



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A *Fusarium* spp. EN
VARIEDADES DE TRITICALE MEXICANAS (x *Triticosecale*
Wittmack).**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

Gloria Sánchez Jiménez

Bajo la supervisión de: Dr. Santos Gerardo Leyva Mir



APROBADA



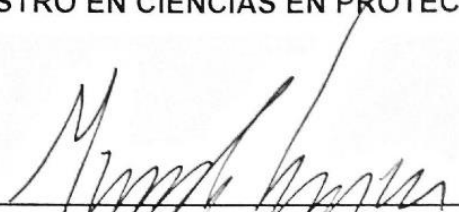
Chapingo, Estado de México mayo de 2020

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A *Fusarium* spp. EN
VARIEDADES DE TRITICALE MEXICANAS (x *Triticosecale*
Wittmack)”**

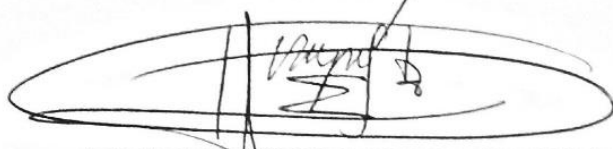
Tesis realizada por **GLORIA SÁNCHEZ JIMÉNEZ**, bajo la supervisión del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

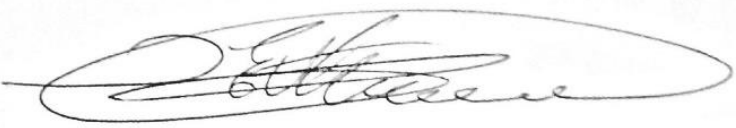
DIRECTOR:


DR. SANTOS GERARDO LEYVA MIR

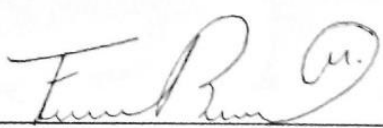
ASESOR:


DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

ASESOR:


DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

ASESORA:


DRA. MARÍA FLORENCIA RODRÍGUEZ GARCÍA

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL	3
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS.....	7
DATOS BIOGRÁFICOS.....	8
LISTA DE CUADROS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia del cultivo	4
2.2. Importancia nacional	5
2.3. Principales enfermedades	5
2.4. Tizón de la espiga causado por <i>Fusarium</i>	6
2.4.1. <i>F. graminearum</i>	7
2.4.2. <i>F. boothii</i>	7
2.4.3. <i>F. camptoceras</i>	8
2.5. Ciclo de la enfermedad.....	8
2.6. Epidemiología.....	9

2.7. Síntomas	9
2.8. Daños	10
2.9. Micotoxinas.....	10
2.10. Manejo integral.....	10
2.10.1. Control cultural.....	10
2.10.2. Control biológico	11
2.10.3. Control químico.....	11
2.10.4. Control genético.....	12
2.11. Resistencia vertical	12
2.12. Resistencia horizontal	12
2.13. Resistencia al tizón de la espiga causado por <i>Fusarium</i>	12
2.14. Resistencia del triticales al tizón de la espiga causado por <i>Fusarium</i> 13	
2.15. Mejoramiento del triticales en México	14
2.16. Literatura citada.....	15
3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A <i>Fusarium</i> spp. EN VARIEDADES DE TRITICALES MEXICANAS (x <i>Triticosecale</i> Wittmack)	21
3.1. RESUMEN.....	21
3.2. ABSTRACT	22
3.3. INTRODUCCIÓN.....	23
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.4.1. Ubicación del experimento.....	25
3.4.2. Variedades de triticales	25

3.4.3.	Aislamientos de <i>Fusarium</i>	26
3.4.4.	Siembra y manejo agronómico de las plantas	26
3.4.5.	Diseño experimental	27
3.4.6.	Producción del inóculo	27
3.4.7.	Fuente de inóculo	27
3.4.8.	Inoculación.....	28
3.4.9.	Evaluaciones.....	29
3.4.10.	Variables respuesta	32
3.4.11.	Análisis estadístico	32
3.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.5.1.	Respuesta de las variedades.....	33
3.5.2.	Comportamiento de los aislamientos	41
3.6.	CONCLUSIONES.....	42
3.7.	LITERATURA CITADA	43

DEDICATORIA

A DIOS

Por haberme dado la vida, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de mucho aprendizaje, experiencia, felicidad y logros personales.

A MIS PADRES

Edmundo Sánchez Cerón y Esperanza Jiménez Martínez, por su amor, educación, consejos, comprensión y apoyo para lograr esta meta.

A MIS HERMANOS

Ebrulfo Sánchez Jiménez, Hernán Sánchez Jiménez y Dayana Lucía Sánchez Jiménez, por su amor, compañía y por el apoyo que siempre me brindaron día a día.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el gran apoyo económico brindado durante mis estudios de maestría.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, al **Departamento de Parasitología Agrícola** y al programa de posgrado de la **Maestría en Ciencias en Protección Vegetal**, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al **Dr. Santos Gerardo Leyva Mir** por haberme brindado el tiempo y conocimientos para la elaboración del presente trabajo de investigación.

A la **Dra. María Florencia Rodríguez García** por su participación, consejos y apoyo brindado durante la realización de esta investigación.

Al **Dr. Mateo Vargas Hernández** por su participación en la realización de este trabajo de investigación.

Al **Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir** por su participación en la realización de esta investigación.

A la **Dra. Leticia Robles Yerena** por el apoyo brindado en el trabajo de laboratorio.

Al **M.C. Antonio Segura Miranda** Coordinador de Posgrado de Protección Vegetal y **Maribel Espejel Cervantes** secretaria del mismo, por el apoyo brindado durante mi estancia en el posgrado.

Agradezco a mis amigos **Gloria Luna, Mayra Pérez, Gabriela Hernández, Merari Martínez, Celina, José Arturo, Daniel Quiroga y Daniel Cituk** por su ayuda durante la fase experimental de mi investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Gloria Sánchez Jiménez

Fecha de nacimiento: 29 de abril de 1991

Lugar de nacimiento: San Agustín Atzompa, Chiautzingo, Puebla, México.

CURP: SAJG910429MPLNML00

Profesión: Licenciada en Agronomía en Horticultura Protegida

Cédula profesional: 10112318

Desarrollo académico

Bachillerato: Preparatoria agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (2008-2011).

Licenciatura: Agronomía en Horticultura Protegida de la Universidad Autónoma Chapingo (2011-2015).

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Variedades de triticales utilizadas.....	26
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de las evaluaciones (DDI), para severidad.....	33
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de los aislamientos de <i>Fusarium</i> para ABCPE y peso de grano (g).	33
Cuadro 4. Comparaciones de medias del promedio de severidad (%) de cada variedad, en el análisis combinado a través de las cinco evaluaciones, de cada aislamiento.....	38
Cuadro 5. Comparaciones de medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de cada variedad, en el análisis combinado a través de las cinco evaluaciones, de cada aislamiento.....	39
Cuadro 6. Comparaciones de medias del peso de grano en gramos por espiga de cada variedad a través de las cinco evaluaciones.	40
Cuadro 7. Comparaciones de medias de la severidad (%) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de los tres aislamientos.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento de <i>F. camptoceras</i> (A), <i>F. graminearum</i> (B) y <i>F. boothii</i> (C) en medio de cultivo CLA.	27
Figura 2. Espiga de triticale inoculada	29
Figura 3. Escala visual para determinar el porcentaje de severidad del tizón de la espiga en triticale (escala propuesta en esta investigación por la autora del trabajo).....	31
Figura 4. Comportamiento de las variedades inoculadas con <i>F. boothii</i> durante las cinco evaluaciones.	34
Figura 5. Comportamiento de las variedades inoculadas con <i>F. camptoceras</i> durante las cinco evaluaciones.	35
Figura 6. Comportamiento de las variedades inoculadas con <i>F. graminearum</i> durante las cinco evaluaciones.	36

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A *Fusarium* spp. EN VARIEDADES DE TRITICALE MEXICANAS (x *Triticosecale* Wittmack)

RESUMEN

El tizón de la espiga causado principalmente por especies de *Fusarium* spp., es una enfermedad que afecta el rendimiento hasta un 60 % y calidad del grano de cereales, además de producir distintos tipos de micotoxinas. Con el objetivo de evaluar la resistencia en planta adulta de siete variedades de triticales a *Fusarium boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*, se estableció un experimento mediante un diseño de parcelas divididas, bajo condiciones de invernadero en el INIFAP-CEVAMEX-LANAREC. El incremento del inóculo se realizó mediante cultivos monospóricos en medio de cultivo agar-agua con hoja de clavel. Las pruebas de patogenicidad se realizaron durante la etapa de floración, por medio de la inoculación puntual mediante el método del algodón utilizando una solución con una concentración de 1×10^6 conidios ml^{-1} . Posteriormente se indujo a una epifitía artificial durante 96 horas. Se evaluó la severidad de la enfermedad en las espigas a los 4, 9, 14, 19 y 26 días después de la inoculación utilizándose una escala visual. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en variedades. Se identificó variación en los grados de resistencia que presentaron las variedades de triticales al tizón de la espiga, donde Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 mostraron resistencia a los tres aislamientos de *Fusarium*. Por otra parte, la variedad más susceptible a *F. boothii* fue Secano TCL96; para *F. camptoceras* y *F. graminearum* fue Caborca TCL79. Mientras que entre los tres aislamientos del estudio no hubo diferencia en el grado de severidad. Es importante considerar en los programas de mejoramiento genético de triticales la incorporación de resistencia a diversas especies de *Fusarium*, sobresaliendo en el presente estudio Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08.

Palabras clave: x *Triticosecale*, *F. boothii*, *F. camptoceras*, *F. graminearum*, resistencia.

Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Gloria Sánchez Jiménez
Director de tesis: Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

EVALUATION OF RESISTANCE TO *Fusarium* spp. IN VARIETIES OF MEXICAN TRITICALES (x *Triticosecale* Wittmack)

ABSTRACT

Fusarium head blight is mainly caused by *Fusarium* spp. species, and is a disease that affects the yield and quality of cereal grain in addition to producing different types of mycotoxins. In order to evaluate resistance in adult plants of seven varieties of triticales to *Fusarium boothii*, *F. camptoceras* and *F. graminearum*, an experiment was designed of divided plots under greenhouse conditions in the LANAREC-INIFAP-CEVAMEX. The increase of the inoculum was carried out by means of monosporic cultures in agar-water culture medium with carnation leaf. The pathogenicity tests were carried out during the flowering stage, by means of spot inoculation by the cotton method using a solution with a concentration of 1×10^6 conidia ml^{-1} . An artificial epiphyte was then induced for 96 hours. The severity of the disease in the spikes was assessed at 4, 9, 14, 19 and 26 days after inoculation using a visual scale. The analysis of variance showed significant differences ($P \leq 0.01$) in varieties. Variation was identified in the degrees of resistance presented by triticales varieties to *Fusarium* head blight, where Siglo TCL21 and Bicentenario TCL08 showed resistance to all three *Fusarium* isolates. On the other hand, the most susceptible variety to *F. boothii* was Secano TCL96; for *F. camptoceras* and *F. graminearum* it was Caborca TCL79. Meanwhile, among the three isolates of the study there was no difference in the degree of severity. It is important to consider in triticales breeding programs the incorporation of resistance to several *Fusarium* species, standing out in the present study Siglo TCL21 and Bicentenario TCL08.

Key words: x *Triticosecale*, *F. boothii*, *F. camptoceras*, *F. graminearum*, resistance.

Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Gloria Sánchez Jiménez
Director de tesis: Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittmack), se obtuvo artificialmente a partir del cruzamiento de trigo (*Triticum* spp.) con centeno (*Secale cereale* L.), combinando la productividad del trigo y el vigor del centeno, representando una alternativa para siembras de temporal en la agricultura (CIMMYT, 1976; Eudes, 2015; Mergoum et al., 2004; Murillo et al., 2001). De acuerdo con Oleszczuk y Banaszak (2017) en sus 140 años de historia, el triticale avanzó de una curiosidad botánica a un cultivo establecido; bastante competitivo con otros cereales, especialmente en condiciones extremas como tolerancia a bajas temperaturas, sequía y suelos ácidos y alcalinos.

Los principales países productores de este cereal son Polonia con 4,085,669 t, seguido de Alemania con 1,935,500 t y Francia con 1,381,935 t en una superficie de 284,443 ha. (FAOSTAT, 2018). México para el 2018, se reporta una superficie cultivada de 27,153 ha, con una producción de 25,403 t de grano y 421,092 t de forraje (SIAP, 2018).

El aumento de la superficie cultivada de triticale y el sistema de producción de temporal expone al cultivo a diversas condiciones ambientales contrastantes, produciendo la presencia de enfermedades y plagas propias del centeno y del trigo. Dentro de las limitantes de producción del triticale se encuentra la presencia de enfermedades como la escaldadura, mancha foliar, royas y el tizón de la espiga o fusariosis de la espiga (FE) (Mergoum et al., 2004).

