actualidad y perspectivas para su uso en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 11(2). 14p.
- Sumalan, R.M., Alexa, E., y Poiana, M. A. 2013. Assessment of inhibitory potencial of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. Chemistry Central Journal, 7(1), 1-12 p.
- Trail, F. 2009. For blighted waves of grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomic era. Plant Physiology. Vol. 149(1). 103-110 p.
- Tranquilli, G. y Suárez, E. 2003. ¿Dónde estamos en la selección asistida por marcadores moleculares? Estrategias y Metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
- Valverde, B. E. 2020. Identification, aggressiveness and mycotoxin production of *Fusarium graminearum* and *F. boothii* isolates causing *Fusarium* head blight of wheat in Nebraska. Dissertations, Theses, & Student Research in Food Science and Technology. University of Nebraska – Lincoln. 108 p.
- Villa, M. A., Pérez, L. R., Morales, M. H. A., Basurto, S. M., Soto, P. J.M., y Martínez, E. E. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. Y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. Acta Agronómica. 64 (2). 194-205 p.
- Villaseñor, M. H. E. 2015. Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Núm. 6(11). 2183-2189 p.

CAPITULO III. EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE LÍNEAS ÉLITE DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) A LA INFECCIÓN DE *Fusarium* spp.

EVALUATION OF RESISTANCE OF ELITE LINES OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) TO THE INFECTION OF *Fusarium* spp.

Ivón García-García¹ y Santos Gerardo Leyva-Mir²

3.1 Resumen

El cultivo de trigo es afectado por diferentes microorganismos que disminuyen su rendimiento, de estos, los hongos del género *Fusarium* son causantes de una de las principales enfermedades conocida como fusariosis de la espiga, pero no es la única enfermedad que provocan, ya que son causantes de pudriciones de raíz, tallo y corona. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de treinta líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) en condiciones de invernadero a la infección de tres especies de *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*. Se estimó el peso en fresco y seco de las raíces de los genotipos inoculados con cada una de las especies de *Fusarium* y se evaluó cuál de las tres especies causó mayor severidad, en general para todas las variedades y en particular para variedades específicas. Los resultados fueron: para *F. boothii*, los genotipos que mostraron mayor peso en fresco de la raíz fueron línea 39, línea 38, línea 8 y línea 35, mientras que el genotipo con menor valor fue la línea 26; para *F. camptoceras*, los genotipos identificados con mayor peso en fresco fueron línea 7, línea 15 y línea 13; el genotipo que obtuvo un valor menor fue línea 34; finalmente para *F. graminearum*, los genotipos con valores altos fueron línea 12, línea 3, línea 9, línea 6, línea 1 y línea 2, y el genotipo con menor valor para peso en fresco fue la línea 28. Así mismo, *F. boothii* fue la especie que más afectó a los genotipos evaluados, *F. camptoceras* ocupó el segundo lugar, y *F. graminearum* a pesar de que seis de las líneas evaluadas obtuvieron los mejores promedios, dieciséis genotipos se vieron afectados, obteniendo valores por debajo de la media.

Palabras clave: *F. graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*, genotipos, especies.

3.2 Abstract

The wheat crop is affected by different microorganisms that decrease its yield, of these, the fungi of the genus *Fusarium* are the cause of one of the main diseases known as fusariosis of the spike, but it is not the only disease they cause, since they are causative of root, stem and crown rots. This research aimed to evaluate the behavior of thirty lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) under greenhouse conditions to the infection of three species of *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. camptoceras* and *F. boothii*. The fresh and dry weight of the roots of the genotypes inoculated with each of the *Fusarium* species was estimated and it was evaluated which of the three species caused the greatest severity, in general for all varieties and in particular for specific varieties. The results were: for *F. boothii*, the genotypes that showed the highest fresh weight of the root were line 39, line 38, line 8 and line 35, while the genotype with the lowest value was line 26; for *F. camptoceras*, the genotypes identified with the highest fresh weight were line 7, line 15 and line 13; the genotype that obtained a lower value was line 34; finally for *F. graminearum*, the genotypes with high values were line 12, line 3, line 9, line 6, line 1 and line 2, and the genotype with the lowest value for fresh weight was line 28. Likewise, *F. boothii* was the species that most affected the evaluated genotypes, *F. camptoceras* ranked second, and *F. graminearum* despite the fact that six of the evaluated lines obtained the best averages, sixteen genotypes were affected, obtaining values below the half.

Keywords: *F. graminearum*, *F. camptoceras* and *F. boothii*, genotypes, species.

¹ Tesista

² Director

3.3 INTRODUCCIÓN

En las regiones en desarrollo, casi 60% del uso total de cereales se destinó a la alimentación humana, mientras que en los países desarrollados estos representaron solamente el 10% del consumo. El trigo es el cereal más utilizado en la alimentación humana, debido al alto valor energético y a un mayor contenido de proteínas en comparación con el maíz y el arroz. Este cereal se cosecha prácticamente en todo el mundo, el comercio y la superficie cultivada de trigo es la más grande entre los cultivos agrícolas (CANIMOLT, 2015).

A nivel mundial el cultivo de trigo es afectado por diferentes microorganismos que disminuyen su rendimiento, de estos los hongos del género *Puccinia* causantes de las diferentes royas se consideran los más dañinos; sin embargo, para patógenos del suelo en este cereal se ha identificado otro grupo de hongos causantes de pudriciones de raíz tallo y corona (PCR) pertenecientes a un complejo del género *Fusarium* (Mariscal *et al.*, 2018).

Las pudriciones de raíz, corona y tallo en trigo se consideran una amenaza seria para este cereal en diversas partes del mundo ya que las pérdidas que ocasionan en el rendimiento y calidad de grano llegan hasta 89% y pueden ser comparables con las causadas por las royas, además de que los hongos asociados a estas pudriciones sintetizan micotoxinas que pueden contaminar productos alimenticios. Esta problemática en México ha sido poco estudiada; sin embargo, en los últimos años, estas enfermedades en trigos de riego y temporal han sido más incidentes lo que está causando preocupación en los productores de este cereal en el país (Suaste *et al.*, 2020).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento de treinta líneas de trigo en condiciones de invernadero, a la infección de tres especies de *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*, con la finalidad de determinar los materiales más resistentes para cada especie, además de evaluar las tres cepas y observar la de mayor patogenicidad de manera general y particular para cada línea.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización del experimento

El experimento se estableció en el Laboratorio Nacional de Royas y Otras Enfermedades del Trigo (LANARET) en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.