El tizón de la espiga es una de las enfermedades más agresivas en los cereales de grano pequeño. Esta enfermedad está distribuida mundialmente y es causado por varias especies del género *Fusarium* y *Microdochium*. Aunque *Fusarium graminearum* es el patógeno predominante en la mayoría de las regiones (Magliano y Chulze, 2013; Xu y Nicholson, 2009). En algunos países como Estados Unidos de América ha provocado pérdidas económicas de 2.492 millones de dólares entre 1993 y 2001 en el cultivo de trigo y cebada (William, 2004), causando disminución del rendimiento por granos dañados y contaminados con micotoxinas (deoxinivalenol y nivalenol) perjudiciales para la

salud humana y animal (Mcmullen et al., 1997; Turkington et al., 2014; Wilson et al., 2018).

Esta enfermedad fue descrita por primera vez en 1891 en los Estados Unidos de América; posteriormente en México se observó en 1977 en el área del Altiplano de Jalisco ocasionando grandes pérdidas en el rendimiento en el cultivo de trigo (Mcmullen et al., 1997). Presentándose en regiones donde prevalecen las condiciones de alta humedad, temperaturas hasta 30 °C y prolongadas lluvias durante la floración y llenado de grano (Osborne y Stein, 2007).

Debido a la agresividad de la enfermedad es esencial que los productores cuenten con estrategias para mitigar las pérdidas causadas por esta enfermedad. Estas estrategias incluyen una integración de prácticas culturales, cultivares resistentes, la aplicación de fungicidas, control biológico y uso de sistemas de predicción (Wegulo et al., 2015). Sin embargo, los productores mexicanos tienen dificultad en el acceso de estrategias fitosanitarias. Por lo tanto, el uso de variedades resistentes es el método más económico y ecológicamente viable para el manejo del tizón de la espiga, (Gilbert y Fernando, 2004; McMullen et al., 1997).

De manera general las plantas pueden llegar a presentar resistencia a ciertos patógenos por poseer genes de resistencia ante los genes de virulencia del patógeno. Para el caso del triticale la resistencia al tizón de la espiga está condicionada por muchos loci de rasgos cuantitativos o QTL que combinan sus efectos aumentando los niveles de resistencia a la enfermedad (Kalih et al. 2015). Sin embargo, dentro una misma especie puede existir variación en la resistencia de las variedades ante los patógenos por poseer diferentes números de genes de resistencia a enfermedades (Agrios, 2005).

Actualmente en México se han mejorado las variedades modernas de triticale en cuanto a rendimiento y calidad en el forraje y el grano, sin embargo, se desconoce las características de resistencia que poseen las variedades de triticale al tizón de la espiga, ya que, no existen trabajos de investigación y no se ha considerado en los programas de mejoramiento genético.

1.1. Objetivo general

Evaluar el nivel de resistencia en planta adulta de siete variedades de triticale a la infección de *Fusarium graminearum*, *F. boothii* y *F. camptoceras*, causantes del tizón de la espiga en México.

1.2. Objetivos específicos

Identificar variedades de triticale resistentes a *Fusarium graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*, bajo condiciones de invernadero.

Determinar el efecto del tizón de la espiga en el peso de grano del triticale inoculado con tres aislamientos de *Fusarium*.

Identificar el grado de patogenicidad de *Fusarium graminearum*, *F. camptoceras* y *F. boothii*.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) es un cereal antropogénico relativamente nuevo en varios países (Eudes, 2015). Fue obtenido a partir del cruzamiento de trigo (*Triticum* spp.) con centeno (*Secale cereale* L.). Se describió por primera vez en Escocia en 1875 por Stephen Wilson obteniendo la primera cruce de trigo con centeno. Sin embargo, el mejoramiento de este cereal a nivel internacional, se da a partir de 1966 en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México (Mellado et al., 2008).

El objetivo inicial de su mejoramiento fue combinar la calidad y productividad del grano de trigo con el vigor (resistencia a enfermedades, tolerancia a la sequía y suelos pobres) aportado por el centeno (CIMMYT, 1976; Mellado et al., 2008).

Los triticales pueden ser hexaploides $(6x)^4$ u octoploides $(8x)$, esto depende de la especie de trigo que se haya usado en el cruzamiento. Los octoploides son obtenidos a partir del cruzamiento de trigo harinero (formula genómica AABBDD) con centeno (formula genómica RR), mientras que para los hexaploides se utiliza el trigo duro (formula genómica AABB), siendo estos los más usados comercialmente (Eudes, 2015; Mellado et al., 2008).

2.1. Importancia del cultivo

Aunque el triticale se usa principalmente en la alimentación animal, varios países, incluyendo a México, han realizado mejoras para aumentar la calidad del grano para consumo humano (Mcgoverin et al., 2011). Sin embargo, uno de los mayores potenciales del triticale es su utilización como medio para el intercambio genético para la mejora del trigo en la resistencia a enfermedades y tolerancia a sequías. Existe un gran potencial en este cultivo debido a que se desarrolla en zonas no aptas para la producción de trigo. Por ejemplo, en las regiones propensas a la sequía del norte de África, el triticale puede ser una excelente alternativa al cultivo del trigo y la cebada. También puede desempeñar un papel importante en la recuperación de suelos, así también puede ser utilizado como biocombustible (Furman, 2016).

En el año 2018 mundialmente se obtuvo una producción de 13,576,127 t. Los principales países productores fueron Polonia con 4,085,669 t obtenidas en una superficie cosechada de 1,287,969 ha, seguido de Alemania con 1,935,500 t en una superficie de 357,700 ha, en tercer lugar, Francia con 1,381,935 t en una superficie de 284,443 ha. Dentro de los principales países exportadores se destacan Polonia, Lituania y Alemania, siendo este último el principal importador (FAOSTAT, 2018).

2.2. Importancia nacional

La producción de triticale en México, es principalmente para la alimentación animal. Sin embargo, con la introducción de nuevas variedades, los productores están reconsiderando su interés en producir este cultivo para consumo humano. Ya que, se considera una alternativa en zonas donde la lluvia y las temperaturas son una limitante para la producción agrícola (Mergoum et al., 2004).

El SIAP (2018) reportó una superficie cultivada de 27,152 has, con una producción de 421,092 t de forraje en verde y 25,403 t de grano. La producción está concentrada en 12 estados, siendo los principales productores de forraje en verde Querétaro con 73,365 t obtenidas en una superficie de 2,148 has, seguido de Chihuahua con 57,005 t en una superficie de 1,758, en tercer lugar, Durango con 55,146 t en una superficie de 1,595 has. Sin embargo, el principal productor de grano fue el Estado de México con 22,360 t representando el 94% de la producción nacional.

2.3. Principales enfermedades

El aumento de la superficie cultivada de triticale expone al cultivo a diversas condiciones ambientales contrastantes, propiciando la presencia de muchas enfermedades propias del centeno y del trigo. Siendo esto una limitante para la producción y calidad. Donde destacan las enfermedades foliares como la escaldadura causada por *Rhynchosporium secalis*, mancha foliar por *Zymoseptoria avenae* f. sp. *triticea* y *Ascochyta graminicola* (CIMMYT, 1976; Zillinsky, 1984).

También puede ser atacado por royas y dentro de estas *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* y *P. triticina* que afectan al trigo, cebada y otras gramíneas, provocando daños en etapas tempranas del cultivo disminuyendo el amacollamiento, pérdida de peso y calidad de los granos. Respecto al ataque de carbones causados por *Ustilago tritici*, pudriciones radicales por *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, manchas bacterianas y enfermedades virosas raramente sufre daños, dicha resistencia proviene del centeno. En cuanto al tizón de la espiga causado por *Fusarium graminearum*, *F. avenaceum* y *F. culmorum*, el triticale desde sus orígenes es susceptible a esta enfermedad disminuyendo el rendimiento hasta un 48% y la calidad del grano (CIMMYT, 1976; Eudes, 2015; Mellado et al., 2008).

2.4. Tizón de la espiga causado por *Fusarium*

El tizón de la espiga es una enfermedad que afecta a los cereales como el trigo, cebada, triticale y otros cereales de grano pequeño (Del Ponte et al., 2017). Fue descrita por primera vez en 1891 en Estados Unidos de América. Hasta hace poco tiempo se consideraba a *Fusarium graminearum* (FGSC) (teleomorfo: *Gibberella zeae*) como el principal agente causal (McMullen et al., 2012). Sin embargo, existen otras especies que pueden estar asociadas a esta enfermedad, esto depende de factores como la zona geográfica y el cultivo. Dentro de una región la distribución y el predominio de los patógenos está determinado principalmente por factores climáticos como la temperatura y la humedad relativa (Xu y Nicholson, 2009). Para el cultivo de triticale los principales patógenos causantes de esta enfermedad son *F. culmorum* y *F. graminearum* (Kalih et al., 2015; Schilling et al. 1996).

El tizón de la espiga se presenta en regiones cálido-húmedas del mundo, como el Norte-Centro de Europa, Asia, principalmente en China y Japón donde se reporta como endémica. También se ha reportado en el Norte de África, norte de Estados Unidos, sur de Canadá y el sur del continente Americano (Ireta y Gilchrist, 1994). En el centro y sureste de Europa predomina *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* y *F. poae.*, en Australia se encuentra *F. graminearum*, mientras que *F. asiaticum* se distribuye en Asia. Para el sur de América, Estados

Unidos de América, México, Sudáfrica, suroeste de Rusia, Canadá y el resto de Europa se asocia *F. graminearum* (McMullen et al., 2012; Xu y Nicholson, 2009).

En México el tizón de la espiga se reportó por primera vez en el Altiplano de Jalisco en 1997 en el cultivo de trigo; posteriormente se observó en Michoacán, Jalisco y el Estado de México (Valle de Toluca y Jilotepec). Esta enfermedad ha aumentado en los últimos años debido al incremento del área de producción de los cereales, provocando una disminución del 17% en el rendimiento de variedades susceptibles (Ireta y Gilchrist, 1994; Osman et al., 2015). Cerón-Bustamante et al. (2018) encontraron diferencias regionales en la composición de patógenos asociados al tizón de la espiga en trigo, donde *F. boothii* predomina en la región Mixteca y el Bajío, mientras que *F. avenaceum* y especies del complejo *F. tricinatum* (FTSC) en la región de las zonas Altas. No obstante, Osman et al. (2015) encontraron que *F. graminearum* prevalece en siete lugares en seis estados de México en los cultivos de triticale, trigo, cebada y Maíz.

2.4.1. *F. graminearum*

Es la principal especie asociada con el tizón de la espiga. Hasta el momento *F. graminearum* (fase teleomórfica = *Gibberella zeae* Schwein (Petch)) se ha registrado en todos los continentes excepto en la Antártida (Backhouse, 2014). Se considera la principal especie que ha causado grandes epidemias en América del Norte (McMullen et al., 2012). En el caso de China, Corea y Japón, es la especie predominante y ocurre principalmente en lugares donde la temperatura anual media es de 15 °C o inferior (Qu et al., 2008). Lee et al. (2012) mencionan que *F. graminearum* predomina en áreas donde se cultiva maíz en monocultivo. En México se ha encontrado en los cultivos de maíz, trigo harinero, trigo duro y triticale (Ireta y Gilchrist, 1994; Osman et al., 2015).

2.4.2. *F. boothii*

F. boothii se ha registrado en pocos lugares, principalmente en África y México. Puede ser encontrado en lugares cálidos, con menor estacionalidad de la temperatura y condiciones más secas en la etapa de antesis (Backhouse, 2014).

En el 2018 en Estados Unidos de América se reportó por primera vez a *F. boothii* como causante del tizón de la espiga (Wegulo et al., 2015). En México (Cerón-Bustamante et al., 2018) encontraron que *F. boothii* predomina en la región Mixteca en el sur de México. Sin embargo, no solo afecta a los cereales, ya que, se ha encontrado asociado a la pudrición poscosecha del fruto del tomate en Brasil (Gomes et al., 2015).

2.4.3. *F. camptoceras*

F. camptoceras se considera un hongo saprofita principalmente en regiones subtropicales y tropicales (Mule et al., 1997). Fue descrito originalmente por Wollenweber y Reinking en 1925 a partir de la descomposición de la fruta del plátano (*Musa sapientum* L.) y del cacao (*Theobroma cacao* L.) (Leslie y Summerell, 2006). Sin embargo, se ha encontrado como patógeno causante del tizón de la espiga en el cultivo de trigo (Ceron- Bustamante et al., 2018, Ireta y Gilchrist, 1994; Muthomi y Murutu, 2003).

2.5. Ciclo de la enfermedad

El tizón de la espiga es una enfermedad que se presenta en zonas templadas y semitropicales durante la floración (antesis) y llenado de grano (McMullen et al., 2012; Osborne y Stein, 2007). Puede llegar a sobrevivir durante varios años como saprofita en forma de micelio o peritecios inmaduros en residuos de cosecha y semillas infectadas (Ireta y Gilchrist, 1994; Kohli, 1989; Zillinsky, 1984). En los residuos se producen macroconidios y ascosporas los cuales son diseminados por el viento y el salpique de las gotas de lluvia de manera ascendente hacia la espiga (Goswani y Kistler, 2004; Zillinsky, 1984).

La infección inicia cuando las ascosporas o macroconidios se depositan sobre las glumas o anteras expuestas, posteriormente se inicia el proceso de penetración a través de la antera o por los estomas entre 36 a 48 horas después de la inoculación, seguido de la penetración de la lema, gluma, palea y el ovario (Ireta y Gilchrist, 1994; Xu y Nicholson, 2009). Luego de la penetración las hifas del hongo crecen subsecuentemente e intercelularmente colonizando el tejido (Jansen et al., 2005).

Durante la colonización de la espiga se producen alteraciones en el hospedante como la degeneración del citoplasma y organelos celulares causando la desintegración de la célula provocado por la acción de las enzimas y micotoxinas del patógeno (Xu y Nicholson, 2009).

2.6. Epidemiología

El desarrollo de esta enfermedad depende de la interacción simultánea entre factores como un hospedante susceptible, un patógeno virulento, factores ambientales favorables y la intervención humana.

La temperatura y la humedad alta son los factores ambientales que más influyen en la incidencia y la severidad de la enfermedad (Osborne y Stein, 2007). Sin embargo, las epidemias severas, se producen en el momento de mayor susceptibilidad (etapa de floración), coincidiendo con periodos de precipitación prolongada, temperatura de 20 °C a 30 °C y humedad relativa > 95 % durante 40 a 60 horas, debido a que, este tiempo es suficiente para producir la infección (Ireta y Gilchrist, 1994). Flores-López et al. (2007) mencionan que la temperatura mínima de 11 °C, temperatura media 16.5 °C, oscilación térmica menor a 13.4 °C y una precipitación pluvial mayor de 30 mm intensifican el índice relativo de la enfermedad.

2.7. Síntomas

Los síntomas característicos del tizón de la espiga son una decoloración prematura de las espiguillas infectadas (Warham et al. 1997). Si las espigas se infectan tempranamente se provoca la esterilidad de las florecillas y el grano no se desarrolla (Díaz de Ackermann et al., 2002; Ireta y Gilchrist, 1994). A medida que el hongo esporula se producen masas de esporas (macroconidias) de color rosa-anaranjada (Drahansky et al., 2016).

En infecciones más tardías se obtienen granos deformes, arrugados y contaminados con micotoxinas. Por último, si las infecciones ocurren posterior al llenado de grano, el desarrollo del mismo no es afectado, pero pueden estar contaminados con micotoxinas (Ireta y Gilchrist, 1994; McMullen et al., 2012; Zillinsky, 1984).

2.8. Daños

El tizón de la espiga provoca reducción en el rendimiento entre el 30% al 70% de los cereales por granos dañados, arrugados y de mala calidad por estar contaminados con micotoxinas. En consecuencia, el precio del producto y subproductos en el mercado disminuyen drásticamente (Del Ponte et al., 2017; Miedaner, 1997; Oettler y Wahle, 2001).

2.9. Micotoxinas

Los granos contaminados con micotoxinas se consideran un riesgo en la seguridad alimentaria por ser perjudiciales para la salud humana y animal. (Sobrova et al., 2010; Wilson et al., 2018).

Las principales micotoxinas producidas por especies del género *Fusarium* son los tricotecenos B, dentro de los cuales se encuentran el deoxinivalenol (DON) y sus derivados acetilados 3-acetil deoxinivalenol (3ADON) y 15-acetil deoxinivalenol (15ADON); así como el nivalenol (NIV) y su derivado 4-acetil nivalenol (fusarenol, FUS-X). Siendo el DON la micotoxina encontrada con mayor frecuencia en granos contaminados (Comisión Europea (a), 2006; Magliano y Chulze, 2013; Sobrova et al., 2010). Mientras que Perkowski y Kaczmarek (2002) encontraron DON y 3ADON en granos contaminados de triticale a causa de la infección de *F. culmorum*. La Comisión Europea (b) (2006) estableció la ingesta diaria tolerable (TDI) de 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ por peso corporal (pc) de DON y de 0.7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pc para NIV.

2.10. Manejo integral

El tizón de la espiga es una enfermedad de difícil control, debido a su naturaleza agresiva; por lo tanto, es importante la adopción de un manejo integral con un enfoque preventivo. (Dahl y Wilson, 2018; Díaz de Ackermann et al., 2002), utilizando el control genético (cultivares resistentes), cultural, biológico, químico y la adopción de sistemas de predicción (Wegulo et al., 2015).

2.10.1. Control cultural

Se basa en evitar la exposición de los puntos susceptibles del cultivo a la infección de esporas durante la floración y llenado de grano. Por lo tanto, la rotación con cultivos no susceptibles (girasol, soya, canola y leguminosas) y la recolección de residuos infectados ayuda a disminuir la incidencia de la enfermedad. Operaciones de labranza donde los residuos infectados quedan bajo el suelo, acelera el proceso de mineralización del rastrojo e impide la multiplicación y presión del inoculo (Díaz de Ackermann et al., 2002; McMullen et al., 2012).

La humedad es un factor importante en el desarrollo y la acumulación de micotoxinas en los granos, por lo tanto, para manejar la enfermedad los productores deben evitar el exceso de riegos durante la etapa de antesis y durante el primer periodo de desarrollo del grano (Wegulo et al., 2015).

2.10.2. Control biológico

Esta táctica se basa en el uso de hongos y bacterias antagonistas contra *Fusarium* spp. Las bacterias frecuentemente utilizadas son *Bacillus* spp. (Schisler et al., 2002) y *Pseudomonas* spp. Los hongos antagonistas utilizados son *Cryptococcus* spp. (Schisler et al., 2002) y *Trichoderma* spp. (Matarese et al., 2012). Este tipo de control debe ser combinado con otras tácticas para potencializar su eficacia.

2.10.3. Control químico

Los fungicidas más utilizados para el control del tizón de la espiga son los fungicidas DMI (Inhibidores de la demetilación) metconazol, propiconazol, protioconazol y tebuconazol, que tienen el modo de acción en la biosíntesis de esterol en las membranas, donde el protioconazol es el más efectivo contra el tizón de la espiga, sin embargo, no es eficaz contra la roya lo que ha llevado a su mezcla con tebuconazol. Estos fungicidas son aplicados de forma preventiva durante la floración del cultivo (periodo de mayor susceptibilidad) después de una lluvia intensa. No obstante, los fungicidas por sí solos no son suficientes para

controlar el tizón de la espiga y prevenir la acumulación de DON en los granos (Mesterházy, 2014; Magliano y Chulze, 2013; McMullen et al., 2012).

2.10.4. Control genético

El uso de variedades resistentes es determinante en la planeación y ejecución de un manejo integral por ser considerado el método más económico y sostenible para el control del tizón de la espiga (Gilbert y Fernando, 2004).

Debido a la naturaleza cuantitativa de la resistencia, el desarrollo de cultivares resistentes ha sido lento, y hasta la fecha sólo existen unos pocos cultivares con resistencia moderada en todo el mundo (Bai y Shaner, 2004). Por otra parte, en México las variedades de triticale en producción no muestran niveles de resistencia adecuados al tizón de la espiga.

2.11. Resistencia vertical

Es conocida como resistencia específica, cualitativa y no duradera. Es determinada por uno o algunos genes y puede ser resistente a una raza de patógeno y susceptible a otra (Agrios, 2005).

2.12. Resistencia horizontal

Es conocida como resistencia poligénica, no específica, general, cuantitativa y durable. Está determinada por muchos genes menores y es eficaz para varias razas de una misma especie de patógeno. Este tipo de resistencia es afectada por diferentes condiciones ambientales, por lo tanto puede variar (Agrios, 2005).

2.13. Resistencia al tizón de la espiga causado por *Fusarium*

En los últimos años, a causa de la preocupación por la seguridad alimentaria asociados con niveles elevados de DON, ha provocado un mayor enfoque en la búsqueda de rasgos de resistencia expresadas en los granos (McMullen et al.,

2012). La resistencia al tizón de la espiga es de naturaleza cuantitativa y generalmente se ha caracterizado como loci de caracteres cuantitativos (quantitative trait loci, QTL) que se encuentran asociados con la resistencia tipo II (Kalih et al., 2014; Shen et al., 2003).

Se han identificado cinco tipos de resistencia en trigo: resistencia tipo I donde el hospedante ofrece resistencia a la infección inicial, debido a esto el patógeno no penetra los tejidos de la planta; resistencia tipo II asociada a la resistencia que impide la propagación de la infección a través de la espiga; resistencia tipo III ó resistencia a la infección del grano; resistencia IV ó tolerancia; por último, la tipo V ó resistencia a la acumulación de micotoxinas (Ireta y Gilchrist, 1994; Martin et al., 2017; Mesterhazy, 1995; Shroeder y Christensen, 1963).

La resistencia tipo II es la más estudiada y se considera lo más confiable para seleccionar genotipos resistentes. Por ser la más estable, heredable y persistente a través de diferentes ambientes. Mostrando una herencia cuantitativa, controlada por genes menores de efecto principalmente aditivo y un fuerte componente de dominancia. Para seleccionar este tipo de resistencia se utiliza el método de inoculación puntual (inoculación de espiga individual) (Bai y Shaner, 2004; Bai y Shaner, 1994; Gilchrist-Saavedra et al., 2005; Imathiu et al., 2014).

Algunas características agronómicas de los cultivos se asocian con la resistencia pasiva al tizón de la espiga. Como es la diferencia en características fenotípicas como en el tamaño, debido a que las variedades más altas son más afectadas que las variedades bajas (Buerstmayr et al., 2000). También, cultivares con menores periodos de floración son afectados con menor severidad que aquellos con mayores periodos de floración, debido a que pueden escapar a las condiciones favorables para la infección del hongo (Wegulo et al., 2015).

2.14. Resistencia del triticale al tizón de la espiga causado por *Fusarium*

Son muy pocas las investigaciones que discutan la resistencia al tizón de la espiga por *Fusarium* en el triticale. Sin embargo, la resistencia en el triticale está

relacionada principalmente a la presencia de un loci de caracteres cuantitativos (*Quantitative Trait Loci, QTL*) y se asocia a la resistencia tipo II (Kalih et al., 2014).

Existe una amplia variación en la resistencia que presenta el triticale al tizón de la espiga, ya que en unos estudios el triticale muestra resistencia, mientras que en otros es susceptible (Góral y Arseniuk, 2003). Góral (2009) encontró que las líneas de triticale de invierno infectadas por *F. culmorum* presentaron dos veces menos severidad de síntomas que las líneas de trigo cultivadas en el mismo periodo.

No obstante, en los últimos años, los cultivares de triticale de tallo corto se han vuelto populares en los programas de mejoramiento. Se sabe a partir del cultivo de trigos enanos, que el acortamiento en la altura de las plantas aumenta el riesgo a la infección de *Fusarium* (Eudes, 2015). Kalih et al. (2014) encontraron que el gen Ddw1 no sólo disminuye la altura de la planta sino que también aumenta la susceptibilidad del triticale al tizón de la espiga. Además, observaron una amplia variabilidad de la resistencia del tizón de la espiga en las líneas enanas, explicada por la presencia de QTLs que confieren resistencia al tizón de la espiga a pesar de la presencia de Ddw1. Estos QTLs son la mitad del genoma del centeno (Miedaner et al., 2013).

2.15. Mejoramiento del triticale en México

La introducción y mejoramiento genético del triticale en México tiene sus inicios en 1964 por el CIMMYT, para crear nuevas y mejores combinaciones entre el trigo y el centeno desarrollando numerosos cultivares. Siendo Bacum y Yoreme las primeras variedades comerciales, mientras, que las variedades que han tenido más impacto en la producción de México son Navojoa, Eronga, Huamantla, Jilotepec, Secano TCL96, AN-31 y AN-34 (Mergoum et al., 2004).

Actualmente se han mejorado significativamente las variedades modernas de triticale en cuanto a su rendimiento, calidad y resistencia a algunos factores abióticos y bióticos. Sin embargo, aún se continúa trabajando en la calidad del grano para el consumo humano, resistencia a enfermedades como el tizón de la

espiga causado por *Fusarium* y su adopción más amplia para un producto comercial viable, a través del fitomejoramiento (Eudes, 2015).