3.4.2 Material de estudio

Se utilizaron treinta líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.), fueron proporcionados por el INIFAP. Se muestra la variedad o la genealogía de los genotipos en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genotipos de trigo evaluados.

| Variedad/Genotipo |
|---|
| KRONSTAD F2004 |
| ROELFS F2007 |
| VILLA JUAREZ F2009 |
| BORLAUG 100 F2014 |
| BACOREHUIS F2015 |
| CONATRIGO F2015 |
| NORESTE F2018 |
| WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/8VEE#8//JUP/BJY/3/F3.71/ TRM/4/BCN/5/KAUZ/6/MILAN/KAUZ/7/SKAUZ/PARUS//PARUS/9/KACHU NS.732/HER/3/PRL/SARA/TSI/VEE#5/4FRET2/5/WHEAR/SOKOLL |
| KSW/SAUAL//SAUAL/3/REEDLING#1 |
| ROLF07/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHU/4/ROLF07/SAUAL |
| NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR |
| SAUAL/MUTUS/4/KACHU#1//WBLL1*2/KUKUNA/3/BRBT1*2/KIRITATI |
| KSW/SAUAL//SAUAL/3/2*BORL14 |
| STALION/MUNAL#1//2*BORLG14 CIANO M2018 |
| CIRNO C2008 |
| ANATOLY C2011 |

MOVAS C2011

CONASIST C2015

BAROBAMPO C2015

TRN//D21563/AA/3/BD2080/4/BD2339/5RASCON_37*2/TARRO_2/6/AUK/GUIL//GREEN/11/ALTAR84ALTO_1/RISSA/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/SHAG_14/ANADE_1//KITTI_1/12/CIRNO

TADIZ/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9

P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/RISSA/GAN//POHO_1/3PLATA_3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 (DON GOYO C2019)

CAMAYO//HYDRANASSA30/SILVER_5/37SOOTY_9/RASCON_37/5/DUKEM_15/3/BISU_1/PLATA_16//RISSA/4/SOOTY_9/RASCON_37/6/SOOTY_9/RASCON_37//TILO_1/LOTUS_4/7/BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21

AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMBRA_20/4/SNITAN/5/SOMAT_4/INTER_8/6/GUAYACAN.INIA/POMA_2//SNITAN/7/SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE.C2001/3/SOOTY_9/RASCON_37//CAMAYO/4/SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/8/SOOTY_9/RA

SILVER_14/MOEWEE//BISU_1PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/4/ARMENT//SNR_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/11/ALTAR84/STINT//SILVER_45/3/GUANAY/4/GREEN_14//Y

SILVER_14/MOEWEE//BISU_1PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/4/ARMENT//SNR_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/11/GUAYACAN.INIA/2*SNITAN/12/SOOTY_9/RASCON_37//JUP

E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZANA/ARLIN//MUSK_6/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/SORA/2*PLATA_12//RASCON_37/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/11/ALTAR84/STINT//SILVER_45/3/GUANAY/4/GREEN_14//

E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZANA/ARLIN//MUSK_6/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/SORA/2*PLATA_12//RASCON_37/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/11/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/

TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/4/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/5/CBC501CHILE/GUANAY/4/CNDO/PRIMADUR//HAI.OU_17/3/SNITAN/7/ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_

3.4.3 Especies de Fusarium evaluadas

- *F. graminearum*
- *F. camptoceras*
- *F. boothii*

3.4.4 Desarrollo del experimento

3.4.4.1 Siembra y manejo del trigo

Se sembraron 30 líneas de trigo, en charolas de poliestireno de 77 cavidades, en un sustrato previamente esterilizado con vapor libre. Colocamos tres semillas por cavidad, con un total de cuatro cavidades para cada línea de trigo. En los espacios en donde emergieron más de tres plántulas, se realizó un raleo para evitar la competencia entre ellas. No se usaron todas las cavidades se fueron intercalando para dejar espacio. El manejo a las plantas en el invernadero consistió de riego semanal sin fertilización.

3.4.4.2 Incremento del inoculo

El incremento del inoculo se realizó en el laboratorio de Micología Agrícola ubicado en el departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, por medio de cultivo monospórico, agar con hojas de clavel (CLA); se agregaron trozos pequeños de hoja clavel por caja con agua-agar al 2%, para favorecer la producción de conidios.

3.4.4.3 Inoculación

La inoculación se realizó en dos ocasiones, ya que se pretendía infectar la raíz de la plántula, una fue al momento de la siembra, se utilizaron dos cuadrados de 1 cm de agar con micelio del hongo de 15 días de edad fueron colocados debajo de la semilla, esta previamente desinfectada con hipoclorito de sodio al 3% durante un minuto, posteriormente se enjuagaron las semillas con agua destilada. Se realizó una segunda inoculación a los 15 días después de la siembra agregando 15 mL de una solución de conidios a una concentración de 10^6 conidios. ml^{-1} para cada aislado y dos gotas de Tween 20 como adherente, en la base del tallo con ayuda de una pipeta de vidrio.

3.4.4.4 Incubación

Las plantas inoculadas se mantuvieron en condiciones de invernadero a una temperatura de 24°C.

3.4.4.5 Evaluación

El registro de los datos se realizó a los 50 días después de la siembra, se lavaron las raíces de cada tratamiento por repetición, se tomaron como muestra dos plantas, para observarlas y poder evaluar la severidad de la enfermedad, además se registró el peso en fresco y seco de las raíces.

3.4.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en parcelas divididas, a los datos obtenidos de las variables de estudio se les realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por medio del método Tukey con nivel de significancia al 5%, ejecutados en el programa Statistical Analysis Software (SAS).

3.4.6 Variables evaluadas

Peso en fresco de raíces: se pesaron las raíces de dos plantas por repetición, con ayuda de una balanza digital de precisión.

Peso en seco de raíces: se obtuvo, tres semanas después de la evaluación del peso en fresco, cuando las raíces se encontraban deshidratadas. Se registró el peso de las raíces de dos plantas por repetición, con ayuda de una balanza digital de precisión.

Severidad: se estimó el porcentaje de severidad a través de una escala de daño, usando como referencia la escala propuesta por Rangel y colaboradores (2007). En la (Figura 2) se muestra el esquema de la escala antes mencionada.