2.16. Literatura citada

- Agrios, G. (2005). Fitopatología. In 2th Edition; Limusa. <https://doi.org/10.7764/rcia.v31i2.1305>
- Backhouse, D. (2014). Global distribution of *Fusarium graminearum*, *F. asiaticum* and *F. boothii* from wheat in relation to climate. *European Journal of Plant Pathology*, 139(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0374-5>
- Bai, G. and Shaner, G. (2004). Management and Resistance in wheat and barley to Fusarium Head Blight1. *Annual Review of Phytopathology*, 42(1), 135–161. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140340>
- Bai, G., and Shaner G. (1994). Wheat scab: perspective and control. *Plant Dis*, 78, 760–66
- Buerstmayr, H., Steiner, B., Lemmens, M. and Ruckenbauer, P. (2000). Heritability and Trait Associations. *Crop Science*, 40(August), 662–664.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1976). Trigo x Centeno = Triticale. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*, 5.
- Cerón-Bustamante, M., Ward, T., Kelly, A., Vaughan, M., McCormick, S., Cowger, C. and Nava-Díaz, C. (2018). Regional differences in the composition of Fusarium Head Blight pathogens and mycotoxins associated with wheat in Mexico. *International Journal of Food Microbiology*, 273(September 2017), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.003>
- Comisión Europea (a). (2006). Recomendación de la comisión de 17 de agosto de 2006, sobre la prevención y la reducción de las toxinas de *Fusarium* en los cereales y los productos a base de cereales. *Diario Oficial de La Unión Europea*, L234, 6.
- Comisión Europea (b). (2006). Reglamento (CE) N o 1881/2006 de la comisión por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticio. *Diario Oficial de La Unión Europea*, L 364, 5–24. Retrieved from http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out123_en.pdf
- Dahl, B. and Wilson, W. W. (2018). Risk premiums due to Fusarium Head Blight (FHB) in wheat and barley. *Agricultural Systems*, 162(October 2017), 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.01.025>
- Del Ponte, E. M., Valent, B. and Bergstrom, G. C. (2017). A special issue on Fusarium head blight and wheat blast. *Tropical Plant Pathology*, 42(3), 143–145. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0166-0>

- Díaz de Ackermann, M., Pereyra, S., Stewart, S. and Mieres, J. (2002). Fusariosis de la espiga en trigo y cebada. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*.
- Drahansky, M., Paridah, M., Moradbak, A., Mohamed, A., Owolabi, F., Abdulwahab taiwo Asniza, M. and Abdul Khalid, S. H. (2016). Integration of Fungicide Application and Cultivar Resistance to Manage Fusarium Head Blight in Wheat. *Intech*, (tourism), 13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- Eudes, F. (2015). *Triticale*. (1st ed.). https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_3
- FAOSTAT. (2018). Food and Agriculture Organization Statistic. Consultado en: <http://www.faostat.fao.org> (octubre 2019).
- Flores-López, H. E., Ireta-moreno, J. y Ruíz-Corral, A. J. (2007). Factores Meteorológicos Asociados al Tizón de la Espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en trigo (*Triticum aestivum* L .). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25(2), 102–108.
- Furman, B. J. (2016). *Triticale*. *Elsevier Ltd*, 3, 298–303. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00019-6>
- Gilbert, J. and Fernando, W. G. D. (2004). Epidemiology and biological control of Gibberella zeae / *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(4), 464–472. <https://doi.org/10.1080/07060660409507166>
- Gilchris-Saavedra, L., Fuentes-Dávila, G., Martínez-Cano, C., López-Atilano, R. M., Duveiller, E., Singh, R.P., Henry, M. e I. García, A. (2005). *Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada*. Segunda edición. México, D.F.:CIMMYT.
- Gomes, A. A. M., Machado, A. R., Ferreira, A. P. S., Dutra, D. C. and Pereira, O. L. (2015). Postharvest fruit rot of tomato in Brazil caused by *Fusarium boothii*. *Plant Disease*, 99(4), 555. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-14-0903-PDN>
- Góral, T. (2009). Resistance of winter triticale cultivars to Fusarium head blight caused by *Fusarium culmorum*. *Biuletyn IHAR*, 254, 41–50
- Góral, T. and Arseniuk E. (2003). Reaction of somaclonal lines of winter triticale to *Fusarium* infection part I: Fusarium head blight caused by *F. culmorum* W.G. Smith (Sacc.). *Biuletyn IHAR*, 228:117–130
- Goswami, R.S. and Kistler, H.C. (2004). Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5, 515-525.
- Imathiu, S. M., Edwards, S. G., Ray, R. V. and Back, M. (2014). Review article: Artificial inoculum and inoculation techniques commonly used in the investigation of fusarium head blight in cereals. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 49(2), 129–139. <https://doi.org/10.1556/APhyt.49.2014.2.1>

- Ireta, M. J., y Gilchrist, L. S. (1994). *Roña O Tizón de la espiga del Trigo (Fusarium graminearum Schwabe)*. Informe Especial de Trigo No. 20. CIMMYT. México, D.F. 25 p.
- Jansen, C., Von Wettstein, D., Schäfer, W., Kogel, K. H., Felk, A. and Maier, F. J. (2005). Infection pattern in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(46), 16892–16897. <https://doi.org/10.1073/pnas.0508467102>
- Kalih, R., Maurer, H. P. and Miedaner, T. (2015). Genetic architecture of fusarium head blight resistance in four winter triticale populations. *Phytopathology*, 105(3), 334–341. <https://doi.org/10.1094/PHTO-04-14-0124-R>
- Kalih, Rasha, Peter, H., Hackauf, B. and Miedaner, T. (2014). Effect of a rye dwarfing gene on plant height , heading stage , and Fusarium head blight in triticale (× *Triticosecale* Wittmack). *Theoretical and Applied Genetics*, 127(7), 1527–1536. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2316-9>
- Kohli, M. M. (1989). Taller sobre la Fusariosis de la espiga en América del Sur. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. Retrieved from <http://libcatalog.cimmyt.org/download/cim/15641.pdf>
- Lee, J., Kim, H., Jeon, J. J., Kim, H. S., Zeller, K. A., Carter, L. L. A. and Lee, Y. W. (2012). Population structure of and mycotoxin production by *Fusarium graminearum* from maize in South Korea. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(7), 2161–2167. <https://doi.org/10.1128/AEM.07043-11>
- Leslie, J. and Summerell, B. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. <https://doi.org/10.1002/9780470278376.ch13>
- Magliano, T. M. A. and Chulze, S. N. (2013). Fusarium head blight in Latin America. In *Springer International Publishing*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7091-1>
- Martin, C., Schoneberg, T., Vogelgsang, S., Vincenti, J., Bertossa, M., Mauch-Mani, B. and Mascher, F. (2017). Factors of wheat grain resistance to Fusarium head blight. *Phytopathologia Mediterranea*, 54(1), 154–166. <https://doi.org/10.14601/Phytopathol>
- Matarese, F., Sarrocco, S., Gruber, S. and Vannacci, G. (2012). Biocontrol of Fusarium head blight : interactions between Trichoderma and mycotoxigenic *Fusarium*. *Microbiology*, (158), 98–106. <https://doi.org/10.1099/mic.0.052639-0>
- Mcgoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G. and Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1155–1165. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4338>
- McMullen, M., Bergstrom, G., De Wolf, E., Dill-macky, R., Hershman, D., Shaner,

- G. and Van Sanford, D. (2012). A Unified Effort to Fight an Enemy of Wheat and Barley: Fusarium Head Blight. *Plant Disease*, 96(12).
- Mcmullen, M., Jones, R., Gallenberg, D. and America, S. (1997). Scab of Wheat and Barley: A Re-emerging Disease of Devastating Impact. *Plant Disease*, 81(12).
- Mellado, M., Matus, I. y Madariaga, R. (2008). Antecedentes sobre el triticale en Chile y otros países. *Inia*, 183, 74.
- Mergoum, M., Pfeiffer, W. H., Peña R. J., Ammar, K. and Rajaram S. (2004). Triticale improvement and production. In H. Mergoum, M., Gmez Macpherson (Ed.), *Triticale improvement and production, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from <http://books.google.be/books?id=vDp7R1CDXZ0C>
- Mesterházy, Á. (2014). *Chemical Control of Fusarium Head Blight of Wheat*. 232–247.
- Mesterházy, Á. (1995). Types and components of resistance to Fusarium head blight. *Plant Breed.* 114, 377-386.
- Miedaner, T., Kalih, R., Michel, S. and Maurer H. P. (2013). Molecular and genetic analysis of Fusarium head blight resistance in triticale (*XTriticosecale*). Abstracts of the 12th European Fusarium Seminar, 12–16 May 2013, Bordeaux, France, p 68
- Miedaner, T. 1997. Breeding wheat and rye for resistance to Fusarium diseases. *Plant Breed.* 116, 201-220.
- Mule', G., Altomare, C., Moretti, A., Perrone, G. and Logrieco, A. (1997). Molecular and biochemical characterization of two atypical toxigenic populations of *Fusarium camptoceras*. *Cereal Research Communications*, 25(3 II), 607–608.
- Murillo, B., Escobar, A., Fraga, H. y Pargas, R. (2001). Rendimiento de grano y forraje de líneas de Triticale y centeno en Baja California sur, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(2), 145–153.
- Muthomi, J. and Murutu, E. (2003). Occurrence of mycotoxin producing *Fusarium* species and other fungi on wheat kernels harvested in selected districts of Kenya. *African Crop Science Conference Proceedings*.
- Oettler, G., & Wahle, G. (2001). Genotypic and environmental variation of resistance to head blight in triticale inoculated with *Fusarium culmorum*. *Plant Breeding*, 120(4), 297–300. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00611.x>
- Oleszczuk, S. and Banaszak, Z. (2017). Triticale. In *Polyploidy and Hybridization for Crop Improvement*. <https://doi.org/10.1201/9781315369259>
- Osborne, L. E. and Stein, J. M. (2007). Epidemiology of Fusarium head blight on

- small-grain cereals. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.032>
- Osman, M., He X., Benedettelli, S. and Singh, P. K. (2015). Chemotype analysis of Mexican *Fusarium graminearum* sensu lato isolates. *13th-European Fusarium Seminar*, (MAY), 1–19.
- Perkowski, J., & Kaczmarek, Z. (2002). Distribution of deoxynivalenol and 3-acetyldeoxynivalenol in naturally contaminated and *Fusarium culmorum* infected triticale samples. *Nahrung/Food*, 46(6), 415–419. doi:10.1002/1521-3803(20021101)46:6<415::aid-food415>3.0.co;2-0
- Qu, B., Li H. P., Zhang, J. B., Xu, Y. B., Huang, T., Wu A. B. and Liao, Y. C. (2008). Geographic distribution and genetic diversity of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* on wheat spikes throughout China. *Plant Pathology*, 57(1), 15–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01711.x>
- Schilling, A. G., Moller, E. M. and Geiger, H. H. 1996. Polymerase chain reaction-based assays for species-specific detection of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *F. avenaceum*. *Phytopathology* 86, 515–522
- Schisler, D. A., Khan, N. I., Boehm, M. J. and Slininger, P. J. (2002). Greenhouse and Field Evaluation of Biological Control of Fusarium Head Blight on Durum Wheat. *Plant Disease*, 86(12): 1350–1356.
- Shen, X., Ittu, M. and Ohm, H. W. (2003). Quantitative trait loci conditioning resistance to fusarium head blight in wheat line F201R. *Crop Science*, 43, 850–857. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.8500>
- Shroeder, H. and Christensen, J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53, 831- 838.
- SIAP (2018): Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Revisado en línea: <http://www.siap.gob.mx/>. (octubre 2019)
- Sobrova, P., Adam, V., Vasatkova, A., Beklova, M., Zeman, L., and Kizek, R. (2010). Deoxynivalenol and its toxicity. *Interdisc Toxicol*, 3(3), 94–99. <https://doi.org/10.2478/v10102-010-0019-x>
- Turkington, T. K., Petran, A., Yonow, T. and Kriticos, D. J. (2014). *Fusarium graminearum* (Fusarium Head Blight). *HarvestChoice Pest Geography*, (September), 1–7.
- Warham, E. J., Butler, L. D. and Sutton, R. C. (1997). Ensayos para la semilla de maíz y de trigo. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*, 84.
- Wegulo, S. N., Baenziger, P. S., Hernandez, J., Bockus, W. W. and Hallen-adams, H. (2015). Management of Fusarium head blight of wheat and barley. *Crop Protection*, 73, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.025>
- Wilson, W., Dahl, B. and Njanje, W. (2018). Economic costs of Fusarium Head Blight, scab and deoxynivalenol. *World Mycotoxin Journal*, 11(2), 291–302.

<https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2204>

Xu, X., and Nicholson, P. (2009). Community Ecology of Fungal Pathogens Causing Wheat Head Blight. *Annual Review of Phytopathology*, 47(1), 83–103. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081737>

Zillinsky, F. J. (1984). Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. In *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. D.F., México.

3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A *Fusarium* spp. EN VARIEDADES DE TRITICALE MEXICANAS (x *Triticosecale* Wittmack)

3.1. RESUMEN

El tizón de la espiga causado principalmente por especies de *Fusarium* spp., es una enfermedad que afecta el rendimiento hasta un 60 % y calidad del grano de cereales además de producir distintos tipos de micotoxinas. Con el objetivo de evaluar la resistencia en planta adulta de siete variedades de triticales a *Fusarium boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*, se estableció un experimento mediante un diseño de parcelas divididas, bajo condiciones de invernadero en el INIFAP-CEVAMEX-LANAREC. El incremento del inóculo se realizó mediante cultivos monospóricos en medio de cultivo agar-agua con hoja de clavel. Las pruebas de patogenicidad se realizaron durante la etapa de floración, por medio de la inoculación puntual mediante el método del algodón utilizando una solución con una concentración de 1×10^6 conidios ml^{-1} . Posteriormente se indujo a una epifitias artificial durante 96 horas. Se evaluó la severidad de la enfermedad en las espigas a los 4, 9, 14, 19 y 26 días después de la inoculación utilizándose una escala visual. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en variedades. Se identificó variación en los grados de resistencia que presentaron las variedades de triticales al tizón de la espiga, donde Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 mostraron resistencia a los tres aislamientos de *Fusarium*. Por otra parte, la variedad más susceptible a *F. boothii* fue Secano TCL96; para *F. camptoceras* y *F. graminearum* fue Caborca TCL79. Mientras que entre los tres aislamientos del estudio no hubo diferencia en el grado de severidad. Es importante considerar en los programas de mejoramiento genético de triticales la incorporación de resistencia a diversas especies de *Fusarium*, sobresaliendo en el presente estudio Siglo TCL21 y Bicentenario.