Figura 2. Escala del daño por *Fusarium* spp, aislado de plantas de trigo con amarillamiento. 1) Planta sana, síntomas no visibles en raíz y corona sin necrosis ni degradación de raíces (0%); 2) Daño inicial en la raíz, cambio de coloración en una porción de esta, corona sana (10%); 3) Avance del daño en raíces que muestra color café (inicio de necrosis) y corona sana (25%); 4) Degradación de raíces, necrosis e inicio de daño en cuello (50%); 5) Necrosis avanzada del sistema radical y cuello (75%) y 6) Corona y raíz completamente necrosadas (100%).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 2. Promedios individuales de peso en fresco de los genotipos evaluados para cada especie de *Fusarium*.

| Genotipo | <i>Fusarium boothii</i> | | <i>Fusarium camptoceras</i> | | <i>Fusarium graminearum</i> | |
|----------|-------------------------|-----|-----------------------------|-------|-----------------------------|--------|
| | Promedio | | Promedio | | Promedio | |
| 1 | 0.88 | BAC | 1 | EDF | 2.78 | A |
| 2 | 0.8 | BAC | 1.2 | EDFC | 2.68 | A |
| 3 | 0.8 | BAC | 0.89 | EF | 2.95 | A |
| 4 | 0.87 | BAC | 1.57 | EBDFC | 2.38 | BDAC |
| 5 | 0.86 | BAC | 1.07 | EDF | 2.12 | EBDAC |
| 6 | 1 | BAC | 1.36 | EBDFC | 2.84 | A |
| 7 | 0.94 | BAC | 2.69 | A | 1.95 | EBDACF |
| 8 | 1.06 | BAC | 2.04 | BDAC | 2.60 | BA |
| 9 | 0.8 | BAC | 1.81 | EBDAC | 2.94 | A |
| 10 | 0.62 | C | 1.26 | EBDFC | 1.91 | EBDACF |
| 11 | 0.8 | BAC | 1.48 | EBDFC | 2.41 | BAC |
| 12 | 0.65 | C | 1.71 | EBDAC | 3.31 | A |
| 13 | 0.87 | BAC | 2.24 | BAC | 1.92 | EBDACF |
| 15 | 0.78 | BAC | 2.29 | BA | 1.17 | EBDCF |
| 20 | 0.57 | C | 1.71 | EBDAC | 1.18 | EBDCF |
| 25 | 0.51 | C | 1.32 | EBDFC | 1.07 | EDCF |
| 26 | 0.45 | C* | 1.18 | EDF | 0.72 | EF |
| 27 | 0.58 | C | 0.98 | EF | 0.92 | EF |
| 28 | 0.81 | BAC | 1.27 | EBDFC | 0.68 | F |
| 29 | 0.79 | BAC | 1.13 | EDF | 1.06 | EDCF |
| 30 | 0.67 | BC | 1.31 | EBDFC | 0.77 | EF |
| 31 | 0.48 | C | 1.13 | EDF | 0.91 | EF |
| 32 | 0.49 | C | 0.93 | EF | 0.86 | EF |
| 33 | 0.59 | C | 0.98 | EF | 0.75 | EF |
| 34 | 0.86 | BAC | 0.59 | F | 1.13 | EDCF |
| 35 | 1.02 | BAC | 1.54 | EBDFC | 1.89 | EBDACF |
| 36 | 0.63 | C | 1.49 | EBDFC | 0.96 | EDF |
| 37 | 0.84 | BAC | 1.09 | EDF | 0.94 | EF |
| 38 | 1.33 | BA | 0.85 | EF | 0.92 | EF |
| 39 | 1.36 | A | 0.81 | EF | 0.73 | EF |
| DMS | 0.68 | | 1.05 | | 1.43 | |

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=5\%$).

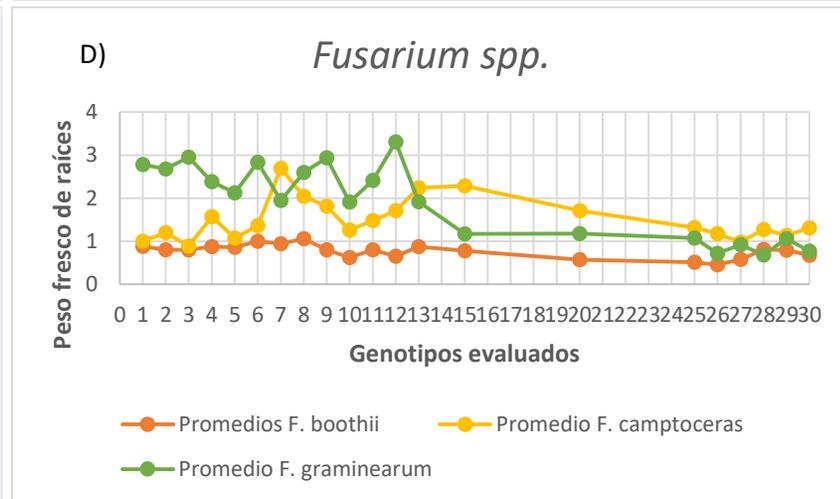
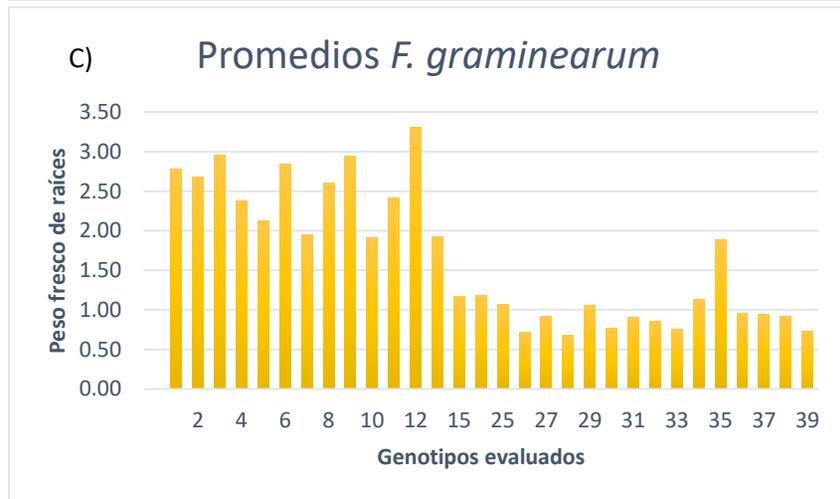
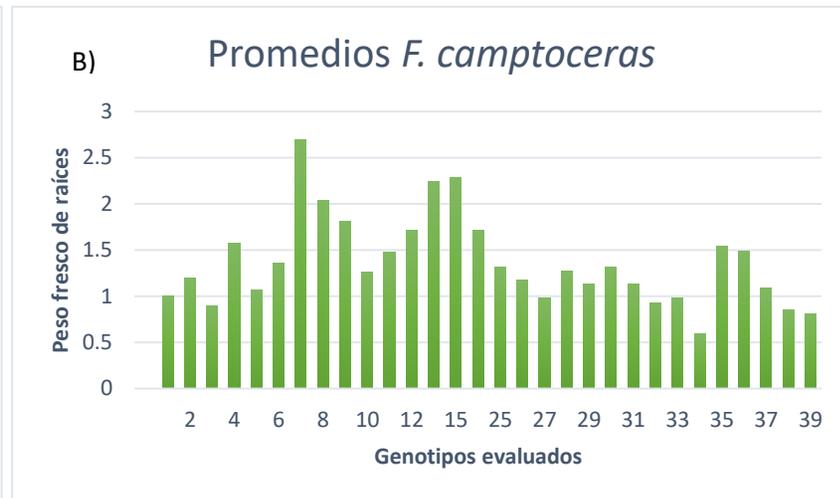
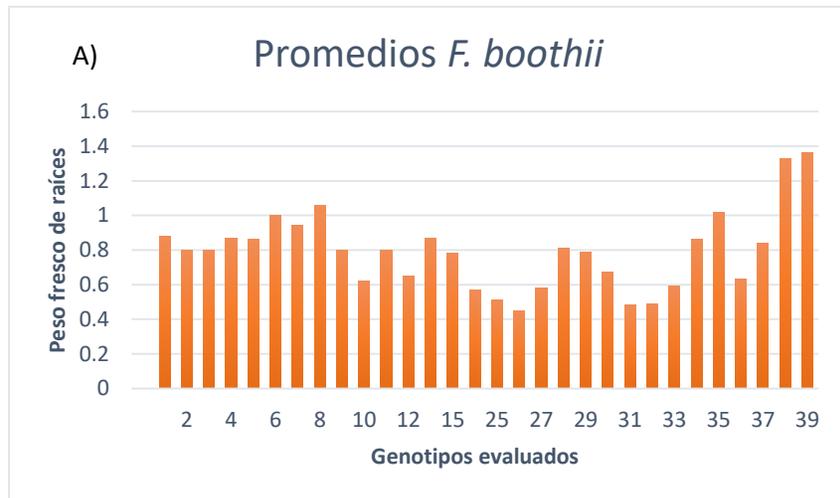