EVALUATION OF RESISTANCE TO *Fusarium* spp. IN VARIETIES OF MEXICAN TRITICALES (x *Triticosecale* Wittmack)

3.2. ABSTRACT

Fusarium head blight is mainly caused by *Fusarium* spp. species, and is a disease that affects the yield and quality of cereal grain in addition to producing different types of mycotoxins. In order to evaluate resistance in adult plants of seven varieties of triticale to *Fusarium boothii*, *F. camptoceras* and *F. graminearum*, an experiment was designed of divided plots under greenhouse conditions in the LANAREC-INIFAP-CEVAMEX. The increase of the inoculum was carried out by means of monosporic cultures in agar-water culture medium with carnation leaf. The pathogenicity tests were carried out during the flowering stage, by means of spot inoculation by the cotton method using a solution with a concentration of 1×10^6 conidia ml^{-1} . An artificial epiphyte was then induced for 96 hours. The severity of the disease in the spikes was assessed at 4, 9, 14, 19 and 26 days after inoculation using a visual scale. The analysis of variance showed significant differences ($P \leq 0.01$) in varieties. Variation was identified in the degrees of resistance presented by triticale varieties to *Fusarium* head blight, where Siglo TCL21 and Bicentenario TCL08 showed resistance to all three *Fusarium* isolates. On the other hand, the most susceptible variety to *F. boothii* was Secano TCL96; for *F. camptoceras* and *F. graminearum* it was Caborca TCL79. Meanwhile, among the three isolates of the study there was no difference in the degree of severity. It is important to consider in triticale breeding programs the incorporation of resistance to several *Fusarium* species, standing out in the present study Siglo TCL21 and Bicentenario TCL08.

3.3. INTRODUCCIÓN

Triticale (*x Triticosecale* Wittmack) es un híbrido intergenérico de trigo (*Triticum* spp.) con centeno (*Secale cereale* L.). El objetivo inicial de su mejoramiento estuvo enfocado a combinar las mejores cualidades del trigo y el centeno, siendo una excelente alternativa en zonas no aptas para la producción de trigo (CIMMYT, 1976; Dobрева, 2016; Eudes, 2015). En México se cultiva actualmente 27,152 has, con una producción de 421,092 t de forraje en verde y 25,403 t de grano; los principales productores de forraje en verde son Querétaro, Chihuahua y Durango, mientras que el Estado de México es el principal productor de grano (SIAP, 2018).

Al inicio de su creación, el triticale era considerado resistente a diferentes plagas y enfermedades. Sin embargo, la expansión del área de cultivo aumentó la presión de selección sobre diversas plagas aumentando su susceptibilidad a enfermedades y plagas propias del centeno y del trigo; de estas las enfermedades son una de las principales limitantes para la producción de triticale, donde destaca el tizón de la espiga o fusariosis de la espiga (FE) (Dobрева, 2016; Eudes, 2015).

El tizón de la espiga es una de las enfermedades más agresiva de los cereales de grano pequeño (Backhouse, 2014; Magliano y Chulze, 2013; Zillinsky, 1984). En todo el mundo se han producido graves epidemias que han afectado el rendimiento hasta un 60% y la calidad de los granos. Disminuyendo el peso del grano, afectando la composición de carbohidratos y proteínas de los granos, así como la contaminación de estos con micotoxinas pertenecientes a la clase de los tricotecenos principalmente el deoxinivalenol (DON) y nivalenol (NIV), que son perjudiciales para la salud humana y animal, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria (Magliano y Chulze, 2013; Sobrova et al., 2010; Veitch et al., 2008).

Hasta hace poco tiempo se consideraba a *F. graminearum* (teleomorfo *Gibberella zeae* (Schwein)) como el principal agente causal (McMullen et al., 2012). Sin embargo, existen otras especies que pueden estar asociadas a la enfermedad, esto

depende de las condiciones climáticas como la temperatura y la humedad relativa, así como la zona geográfica y el cultivo (Qu et al., 2008; Xu y Nicholson, 2009). En México, las especies causales que predominan son *F. graminearum* y *F. boothii*, pero también están presentes *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. avenaceum* y *F. tricinctum* (Cerón-Bustamante et al., 2018; Ireta y Gilchrist, 1994; Osman et al., 2015).

El tizón de la espiga es una enfermedad difícil de controlar, debido a su naturaleza agresiva. No obstante, el uso de variedades resistentes es determinante en la planeación y ejecución de un manejo integral, por ser considerado el método más económico, efectivo y sostenible para el manejo de esta enfermedad (Gilbert y Fernando, 2004; McMullen et al., 1997).

Existen varios tipos de resistencia genética al tizón de la espiga que se reportan en el trigo, las más importantes son el tipo I, que es cuando el hospedante ofrece resistencia a la infección inicial y el tipo II, que se asocia con la resistencia que impide la propagación de la infección a través de la espiga (Shroeder y Christensen, 1963). Sin embargo, para el triticale la resistencia tipo II, es la más importante y estudiada ya que está asociada principalmente a la presencia de loci de caracteres cuantitativos (*Quantitative Trait Loci, QTL*) (Kalih et al., 2014). Kalih et al. (2015) mencionan que la resistencia al tizón de la espiga en triticale es causada por una multitud de QTL y la pirámide de ellos contribuye a una mayor resistencia.

La resistencia tipo II es considerada la más confiable para seleccionar genotipos resistentes, por ser más estable, heredable y menos afectada por factores no genéticos que la resistencia de tipo I (Bai y Shaner, 1994). Para poder distinguir entre los dos tipos de resistencia, se utilizan diferentes métodos de inoculación. Para estudiar la resistencia de tipo I, se aconseja el método de inoculación en masa (pulverización de espigas), mientras que para el tipo II se recomienda la inoculación puntual (inoculación de espiga individual) (Bai y Shaner, 2004; Gilchrist-Saavedra et al., 2005; Imathiu et al., 2014).

Las pocas investigaciones realizadas en este cereal muestran una amplia variación en la resistencia al tizón de la espiga. Pues existe una variación significativa entre los genotipos parentales en la resistencia a esta enfermedad (Góral y Arseniuk, 2003). Según Oettler y Wahle (2001) el triticale es menos susceptible al tizón de la espiga que el trigo. En un estudio comparativo que realizó Góral (2009) encontró que las líneas de triticale de invierno infectadas por *F. culmorum* presentaron dos veces menos severidad de síntomas que las líneas de trigo.

En la actualidad no se dispone de investigaciones que cuantifiquen los niveles de resistencia que tiene las variedades de triticale en México al tizón de la espiga. Lo anterior refleja la necesidad de realizar estudios para la caracterización de los niveles de resistencia de estas variedades, para posteriormente detectar nuevas fuentes de resistencia que puedan introducirse en los programas de mejoramiento. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de resistencia bajo condiciones de invernadero de siete variedades de triticale (x *Triticosecale* Wittmack) a la infección de *Fusarium graminearum* *F. boothii* y *F. camptoceras*.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Ubicación del experimento

El establecimiento del experimento se realizó durante los años 2018 y 2019, en el Laboratorio Nacional de Royas y otras Enfermedades de Cereales (LANAREC), perteneciente al Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que se encuentra ubicado en Texcoco, Estado de México, situado en las coordenadas geográficas de 19° 26' latitud norte y 98° 54' longitud oeste. El cual cuenta con un cámara de incubación que proporciona las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad presente.

3.4.2. Variedades de triticale

Se evaluaron siete variedades de triticales que han sido liberadas en México a través de los años las cuales se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variedades de triticales utilizadas.

Variedad	Días		Roya amarilla		Tizones y manchas	Ambiente	Usos
	Floración	Madurez	en hoja	en espiga			
Caborca TCL79	66	136	20*	10*	70*	Riego Noroeste Temporal	grano
Eronga TCL83	69	138	80	40	50	Sierra Tarasca	grano y forraje
Secano TCL96	59	129	60	30	80	Temporal	grano
Pollmer	66	135	70	20	70	Riego Noroeste	grano
Impulso TCL2016	65	133	10	5	60	Riego Bajío	grano y forraje
Siglo TCL21	63	133	10	10	70	Temporal	grano y forraje
Bicentenario TCL08	66	134	15	5	70	Temporal	grano y forraje

*% de severidad. (Información del programa de trigo y triticales del INIFAP-CEVAMEX).

3.4.3. Aislamientos de *Fusarium*

Se evaluaron tres aislamientos de *Fusarium* reportados en México: *Fusarium graminearum*, *F. boothii* (Rivera, 2016) y *F. camptoceras* (Galicia, 2017), los cuales fueron aislados de espigas de trigo con síntomas del tizón de la espiga, para comprobar que poseen diferentes genes de patogenicidad y de resistencia.

3.4.4. Siembra y manejo agronómico de las plantas

Las siete variedades se sembraron en macetas de plástico de 7 pulgadas, las cuales contenían sustrato (60% tierra y 40% Peat-Moss) previamente esterilizado con vapor libre. Se colocaron cinco semillas por maceta que luego se ralearon teniendo en cuenta su crecimiento vigoroso, dejando tres plantas por maceta. Obteniendo un total de 12 macetas por variedad. Las plantas se regaron dejando la humedad a capacidad de campo. La fertilización se realizó con urea (46-00-00) y Tricel-20 (fertilizante foliar) teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales del cultivo.

3.4.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas donde la parcela grande estaba representada por los aislamientos de *Fusarium* y las parcelas chicas por las variedades de triticale, ambas con un arreglo de Diseño Completamente al Azar. Se utilizaron 21 tratamientos (siete variedades x tres aislamientos de *Fusarium*) con tres repeticiones más los testigos. Cada unidad experimental estuvo representada por una maceta con tres plantas.

3.4.6. Producción del inóculo

El inóculo se incrementó por medio de cultivos monospóricos en medio de cultivo agar-agua con hoja de clavel (CLA) en el laboratorio de Micología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 1). El medio CLA utilizado consistió en agar agua al 2% (20 g de agar en 1 L de H₂O) más 10 a 12 trozos estériles de hoja de clavel de 5 mm, colocados en una caja Petri. Esto se realizó con el propósito de que las colonias de *Fusarium* formaran macroconidios uniformes en tamaño y forma (Leslie y Summerell, 2007).

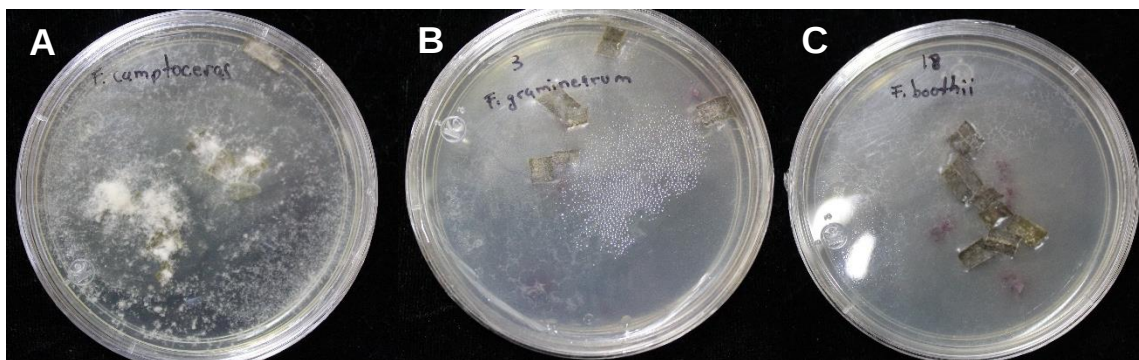


Figura 1. Crecimiento de *F. camptoceras* (A), *F. graminearum* (B) y *F. boothii* (C) en medio de cultivo CLA.

3.4.7. Fuente de inóculo

Como fuente de inóculo se utilizó una solución preparada con el crecimiento micelial en cajas Petri de cada aislado. Se tomaron los discos con medio CLA de

las cajas Petri donde se encontraba el hongo en fructificación, al cual se adicionó agua destilada y se raspó con un portaobjetos, el contenido resultante de este proceso se filtró a través de una malla y mezcló con un volumen conocido de agua destilada estéril. Una vez homogeneizada, la suspensión se filtró a través de una malla para eliminar restos de micelio y se llevó a un volumen conocido como lo indican Gilchris-Saavedra et al. (2005).