Figura 3. Respuesta de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de *Fusarium*. A) *F. boothii*, B) *F. camptoceras*, C) *F. graminearum*, D) Comportamiento de los genotipos inoculados con cada una de las especies de *Fusarium*, para la variable peso fresco de raíces.

En el cuadro 2 se observa el promedio de peso en fresco de las raíces de cada uno de los genotipos evaluados para cada especie de *Fusarium*, la mayoría de los genotipos evaluados se ven afectados por alguna de las especies de *Fusarium*, para el caso de *F. boothii*, se nota que el promedio más alto corresponde a la línea 39 con un valor de 1.36, seguida de la línea 38 con un valor de 1.33, superando el valor del promedio de las líneas testigo que corresponde de la línea 1 a la 7; el promedio de menor valor lo obtuvo la línea 26 con 0.45; para *F. camptoceras*, el promedio de mayor valor corresponde a la línea 7 con 2.69, superando a los demás testigos, seguida de la línea 15 con un valor de 2.29 y de la línea 13 con un valor de 2.24, el promedio de menor valor lo obtuvo la línea 34 con 0.59.

Mientras que para *F. graminearum*, resultaron varias líneas con valores altos, el promedio de mayor valor corresponde a la línea 12 con 3.31, seguida de la línea 3 con un valor de 2.95, después la línea 9 con un valor de 2.94, luego la línea 6 con un valor de 2.84, continua la línea 1 con un valor de 2.78 y por último la línea 2 con un valor de 2.68, para este caso la línea 28 fue la que obtuvo menor valor con 0.68.

En la figura 3 se observa el comportamiento de los treinta genotipos evaluados para las diferentes especies de *Fusarium*, para la variable peso fresco de raíz, donde podemos destacar los genotipos que presentaron un promedio mayor para la especie *F. boothii* (Figura A) son los siguientes: línea 39, línea 38, línea 8 y línea 35; para *F. camptoceras* (Figura B) las líneas que obtuvieron los promedios altos son: línea 7 que corresponde a un testigo, la línea 15 y línea 13; para *F. graminearum* (Figura C) los genotipos que presentaron promedios con valores altos corresponden a la línea 12, línea 3, línea 9, línea 6, línea 1 y línea 2.

La Figura D representa el comportamiento de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de *Fusarium*, se puede apreciar que *F. boothii*, fue la especie que más afectó a los genotipos evaluados, ya que fue la única que obtuvo los promedios de menor valor, le sigue *F. camptoceras*, ya que ocho genotipos obtuvieron valores por debajo de la media, mientras que *F. graminearum*, a pesar de que seis de las líneas evaluadas obtuvieron los mejores promedios, dieciséis genotipos se vieron afectados, obteniendo valores por debajo de la media.

Cuadro 3. Promedios individuales de peso en seco de los genotipos evaluados para cada especie de *Fusarium*.

| Genotipo | <i>Fusarium boothii</i> | | <i>Fusarium camptoceras</i> | | <i>Fusarium graminearum</i> | |
|----------|-------------------------|-----|-----------------------------|--------|-----------------------------|-------|
| | Promedio | | Promedio | | Promedio | |
| 1 | 0.08 | C | 0.09 | EDCF | 0.41 | BAC |
| 2 | 0.08 | C | 0.11 | EDCF | 0.37 | BDAC |
| 3 | 0.07 | C | 0.08 | EF | 0.41 | BAC |
| 4 | 0.08 | C | 0.16 | EBDACF | 0.37 | BDAC |
| 5 | 0.09 | BC | 0.09 | EDCF | 0.30 | EBDAC |
| 6 | 0.1 | BC | 0.13 | EBDCF | 0.42 | BAC |
| 7 | 0.1 | BC | 0.24 | A | 0.29 | EBDAC |
| 8 | 0.09 | BC | 0.17 | EBDAC | 0.35 | EBDAC |
| 9 | 0.07 | C | 0.20 | BAC | 0.50 | BA |
| 10 | 0.06 | C | 0.14 | EBDACF | 0.28 | EBDAC |
| 11 | 0.07 | C | 0.15 | EBDACF | 0.37 | BDAC |
| 12 | 0.07 | C | 0.16 | EBDACF | 0.51 | A |
| 13 | 0.08 | C | 0.23 | BA | 0.24 | EDC |
| 15 | 0.07 | C | 0.19 | EBDAC | 0.14 | ED |
| 20 | 0.06 | C | 0.19 | EBDAC | 0.15 | ED |
| 25 | 0.06 | C | 0.12 | EDCF | 0.15 | ED |
| 26 | 0.05 | C | 0.14 | EBDACF | 0.10 | E |
| 27 | 0.06 | C | 0.08 | EF | 0.13 | ED |
| 28 | 0.09 | BC | 0.13 | EBDCF | 0.09 | E |
| 29 | 0.09 | BC | 0.12 | EDCF | 0.14 | ED |
| 30 | 0.07 | C | 0.12 | EBDCF | 0.10 | E |
| 31 | 0.06 | C | 0.12 | EDCF | 0.12 | ED |
| 32 | 0.05 | C | 0.09 | EDF | 0.10 | E |
| 33 | 0.07 | C | 0.11 | EDCF | 0.10 | E |
| 34 | 0.1 | BC | 0.06 | F | 0.15 | ED |
| 35 | 0.1 | BAC | 0.14 | EBDACF | 0.25 | EBDC |
| 36 | 0.09 | BC | 0.15 | EBDACF | 0.13 | ED |
| 37 | 0.11 | BAC | 0.11 | EDCF | 0.13 | ED |
| 38 | 0.15 | BA | 0.11 | EDCF | 0.12 | ED |
| 39 | 0.17 | A | 0.09 | EDF | 0.10 | E |
| DMS | 0.07 | | 0.11 | | 0.26 | |

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=5\%$).

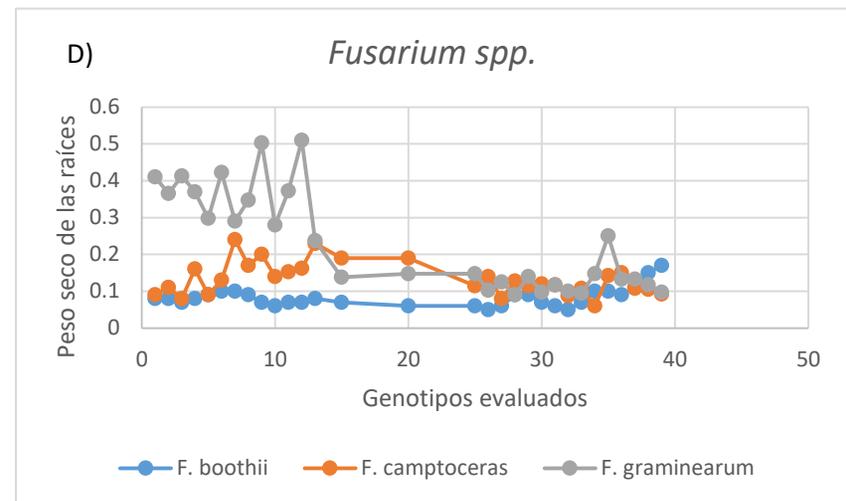
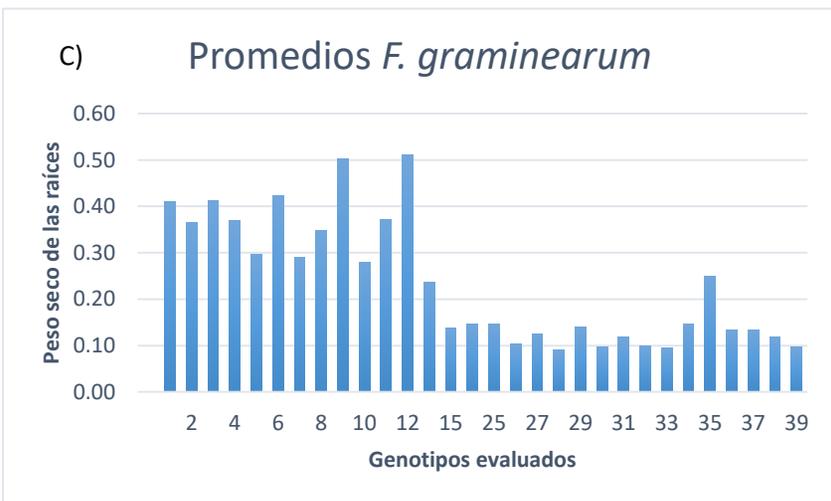
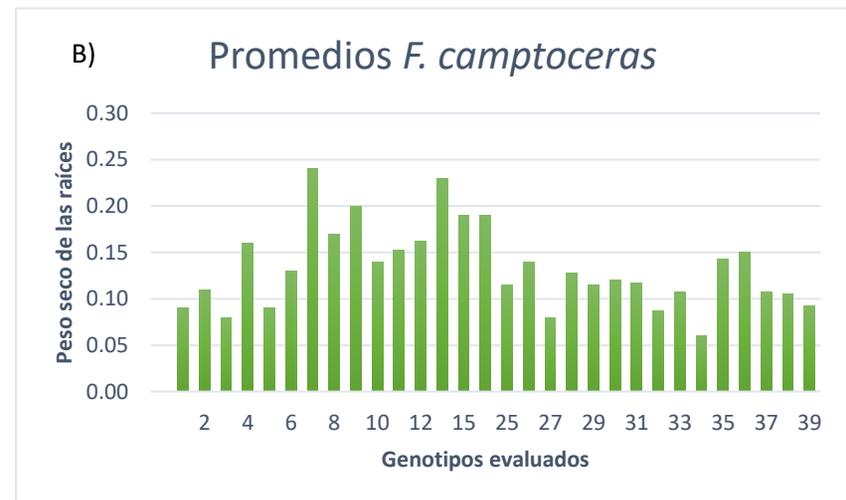
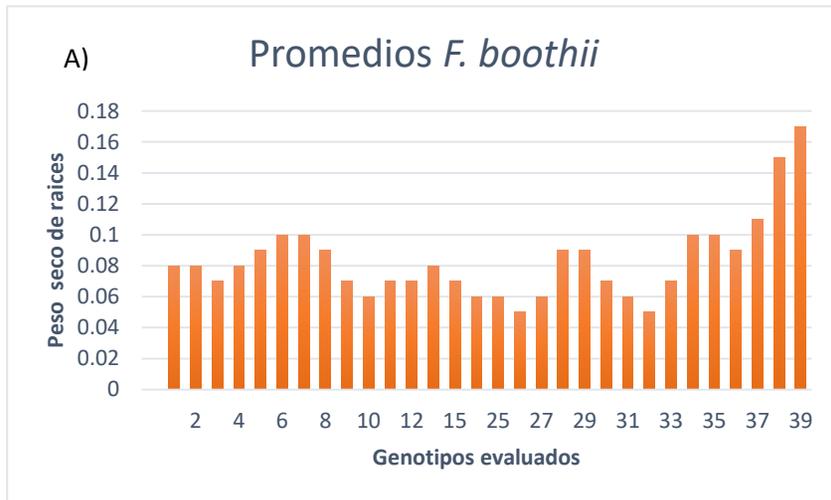


Figura 4. Respuesta de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de *Fusarium*. A) *F. boothii*. B) *F. camptoceras*. C) *F. graminearum*. D) Comportamiento de los genotipos inoculados con cada una de las especies de *Fusarium*, para la variable peso seco de raíces.