Posteriormente se preparó una suspensión con una concentración de 1×10^6 conidios ml^{-1} , esta concentración fue determinada con un hematocitómetro. Por último, se agregaron dos gotas de Tween 20 como adherente del inóculo, se agitó brevemente para evitar conglomerados de conidios y obtener una concentración más homogénea como lo mencionan Gilchris-Saavedra et al. (2005).

3.4.8. Inoculación

Se utilizó la inoculación puntual como método para aplicar a cada espiga de manera individual en la etapa de la antesis (emergencia de las anteras) mediante el método del algodón. Se seleccionaron tres espigas por maceta previamente identificadas. El método consistió en colocar dos copetes de algodón de 20 mg de peso embebidas con la solución de esporas bajo las glumas en el punto medio de la espiga; luego se cubrieron las espigas inoculadas con bolsas de papel glassine, metodología descrita por Gilchris-Saavedra et al. (2005) y por Imathiu et al. (2014) (Figura 2).



Figura 2. Espiga de triticale inoculada

Una vez inoculadas las espigas con los aislamientos de *Fusarium* se indujo una epifitias artificial. Después de esto las plantas se trasladaron a una cámara de incubación durante 96 horas con una temperatura media de 21 ± 1 °C, con un fotoperiodo de 12 horas, así como ocho horas de producción de rocío durante las primeras 24 horas y cuatro horas de rocío las siguientes 72 horas, con el fin de mantener la humedad relativa $< 95\%$ con ayuda de un humidificador (Hydrofogger). Posteriormente las plantas se trasladaron a un invernadero donde se mantuvieron a una temperatura promedio de 25 ± 10 °C hasta presentar síntomas.

3.4.9. Evaluaciones

Una vez transcurridas las 96 horas de incubación se realizaron cinco evaluaciones del progreso de los síntomas de la enfermedad en las espigas de cada tratamiento a los 4, 9, 14, 19 y 26 días después de la inoculación (DDI), utilizándose la escala visual del tizón de la espiga del triticale propuesta por la autora de esta investigación para triticale (Figura 3). Lo anterior para determinar el porcentaje de severidad, debido que no se reporta para triticale una escala para evaluar daño por *Fusarium* (Oettler y Wahle, 2001; Kalih et al., 2014)

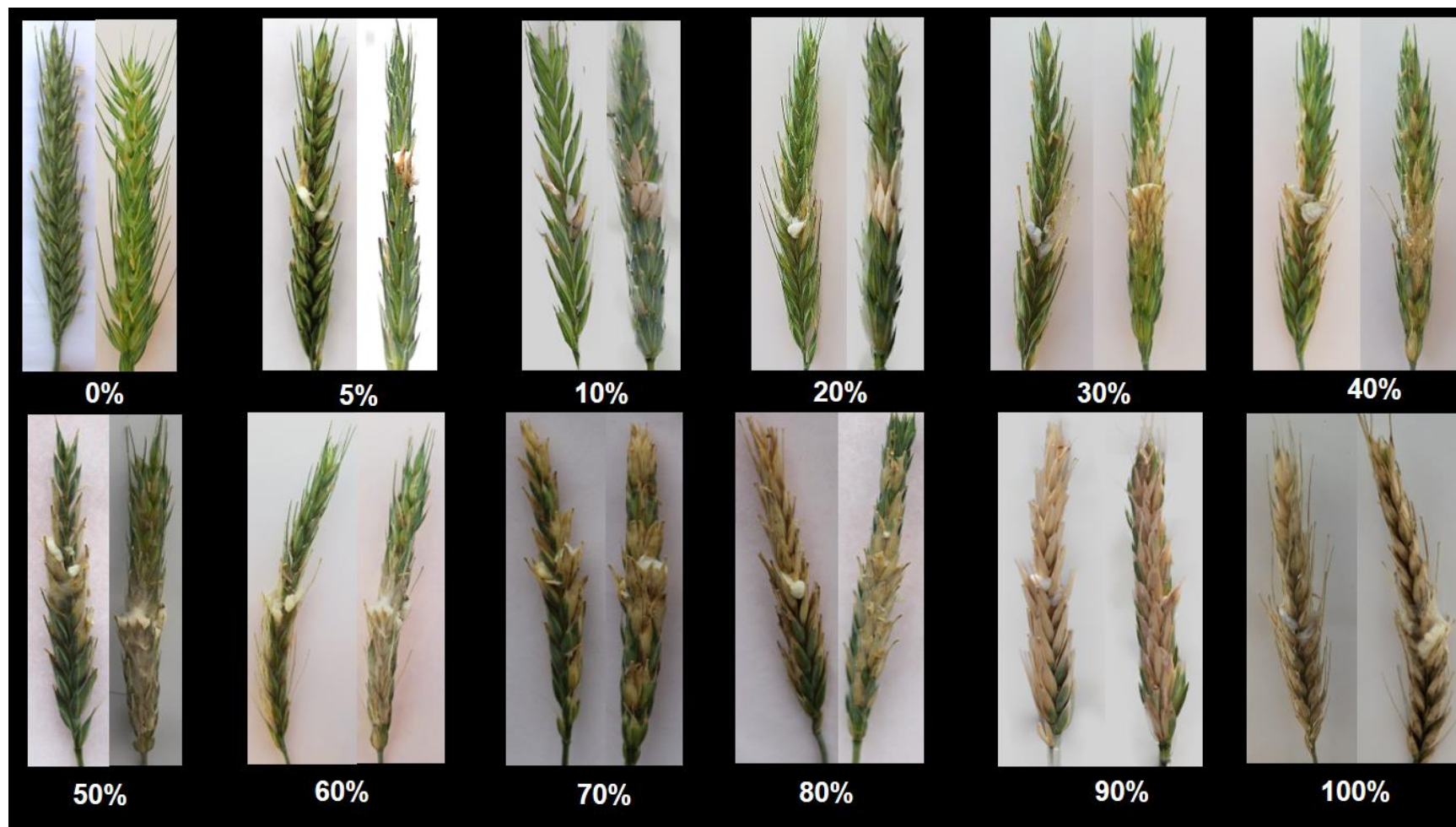


Figura 3. Escala visual para determinar el porcentaje de severidad del tizón de la espiga en triticale (escala propuesta en esta investigación por la autora del trabajo).

3.4.10. Variables respuesta

Las variables evaluadas fueron el porcentaje de severidad de la enfermedad causada por cada uno de los aislamientos de *Fusarium* después de las inoculaciones y el peso de granos obtenidos de cada espiga inoculada, una vez que llegaron a punto de cosecha.

3.4.11. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados estadísticamente con el programa SAS 9.4 (SAS Institute®, EUA) y se realizó comparaciones de medias para las variedades en estudio mediante la prueba de la diferencia significativa honesta de Tukey ($p=0.05$).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en las evaluaciones expresadas en días después de la inoculación (DDI), variedades y la interacción, por consiguiente, al menos una de las variedades mostró un comportamiento diferente en los niveles de severidad a través de las cinco evaluaciones de cada aislamiento de *Fusarium* (Cuadro 2). En la variable área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), no hubo significancia entre aislamientos, sin embargo, las fuentes de variación variedades y la interacción entre variedades*aislamientos mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$), esto indica que las variedades presentaron diferentes niveles de desarrollo de la enfermedad a través de los aislamientos (Cuadro 3). Por otra parte, para el peso del grano por espiga (P. G.), se encontró significancia ($P \leq 0.01$) entre aislamientos, variedades y en las interacciones variedades*aislamientos, esto indica que el valor promedio del P.G. entre aislamientos y en entre variedades fue diferente (Cuadro 3).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de las evaluaciones (DDI), para severidad.

F.V.	<i>F. boothii</i> <i>F. camptoceras</i> <i>F. graminearum</i>			
	G.L.	C.M.	C.M.	C.M.
DDI	4	22018.20**	16352.60**	14371.09**
Repetición	2			
DDI*Repetición	8	1149.51	117.72	344.10
Variedad	6	13911.73**	14082.59**	13944.10**
DDI*Variedad	24	1470.26**	1122.24**	1813.79**
Error	270	502.81	377.77	529.84
Total	314			
Media		27.64	28.29	24.31
C.V.		81.11	68.71	94.68

F. V.= Factor de Variación, G. L.= Grados de libertad, C.M. = Cuadrados Medios, DDI= Días después de la inoculación, C.V.= coeficiente de variación. ** Significativo con $P \leq 0.01$.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de los aislamientos de *Fusarium* para ABCPE y peso de grano (g).

F.V.	G.L.	ABCPE	G.L.	P. G.
Aislamiento	2	114805.86 ^{NS}	3	5.57**
Repetición	2		2	
Aislamiento*Repetición	4	168822.92	6	0.07
Variedad	5	3415805.82**	6	1.01**
Variedad*Aislamiento	10	396518.14**	18	0.30**
Error	138	144023.70	216	0.08
Total	161		251	
Media		547.39		0.60
C.V.		69.33		48.71

F. V.= Factor de Variación, G. L.= grados de libertad, ABCPE= Área bajo la curva del progreso de la enfermedad, P.G. = Peso del grano por espiga, C.V.= coeficiente de variación. ** Significativo con $P \leq 0.01$, ^{NS} No significativo.

3.5.1. Respuesta de las variedades

En la Figura 4 se observa el patrón de desarrollo de la enfermedad en las siete variedades durante las cinco evaluaciones para el aislamiento *F. boothii*; se encontró diferencias significativas entre variedades ($P<.0001$) en la evaluación final a los 26 DDI. Es decir, el porcentaje severidad fue significativamente menor en las variedades Bicentenario TCL08 y Siglo TCL21, con valores menores al 20 %, con respecto a Secano TCL96, Impulso TCL2016, Caborca TCL79 y Eronga TCL83, siendo estos los de mayor desarrollo de la enfermedad.

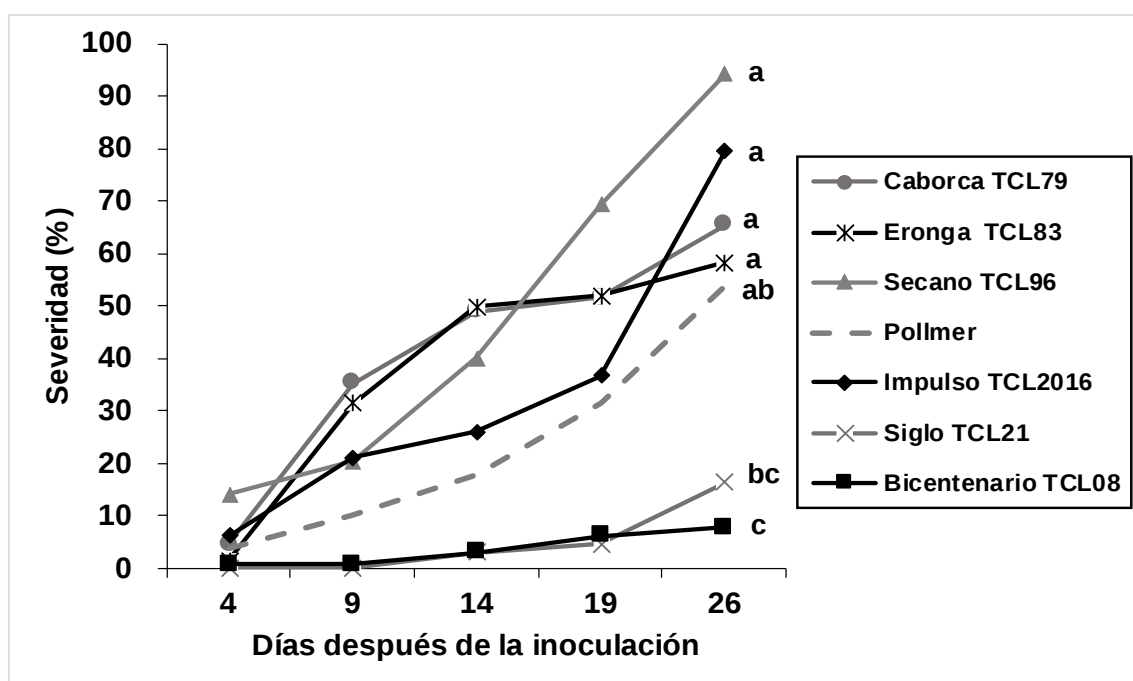


Figura 4. Comportamiento de las variedades inoculadas con *F. boothii* durante las cinco evaluaciones.

Para el aislamiento *F. camptoceras*, se encontró diferencias significativas entre variedades ($P<.0001$) (Figura 5). La severidad del tizón de la espiga fue significativamente mayor en las variedades Caborca TCL79 e Impulso TCL2016, al obtener valores superiores al 80% a los 26 DDI, mientras que Bicentenario TCL08 y Siglo TCL21 tuvieron severidades significativamente menores de 13.56 % y 16.67% respectivamente.

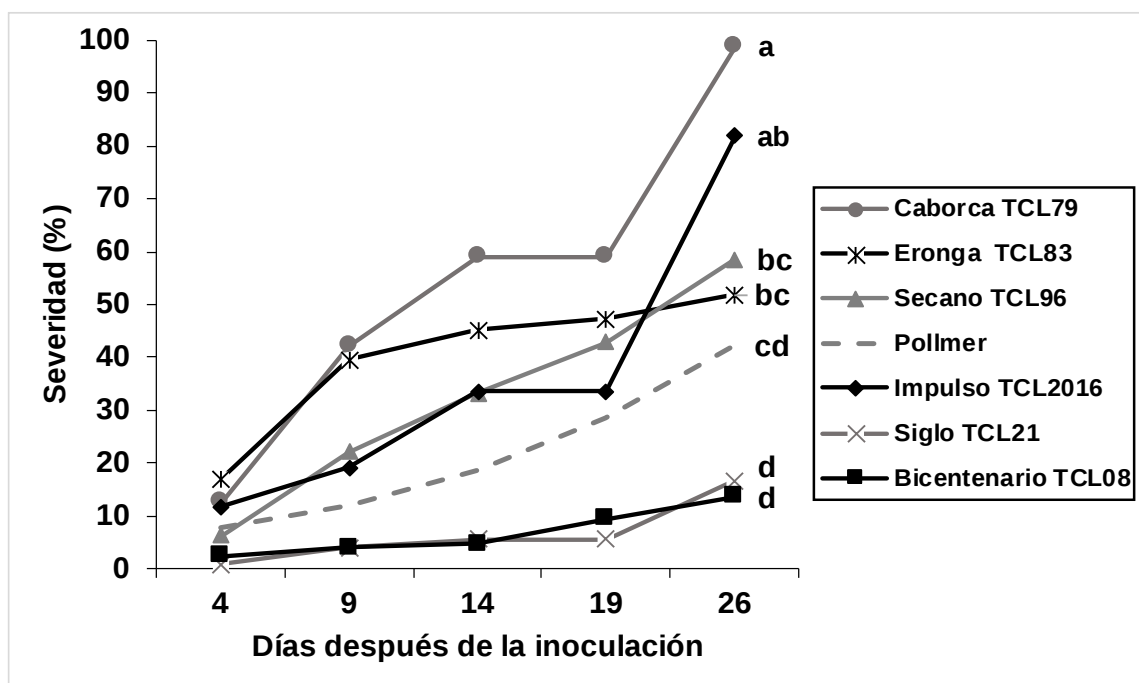


Figura 5. Comportamiento de las variedades inoculadas con *F. camptoceras* durante las cinco evaluaciones.

En cuanto al desarrollo de la enfermedad causado por *F. graminearum*, los valores más bajos de severidad final los mostraron las variedades Siglo TCL21 (1.56%) y Bicentenario TCL08 (7.78%), siendo estas significativamente diferentes ($P < .0001$) a las demás variedades. Sin embargo, los de severidades significativamente mayores fueron Pollmer (81.11%) y Caborca TCL79 (75.78%) (Figura 6).

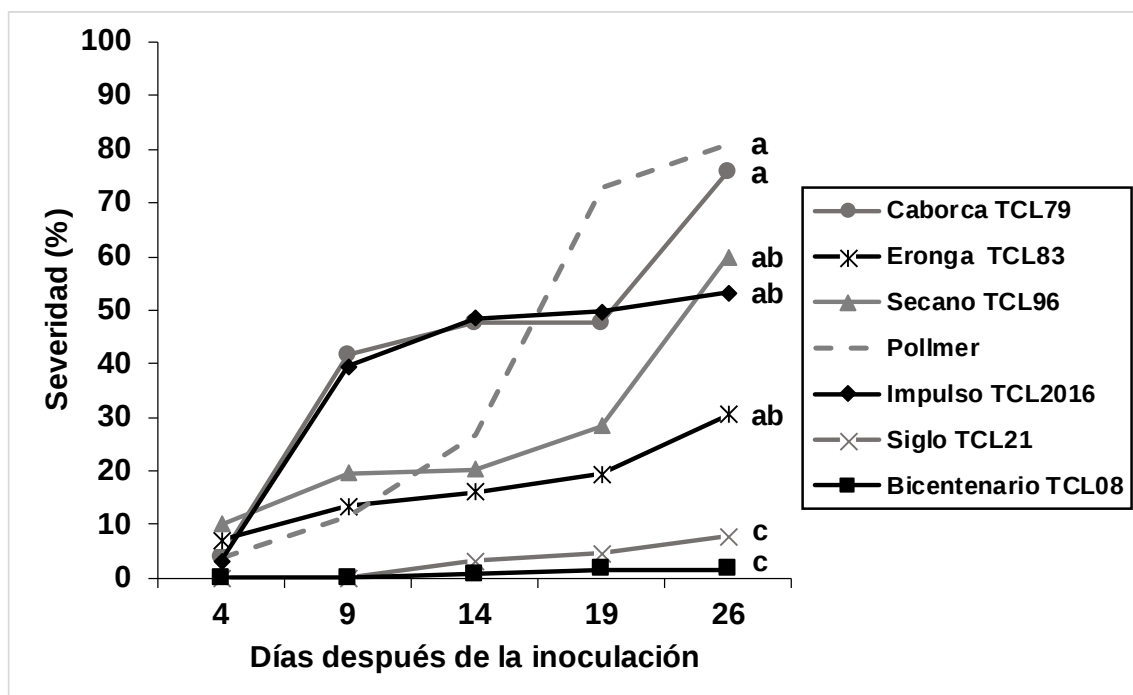


Figura 6. Comportamiento de las variedades inoculadas con *F. graminearum* durante las cinco evaluaciones.

La mayoría de las variedades presentaron síntomas característicos de la enfermedad a partir de los 4 días después de la inoculación (DDI) en cada aislamiento. Sin embargo, Bicentenario TCL08 comenzó a mostrar síntomas a partir de los 14 DDI para el aislamiento *F. graminearum* y la variedad Siglo TCL21 para *F. boothii* y *F. graminearum*, de igual forma, muestran porcentajes de severidad menores al 17% en las tres especies de *Fusarium*; dicho comportamiento puede deberse, como lo indicaron Bai y Shaner (2004), Imathiu et al. (2014), Shroeder y Christensen (1963), a que el patógeno penetró los tejidos de la planta, pero no hubo una propagación mayor de los síntomas a través de la espiga, es decir, las hifas de *Fusarium* no lograron invadir las células adyacentes al punto de infección, ya que probablemente dichas variedades poseen características genéticas que le permiten defenderse del patógeno.

Respuesta de las variedades combinadas a través de las cinco evaluaciones

En el Cuadro 4 se muestran las comparaciones de medias entre variedades para la variable porcentaje de severidad promedio en cada uno de los aislamientos de *Fusarium*.

Para *F. boothii* se encontró diferencias significativas entre variedades ($P < .0001$), donde Bicentenario TCL08 (3.7 %) y Siglo TCL21 (4.8 %) fueron estadísticamente diferentes a Secano TCL96 (47.6%), Caborca TCL79 (41.2%) y Eronga TCL83 (38.7%), obteniendo los porcentajes de severidad más bajos. En el caso de *F. camptoceras*, al igual que *F. boothii*, se encontró diferencias significativas entre variedades ($P < .0001$), donde Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 presentan los valores más bajos con 6.4% y 6.8% respectivamente, en tanto Caborca TCL79 con 54.3%, mostro la mayor severidad. Por último, para *F. graminearum*, de igual forma presenta diferencias significativas para variedades ($P < .0001$), donde Bicentenario TCL08 con 0.8% fue significativamente menor y Caborca TCL79 con 43.3% fue significativamente mayor. Los resultados muestran que la severidad promedio en las variedades varió de 3.7% a 47.6% en *F. boothii*, de 6.4% a 54.3% en *F. camptoceras* y de 0.8% a 43.3% en *F. graminearum*.

La severidad de la enfermedad varía ampliamente por las diferentes relaciones que se establece entre el patógeno y el hospedante. Dicho comportamiento se presentó en las siete variedades inoculadas con los tres aislamientos de *Fusarium* donde se encontró diferencias significativas en el porcentaje de severidad promedio ($P < .0001$), destacando que las variedades Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 obtuvieron valores significativamente menores en los tres aislamientos, es decir mostraron resistencia, mientras que las demás variedades presentaron susceptibilidad, siendo Caborca TCL79 la más susceptible. Por lo tanto, existe un amplio rango de niveles de resistencia en las variedades evaluadas, esto coincide con Oettler y Wahle (2001), quienes encontraron una variación en los niveles de resistencia a *F. culmorum* en 100 genotipos de triticale

a pesar de la presión de la infección. De igual forma, Kalih et al. (2014) observaron una amplia variación de la resistencia al tizón de la espiga en líneas enanas de triticale explicado por la presencia de QTLs que confieren resistencia al tizón de la espiga a pesar de la presencia del gen Ddw1 que disminuye la altura de la planta. Esto se debe a que existe una variación significativa entre los genotipos parentales en los grados de resistencia al tizón de la espiga (Góral y Arseniuk, 2003).

Cuadro 4. Comparaciones de medias del promedio de severidad (%) de cada variedad, en el análisis combinado a través de las cinco evaluaciones, de cada aislamiento.

Variedad	<i>F. boothii</i>	<i>F. camptoceras</i>	<i>F. graminearum</i>	Reacción
				Muy
Caborca TCL79	41.2 a*	54.3 a	43.3 a	susceptible
Eronga TCL83	38.7 a	40.2 b	17.2 cd	Susceptible
Secano TCL96	47.6 a	32.6 bc	27.7 bc	Susceptible
Pollmer	23.4 b	21.8 c	39.2 ab	Susceptible
Impulso TCL2016	34.0 ab	35.9 b	38.8 ab	Susceptible
Siglo TCL21	4.8 c	6.4 d	3.1 de	Resistente
Bicentenario TCL08	3.7 c	6.8 d	0.8 e	Resistente
DSH	14.04	12.17	14.42	

*Medias por columna, con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$), DSH= Diferencia Significativa Honesta.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

Para la variable ABCPE hubo diferencias significativas ($P<.0001$) entre variedades para los tres aislamientos (Cuadro 5). Se observa que las variedades Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 fueron estadísticamente diferentes a las demás variedades, con valores bajos en el desarrollo de la enfermedad para *F. boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*. Mientras que la variedad Secano TCL96, con un área de 1111.9 unidades (u), mostró el mayor desarrollo de la enfermedad causado por *F. boothii*; mientras que para *F. camptoceras* y *F. graminearum* fue la variedad Caborca TCL79, con 1262.2 u y 1015.4 u respectivamente, mostró el mayor desarrollo de la enfermedad. Entre las variedades, el ABCPE vario de 87.5 u a 1111.9 u en *F. boothii*, de 141.2 u a 1262.2 u en *F. camptoceras* y de 18.7 u a 1015.4 u para *F. graminearum*.

Cuadro 5. Comparaciones de medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de cada variedad, en el análisis combinado a través de las cinco evaluaciones, de cada aislamiento.

Variedad	<i>F. boothii</i>	<i>F. camptoceras</i>	<i>F. graminearum</i>
Caborca TCL79	981.7 a*	1262.2 a	1015.4 a
Eronga TCL83	930.4 a	964.9 ab	401.1 ab
Secano TCL96	1111.9 a	766.9 ab	624.9 ab
Pollmer	535.2 ab	506.5 bc	929.8 a
Impulso TCL2016	763.2 ab	803.2 ab	938.9 a
Siglo TCL21	101.1 b	141.2 c	70.8 b
Bicentenario TCL08	87.5 b	156.7 c	18.7 b
DSH	697.33	545.18	688.48

*Medias por columna, con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$), DSH= Diferencia Significativa Honesta.

Peso de grano por espiga

En el Cuadro 6, se muestran los pesos promedios de grano por espiga de las variedades evaluadas en cada uno de los aislamientos y el testigo. Donde se observa que existe una variabilidad en el peso del grano por espiga de las variedades de triticale en respuesta a los aislamientos de *Fusarium*.

Para el aislamiento *F. boothii*, se encontró diferencias significativas entre variedades ($P = 0.0002$), donde Siglo TCL21 con 0.73 g presentó el mayor peso de grano por espiga, en cambio para *F. camptoceras* no hubo diferencias estadísticas significativas entre variedades ($P = 0.0652$), por lo tanto, el daño ocasionado en los granos de las diferentes variedades fue similar para dicho aislamiento. Por otro lado, para el aislamiento *F. graminearum* se observó diferencias significativas ($P= 0.0046$) entre la variedad Bicentenario TCL08 con respecto a Caborca TCL08 y Secano TCL86, donde Bicentenario TCL08 con 0.70 g presentó el mayor peso de grano.

Todas las variedades evaluadas mostraron menor peso de grano por espiga cuando se inocularon con *F. boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum* en relación con el testigo no inoculado. Esto se debe a que los granos de triticale infectados con *Fusarium* presentan daños en el peritecio, cambios estructurales en el endospermo y cambios morfológicos en el almidón, provocando que el grano se deforme y tenga bajo peso, como lo indicaron Packa et al. (2008).