En el cuadro 3 se observa el promedio de peso en seco de las raíces de cada uno de los genotipos evaluados para cada especie de *Fusarium*, la mayoría de los genotipos evaluados se ven afectados por alguna de las especies de *Fusarium*, para el caso de *F. boothii*, se nota que el promedio más alto corresponde a la línea 39 con un valor de 0.17, seguida de la línea 38 con un valor de 0.15; el promedio de menor valor lo obtuvo la línea 26 y 32 con 0.05; para *F. camptoceras*, el promedio de mayor valor corresponde a la línea 7 con 0.24, seguido de la línea 13 con un valor de 0.23 y de la línea 9 con un valor de 0.20, el promedio de menor valor lo obtuvo la línea 34 con 0.06.

Mientras que para *F. graminearum*, resultaron valores altos para tres líneas, el promedio de mayor valor corresponde a la línea 12 con 0.51, seguida de la línea 9 con un valor de 0.50, después la línea 6 con un valor de 0.42, para este caso la línea 28 fue la que obtuvo menor valor con 0.09.

En la figura 4 se observa el comportamiento de los treinta genotipos evaluados para las diferentes especies de *Fusarium*, para la variable peso seco de raíz, donde podemos destacar los genotipos que presentaron un promedio mayor para la especie *F. boothii* (Figura A) son los siguientes: línea 39, línea 38, línea 37 y línea 35; para *F. camptoceras* (Figura B) las líneas que obtuvieron los promedios altos son: línea 7 que corresponde a un testigo, la línea 13 y línea 9; para *F. graminearum* (Figura C) los genotipos que presentaron promedios con valores altos corresponden a la línea 12, línea 9, línea 6, línea 1 y línea 3.

La Figura D representa el comportamiento de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de *Fusarium* para la variable peso seco, se puede apreciar que *F. boothii*, fue la especie que más afectó a los genotipos evaluados, ya que fue la única que obtuvo los promedios de menor valor, le sigue *F. camptoceras*, ya que siete genotipos obtuvieron valores por debajo de la media, mientras que *F. graminearum*, a pesar de que seis de las líneas evaluadas obtuvieron los mejores promedios, dieciocho genotipos se vieron afectados obteniendo valores por debajo de la media.

Análisis combinado a través de las especies de *Fusarium*

Para los treinta genotipos inoculados con las diferentes especies de *Fusarium* considerando la evaluación de peso fresco de raíces, el análisis de varianza presento diferencias altamente significativas. Para el factor *Fusarium* se encontró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P=63.04$, $P<0.0001$), la especie más agresiva fue *F. boothii* debido a que obtuvo los promedios de peso fresco de raíces de menor valor, para el factor líneas hay diferencias altamente significativas ($P=11.47$ y $P<0.0001$), asimismo para la interacción *Fusarium**línea hay diferencias altamente significativas ($P=7.09$ y $P<0.0001$).

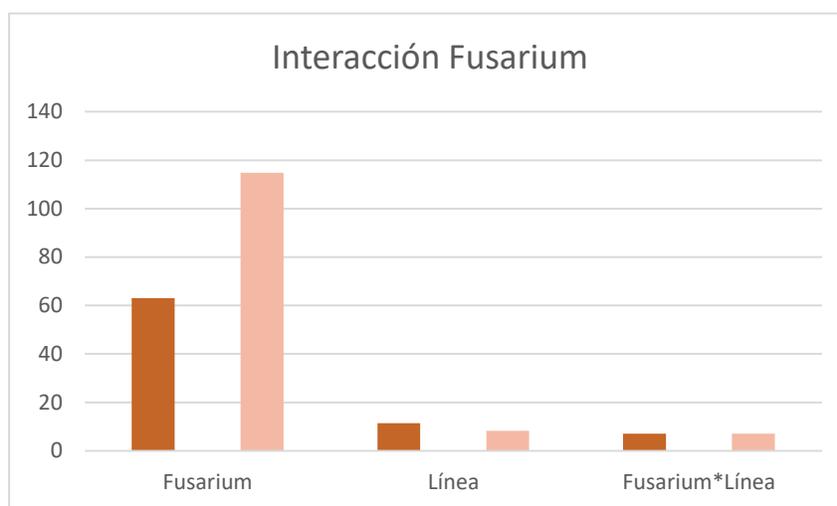


Figura 5. Comportamiento del peso en fresco y seco de la raíz a través de las especies de *Fusarium*.

Considerando la evaluación de peso seco de raíces, el análisis de varianza presento diferencias altamente significativas. Para el factor *Fusarium* se encontró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P=114.85$, $P<0.0001$), para el factor líneas hay diferencias altamente significativas ($P=8.29$ y $P<0.0001$), asimismo para la interacción *Fusarium**línea hay diferencias altamente significativas ($P=7.05$ y $P<0.0001$).

Cuadro 4. Promedios individuales del porcentaje severidad para cada especie de *Fusarium*.

| Genotipo | <i>F. boothi</i> | | <i>F. camptoceras</i> | | <i>F. graminearum</i> | |
|----------|------------------|------|-----------------------|-----|-----------------------|------|
| | Promedio | | Promedio | | Promedio | |
| 1 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 2 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 3 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 4 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 5 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 6 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 7 | 0 | G | 0 | G | 0 | H |
| 8 | 11.875 | FE | 3.75 | G | 8.75 | HG |
| 9 | 17.5 | FEDC | 10 | GFE | 10 | FHG |
| 10 | 13.75 | FED | 5 | G | 10 | FHG |
| 11 | 13.75 | FED | 11.875 | GFE | 10 | FHG |
| 12 | 10 | FG | 7.5 | GF | 10 | FHG |
| 13 | 10 | FG | 10 | GFE | 10 | FHG |
| 15 | 10 | FG | 10 | GFE | 10 | FHG |
| 20 | 16.429 | FEDC | 10 | GFE | 10 | FHG |
| 25 | 23.125 | BDC | 17.5 | DFE | 21.25 | EFDG |
| 26 | 20.714 | BEDC | 11.875 | GFE | 31.25 | DC |
| 27 | 28.125 | BA | 18.75 | DFE | 31.25 | DC |
| 28 | 10 | FG | 25 | DC | 37.5 | BAC |
| 29 | 10 | FG | 25 | DC | 37.5 | BAC |
| 30 | 21.25 | BEDC | 37.5 | BA | 50 | A |
| 31 | 25 | BAC | 21.25 | DCE | 37.5 | BAC |
| 32 | 24.375 | BAC | 21.25 | DCE | 37.5 | BAC |
| 33 | 34.375 | A | 31.25 | BC | 46.875 | BA |
| 34 | 17.5 | FEDC | 31.25 | BC | 21.25 | EFDG |
| 35 | 10 | FG | 21.25 | DCE | 31.25 | DC |
| 36 | 15.625 | FEDC | 10 | GFE | 23.75 | EFDC |
| 37 | 10 | FG | 21.25 | DCE | 13.75 | EFHG |
| 38 | 10 | FG | 31.25 | BC | 34.375 | BDC |
| 39 | 10 | FG | 46.875 | A | 25 | EDC |
| DMS | 10.612 | | 12.291 | | 14.895 | |

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=5\%$).

DMS: Diferencia mínima significativa.

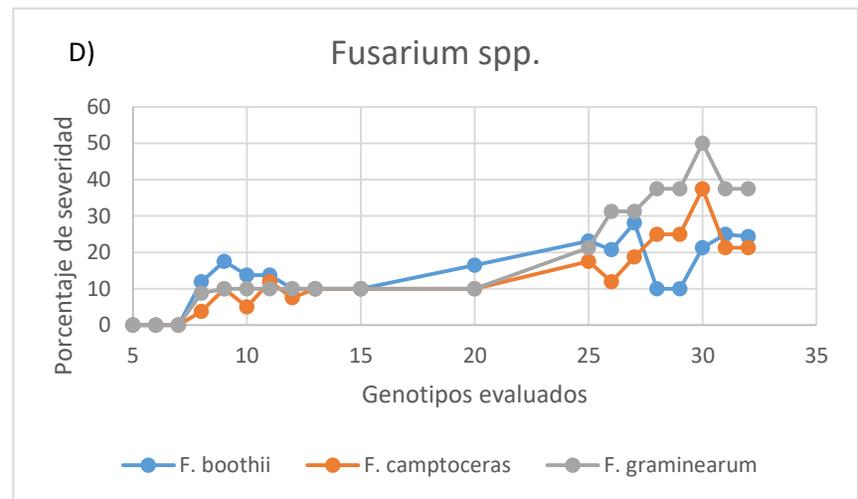
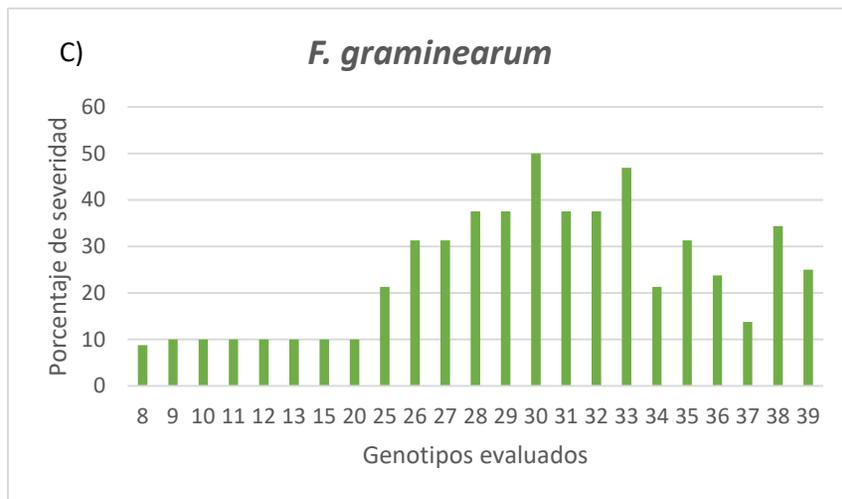
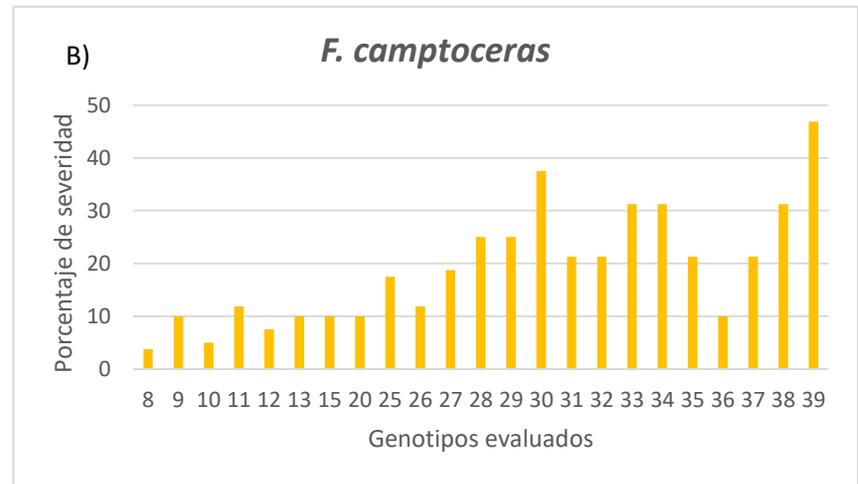
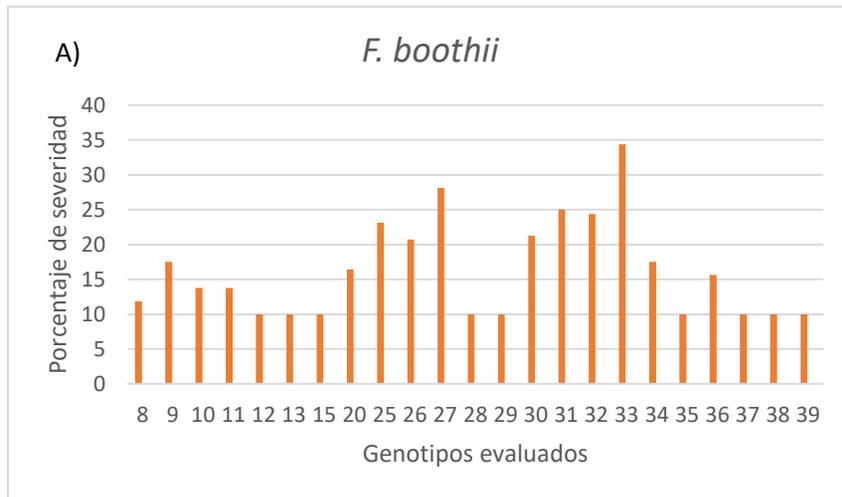


Figura 6. Porcentaje de severidad para los genotipos evaluados, A) *F. boothii*, B) *F. camptoceras*, C) *F. graminearum*, D) Comportamiento de los genotipos evaluados a la infección de las diferentes especies de *Fusarium*.