En esta investigación, la variedad Bicentenario TCL08 es la que presentó resistencia, ya que obtuvo mayor peso de grano por espiga, mientras que Secano TCL96 fue la más susceptible, lo cual se vio afectada en la reducción del peso del grano por espiga hasta un 90% (Cuadro 6). En contraste, Oettler y Wahle (2001) informaron que la infección por *F. culmorum* causó una reducción del 48% del peso promedio de los granos por espiga en genotipos de triticale. Sin embargo, es necesario realizar estudios de otros factores de resistencia sobre todo en los niveles de micotoxinas que contienen los granos dañados, ya que, en una investigación realizada, Góral et al. (2016) encontraron que el grano de triticale puede acumular más toxinas de tricotecenos que el trigo, por lo tanto, se debe evitar genotipos que presenten bajos niveles de severidad de la enfermedad y alta acumulación de micotoxinas.

Cuadro 6. Comparaciones de medias del peso de grano en gramos por espiga de cada variedad a través de las cinco evaluaciones.

Variedad	<i>F. boothii</i>	<i>F. camptoceras</i>	<i>F. graminearum</i>	Testigo
Caborca TCL79	0.22 bc	0.23 a	0.19 b	0.65 c
Eronga TCL83	0.36 abc	0.50 a	0.58 ab	0.78 c
Secano TCL86	0.13 c	0.36 a	0.21 b	1.34 ab
Pollmer	0.42 abc	0.57 a	0.37 ab	0.75 c
Impulso TCL2016	0.59 ab	0.42 a	0.50 ab	1.36 ab
Siglo TCL21	0.73 a	0.55 a	0.56 ab	1.44 a
Bicentenario TCL08	0.61 ab	0.60 a	0.70 a	0.98 bc
DSH	0.41	0.39	0.44	0.44

*Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$), DSH= Diferencia Significativa Honesta.

A pesar de que hay pocas investigaciones que discuten la resistencia al tizón de la espiga comparada con otros cereales, el triticale puede ser más o igual de resistente que el trigo y menos resistente que el centeno a dicha enfermedad (Gaikpa et al., 2019; Góral, 2009; Góral et al., 2016; Miedaner et al., 2004; Miedaner et al., 2001). Sin embargo, debido a que en México no hay investigaciones sobre los niveles de resistencia que tienen las variedades de triticale al tizón de la espiga, esta investigación permitió encontrar variación media en los niveles de resistencia que existe entre variedades de triticale y esto puede ser una posibilidad para mejorar la resistencia al tizón de la espiga en los programas de mejoramiento genético del triticale en México.

3.5.2. Comportamiento de los aislamientos

Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas entre aislamientos en el porcentaje de severidad y ABCPE ocasionado en las variedades de triticale (Cuadro 7). Es decir, los tres aislamientos fueron capaces de inducir una infección y generar una patogenicidad similar bajo las mismas condiciones de humedad relativa de < 95% y temperatura promedio de 21 ± 1 °. Sin embargo, esto puede variar con las condiciones climáticas y la zona geográfica donde se desarrolle la enfermedad (Gilbert y Fernando, 2004; Osborne y Stein, 2007). Xu y Nicholson (2009) mencionan que dentro de una región la distribución y el predominio de los patógenos está determinado principalmente por factores climáticos como la temperatura y la humedad relativa. Por ejemplo, *F. boothii* se asocia a regiones cálidas con menor estacionalidad de temperatura y condiciones secas en la etapa de la antesis (Backhouse, 2014), mientras que *F. graminearum* se encuentra en un rango muy amplio de temperaturas de hasta 30 °C, siendo esta una de las principales especies que se encuentra en los cultivos de trigo, cebada, triticale y maíz en México (Osborne y Stein, 2007; Osman et al., 2015). Por su parte, *F. camptoceras* se desarrolla en regiones subtropicales y tropicales (Mule et al., 1997).

A pesar de no existir diferencias significativas entre aislamientos, *F. camptoceras* puede considerarse el más agresivo en comparación con *F. boothii* y *F.*

graminearum, ocasionando que Caborca TCL79 presentara niveles de severidad <50% y los valores más altos del ABCPE, además, ocasionó daños similares en los granos en las siete variedades. Sin embargo, es necesario identificar el nivel y tipo de micotoxinas que producen, así como las enzimas degradadoras de la pared celular, ya que, son factores que determinan la virulencia y la agresividad del patógeno, tal y como lo indicaron Khaledi et al. (2017).

Cuadro 7. Comparaciones de medias de la severidad (%) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de los tres aislamientos.

Aislamientos	Severidad (%)	ABCPE
<i>F. boothii</i>	27.64 a*	644.43 a
<i>F. camptoceras</i>	28.29 a	657.38 a
<i>F. graminearum</i>	24.31 a	571.38 a
DHS	5.42	283.6

*Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$); DSH= Diferencia Significativa Honesta.

3.6. CONCLUSIONES

Las variedades Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 fueron resistentes al tizón de la espiga ocasionado por *Fusarium boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*. La variedad más susceptible para *F. boothii* fue Secano TCL96, y para *F. camptoceras* y *F. graminearum* fue Caborca TCL79.

El peso de grano por espiga se vio afectado hasta en un 90% en el caso de una variedad susceptible como Secano TCL96.

Entre *F. boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum* no hubo diferencia significativa en el grado de severidad causado en las variedades durante las evaluaciones.

Es importante considerar en los programas de mejoramiento genético de cereales la incorporación de resistencia a diversas especies de *Fusarium* en el cultivo de triticale en México.

3.7. LITERATURA CITADA

- Backhouse, D. (2014). Global distribution of *Fusarium graminearum*, *F. asiaticum* and *F. boothii* from wheat in relation to climate. *European Journal of Plant Pathology*, 139(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0374-5>
- Bai, G. and Shaner, G. (2004). Management and Resistance in wheat and barley to Fusarium Head Blight1. *Annual Review of Phytopathology*, 42(1), 135–161. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140340>
- Bai, G. and Shaner, G. (1994). Scab of wheat: prospects for control. *Plant Disease*, 78, 760–766.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1976). Trigo x Centeno = Triticale. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*, 5.
- Cerón-Bustamante, M., Ward, T., Kelly, A., Vaughan, M., McCormick, S., Cowger, C., ... Nava-Díaz, C. (2018). Regional differences in the composition of Fusarium Head Blight pathogens and mycotoxins associated with wheat in Mexico. *International Journal of Food Microbiology*, 273 (September 2017), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.003>
- Dobreva. (2016). Triticale – past and future. *Agricultural Science and Technology*, 8 (4).
- Eudes, F. (2015). *Triticale*. (1st ed.). https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_3
- Galicia, G. (2017). *Identificación de especies de Fusarium Causante de la roña de la espiga del trigo (Triticum aestivum L.) colectada en los valles altos del Estado de México* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Gaikpa, D. S., Lieberherr, B., Maurer, H. P., Longin, C. F. H. and Miedaner, T. (2019). Comparison of rye, triticale, durum wheat and bread wheat genotypes for Fusarium head blight resistance and deoxynivalenol contamination. *Plant Breeding*, (September), 1–12. <https://doi.org/10.1111/pbr.12779>
- Gilbert, J. and Fernando, W. G. D. (2004). Epidemiology and biological control of *Gibberella zeae* / *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(4), 464–472. <https://doi.org/10.1080/07060660409507166>
- Gilchrists-Saavedra, L., Fuentes-Dávila, G., Martínez-Cano, C., López-Atilano, R. M., Duveiller, E., Singh, R.P., Henry, M. e I. García, A. (2005). *Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada*. Segunda edición. México, D.F.:CIMMYT.
- Góral T. (2009). Resistance of winter triticale cultivars to Fusarium head blight caused by *Fusarium culmorum*. *Biuletyn IHAR*, 254, 41–50

- Góral T. and Arseniuk E. (2003). Reaction of somaclonal lines of winter triticale to Fusarium infection part I: Fusarium head blight caused by *F. culmorum* W.G. Smith (Sacc.). *Biuletyn IHAR*, 228,117–130
- Góral, T., Wiśniewska, H., Ochodzki, P. and Walentyn-Góral, D. (2016). Higher Fusarium toxin accumulation in grain of winter triticale lines inoculated with *Fusarium culmorum* as compared with wheat. *Toxins*, 8 (10), 301. <https://doi.org/10.3390/toxins8100301>
- Imathiu, S. M., Edwards, S. G., Ray, R. V. and Back, M. (2014). Review article: Artificial inoculum and inoculation techniques commonly used in the investigation of fusarium head blight in cereals. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 49 (2), 129–139. <https://doi.org/10.1556/APhyt.49.2014.2.1>
- Ireta, M. J., y Gilchrist, L. S. (1994). *Roña O Tizón de la espiga del Trigo (Fusarium graminearum Schwabe)*. Informe Especial de Trigo No. 20. CIMMYT. México, D.F. 25 p.
- Kalih, R., Maurer, H. P. and Miedaner, T. (2015). Genetic architecture of fusarium head blight resistance in four winter triticale populations. *Phytopathology*, 105(3), 334–341. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-14-0124-R>
- Kalih, Rasha, Peter, H., Hackauf, B. and Miedaner, T. (2014). Effect of a rye dwarfing gene on plant height , heading stage , and Fusarium head blight in triticale (× *Triticosecale* Wittmack). *Theoretical and Applied Genetics*, 127(7), 1527–1536. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2316-9>
- Khaledi, N., Taheri, P. and Falahati Rastegar, M. (2017). Identification, virulence factors characterization, pathogenicity and aggressiveness analysis of *Fusarium* spp., causing wheat head blight in Iran. *European Journal of Plant Pathology*, 147, 897–918. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1059-7>
- Leslie, J. and Summerell, B. (2007). The Fusarium Laboratory Manual. In *Blackwell Publishing*. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Magliano, T. M. A., and Chulze, S. N. (2013). Fusarium head blight in Latin America. In *Springer International Publishing*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7091-1>
- McMullen, M., Bergstrom, G., De Wolf, E., Dill-macky, R., Hershman, D., Shaner, G. and Van Sanford, D. (2012). A Unified Effort to Fight an Enemy of Wheat and Barley: Fusarium Head Blight. *Plant Disease*, 96(12).
- Mcmullen, M., Jones, R., Gallenberg, D. and America, S. (1997). Scab of Wheat and Barley: A Re-emerging Disease of Devastating Impact. *Plant Disease*, 81(12).
- Miedaner, T., Heinrich, N., Schneider, B., Oettler, G., Rohde, S. and Rabenstein, F. (2004). Estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat and triticale

- Estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat a. *Euphytica*, 139(2), 123–132. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-2489-4>
- Miedaner, T., Reinbrecht, C., Lauber, U., Schollenbergen, M. and Geiger, H. (2001). Effects of genotype and genotype-environment interaction on deoxynivalenol accumulation and resistance to Fusarium head blight in rye , triticale , and wheat. *Plant Breeding*, 120, 97–105.
- Mule', G., Altomare, C., Moretti, A., Perrone, G. and Logrieco, A. (1997). Molecular and biochemical characterization of two atypical toxigenic populations of *Fusarium camptoceras*. *Cereal Research Communications*, 25(3 II), 607–608.
- Oettler, G. and Wahle, G. (2001). Genotypic and environmental variation of resistance to head blight in triticale inoculated with *Fusarium culmorum*. *Plant Breeding*, 120(4), 297–300. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00611.x>
- Osborne, L. E. and Stein, J. M. (2007). Epidemiology of Fusarium head blight on small-grain cereals. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.032>
- Osman, M., He, X., Benedettelli, S. and Singh, P. K. (2015). Chemotype analysis of Mexican *Fusarium graminearum* sensu lato isolates. *13th-European Fusarium Seminar*, 1–19.
- Packa, D., Jackowiak, H., Góral, T., Wiwart, M. and Perkowski, J. (2008). Scanning Electron Microscopy of Fusarium -Infected Kernels of Winter Triticale (x *Triticosecale* Wittmack). *Seed Science and Biotechnology*, 2(1), 27–31.
- Qu, B., Li, H. P., Zhang, J. B., Xu, Y. B., Huang, T., Wu, A. B., ... Liao, Y. C. (2008). Geographic distribution and genetic diversity of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* on wheat spikes throughout China. *Plant Pathology*, 57(1), 15–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01711.x>
- Rivera, A. (2016). *Etiología de la roña de la espiga en trigo (Triticum aestivum L.) en Valles Altos de México* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Shroeder, H. and Christensen, J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53, 831- 838.
- SIAP (2018): Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Revisado en línea: <http://www.siap.gob.mx/>. (octubre 2019)
- Sobrova, P., Adam, V., Vasatkova, A., Beklova, M., Zeman, L. and Kizek, R. (2010). Deoxynivalenol and its toxicity. *Interdisc Toxicol*, 3(3), 94–99. <https://doi.org/10.2478/v10102-010-0019-x>
- Veitch, R. S., Caldwell, C. D., Martin, R. A., Lada, R., Salmon, D., Anderson, D.

- M. and Macdonald, D. (2008). Susceptibility of winter and spring triticales to fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation. *Can J Plant Sci*, 88, 783–788.
- Xu, X. and Nicholson, P. (2009). Community Ecology of Fungal Pathogens Causing Wheat Head Blight. *Annual Review of Phytopathology*, 47(1), 83–103. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081737>
- Zillinsky, F. J. (1984). Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. In *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. D.F., México.