En el cuadro 4 se muestran los promedios obtenidos de severidad para cada especie de *Fusarium*, de manera general podemos observar el progreso de la enfermedad en la mayoría de los genotipos evaluados, para *F. boothii*, los genotipos que presentaron los mayores valores de severidad son la línea 33 (34.38%), línea 27 (28.13%), la línea 31 (25%), la línea 30 (21.25%) y línea 25 (23.13%), mientras que los genotipos que mostraron valores bajos de severidad son línea: 12, 13,15, 28, 29, 35, 37, 38, 39. Para *F. camptoceras* los genotipos con mayores valores de severidad son línea: 39 (46.85%), 30 (37.5%), 38 (31.25%), 33 (31.25%) y 34 (31.25%), destaca la línea: 8, 10,12 y 36 con valores bajos en porcentaje de severidad; para *F.graminearum* las líneas que presentaron mayores valores de porcentaje de severidad son: 30 (50%), 33 (46.87%), 31 (37.5%), 32 (37.5%), 28 (37.5%) y 29 (37.5%), los genotipos que mostraron menor valor en porcentaje de severidad son la líneas: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 y 20.

En la figura 6 se observa el porcentaje de severidad de los treinta genotipos inoculados con las tres especies de *Fusarium*, en la Figura A, se observa el grado de infección para *F. boothii* destacan las líneas: 12 (10%), 13 (10%),15 (10%), 28 (10%), 29 (10%), 35 (10%), 37 (10%), 38 (10%) y 39 (10%); por el porcentaje bajo que obtuvieron, en la Figura B observamos a *F. camptoceras* 8 (3.75%), 10 (5%),12 (7.5%), 9 (10%) y 36 (10%) son las líneas que presentaron los porcentajes de severidad bajos y en la Figura C representa el comportamiento de *F. graminearum* las líneas que presentaron los porcentajes de menor valor son las líneas: 8 (8.75%), 9 (10%), 10 (10%), 11 (10%), 12 (10%), 13 (10%), 15 (10%) y 20 (10%). La Figura D, es una representación del comportamiento de los genotipos evaluados destacan la línea 27, 30, 32 y 33 por ser las que presentan mayor susceptibilidad a la infección de las especies de *Fusarium*.

Análisis combinado a través de *Fusarium*

La respuesta a la infección por las tres especies de *Fusarium*, de los treinta genotipos evaluados (porcentaje de severidad), en el análisis de varianza no presento diferencias altamente significativas, para el factor *Fusarium*, esto indica que no hay diferencia entre tratamientos, las tres especies de *Fusarium* causaron

daños en la líneas evaluadas, bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura, ya sea en menor o mayor grado afectando el desarrollo de las plantas.

Discusión de los resultados

F. boothii, fue la especie que más afecto a los genotipos evaluados, ya que fue la única que obtuvo los promedios de menor valor para la variable peso fresco y peso seco le sigue *F. camptoceras*, y por último *F. graminearum*, algunas líneas evaluadas obtuvieron los mejores promedios, estudios de patogenicidad en trigo han demostrado que algunos aislados de *F. boothii* pueden ser tan agresivos para el trigo como aislamientos de *F. graminearum* (Goswami y Kistler, 2005).

Para la variable porcentaje de severidad, la respuesta a la infección por *F. graminearum*, presentó los valores de mayor valor; este resultado concuerda con lo que encontraron en un estudio realizado en Canadá, fue observado un alto nivel de variación en la agresividad entre y dentro de especies del complejo *F. graminearum*, siendo los aislamientos de *F. graminearum sensu stricto* los de mayor agresividad, seguidos por aislamientos de *F. boothii* (Malhipour y Gilbert, 2012).

Se conoce poco sobre las bases genéticas de la agresividad en las poblaciones de este hongo, para entender la naturaleza y la diversidad de los patógenos responsables de la fusariosis de la espiga, se han desarrollado un gran número de técnicas moleculares. Estas metodologías también se utilizan para estudiar las interacciones entre los patógenos y sus hospedantes (Nicholson *et al.*, 2003)

3.6 CONCLUSIONES

Las líneas de trigo evaluadas en esta investigación sirven como referencia para implementarlas en un programa de mejoramiento genético en el que el principal criterio de selección sea la búsqueda de resistencia a la fusariosis de la espiga así como las pudriciones de raíz, tallo y corona ocasionadas por el género *Fusarium*, ya que expresan diferentes niveles de resistencia a la infección.

3.7 LITERATURA CITADA

- Cámara Nacional de la Industria Molinera de trigo (CANIMOLT). 2015. Reporte estadístico 2015-2016. Medio de comunicación anual. México. 136 p.
- Goswami, R.S y Kistler, H. C. 2005. Pathogenicity and in plant mycotoxin accumulation among members of the fusarium graminearum species complex on wheat and rice. *Phytopathology*, 95: 1397-1404.
- Malihipour, A. y Gilbert, J. 2012. Molecular phylogenetic analysis, trichothecene chemotype patterns, and variation in aggressiveness of *Fusarium* isolates causing head blight in wheat. *Plant disease*, 96: 1016-1025.
- Mariscal, A. L. A., Solís, M. E., Villaseñor, M. H. E., Ramírez, R. A y Moreno, G. B. 2018. Manejo integrado de la secadera del trigo en El Bajío. Folleto técnico núm. 11. INIFAP-CIRCE-CEBAJ. Celaya, Guanajuato. 40 p.
- Nicholson. P., Chandler, E., Draeger, R. C., Gosman, N. E., Simpson, D. R., Thomsett, M. y Wilson, A. H. 2003. Molecular tools to study epidemiology and toxicology of *Fusarium* head blight of cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 691-703.
- Suaste, F. M; Iturriaga, de la F.G; Solís, M.E; Raya, P. J; Ramírez, P. J y Mariscal, A. L. 2020. Resistencia a *Fusarium* causante de pudriciones en trigo: actualidad y perspectivas para su uso en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 11(2). 14p.

