



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Parasitología Agrícola

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
PROTECCIÓN VEGETAL**

**RESPUESTA DE VARIEDADES DE TRIGO (*Triticum aestivum*)
PARA SIEMBRA DE TEMPORAL AL ATAQUE DE TIZÓN DE LA
ESPIGA (*Fusarium* spp).**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

Núñez Juárez Adela

Bajo la supervisión de: Dr. Mateo Vargas Hernández



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
SECRETARÍA DE EXÁMENES PROFESIONALES**



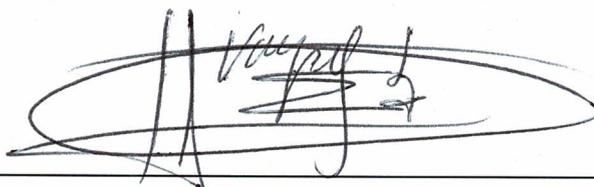
Chapingo, Estado de México a mayo de 2019.

RESPUESTA DE VARIEDADES DE TRIGO (*Triticum aestivum*) PARA SIEMBRA DE TEMPORAL AL ATAQUE DE TIZÓN DE LA ESPIGA (*Fusarium spp.*).

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

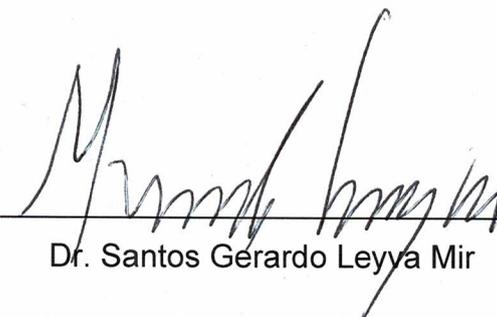
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



Dr. Mateo Vargas Hernández

CO-DIRECTOR:



Dr. Santos Gerardo Leyya Mir

ASESOR:



Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir

ASESOR:



Dra. Elizabeth García León

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL.....	iii
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESÚMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	2
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
1.1 Objetivo General	5
1.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 HIPÓTESIS.....	5
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Origen	6
2.2 Descripción botánica.....	6
2.3 Importancia mundial del trigo	8
2.4 Importancia nacional del trigo	8
2.5 Genotipos evaluados.	10
2.6 Importancia del Tizón de la espiga (<i>Fusarium spp</i>).....	12
2.7 Condiciones para que ocurra la enfermedad	12
2.8 Ciclo de la enfermedad.	13
2.9 Defensa natural contra patógenos y parásitos.....	14
2.10 Resistencia Vertical.....	15
2.11 Resistencia horizontal	16
2.12 LITERATURA CITADA.....	16
CAPITULO III. RESPUESTA DE VARIEDADES DE TRIGO (<i>Triticum aestivum</i> L.) PARA SIEMBRA DE TEMPORAL AL ATAQUE DE TIZÓN DE LA ESPIGA (<i>Fusarium spp</i>)	23
3.1 Resumen.....	23
3.2 Abstract.....	23
3.3. INTRODUCCIÓN	24

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.4.1 Localización del experimento.....	25
3.4.2 Material Vegetal.....	25
3.4.3 Especies de <i>Fusarium</i> evaluadas	26
3.4.4 Desarrollo del experimento	26
3.4.5 Diseño experimental	28
3.4.6 Variables evaluadas.....	28
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
3.6 CONCLUSIONES	43
3.7 LITERATURA CITADA.....	43

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características generales del material vegetal.	10
Cuadro 2. Genotipos de trigo evaluados, genealogía y año de liberación.	25
Cuadro 3. Promedios individuales de severidad para cada especie de <i>Fusarium</i> en las tres evaluaciones.....	30
Cuadro 4. Valores promedios de porcentaje (%) de severidad a través de las tres evaluaciones, de cada genotipo para cada especie.....	33
Cuadro 5. Valores promedio de severidad de cada genotipo para cada evaluación a través de las tres especies.....	36
Cuadro 6. Valores del Área Bajo la Curva del Progreso de la enfermedad de <i>Fusarium</i> para los 16 genotipos.....	38
Cuadro 7. Peso total de semillas por genotipo y especie.....	40
Cuadro 8. Índice de calidad de cada genotipo para cada especie de <i>Fusarium</i> . ..	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de la Fusariosis de la espiga en Trigo (<i>Fusarium spp.</i>). ...	14
Figura 2. Escala en porcentaje de severidad causada por <i>Fusarium spp</i>	29
Figura 3. Respuesta de dieciséis genotipos inoculados con <i>Fusarium</i> en las tres evaluaciones.	31
Figura 4. Porcentaje de severidad a través de evaluaciones para cada especie. .	34
Figura 5. Porcentaje de severidad a través de especies para cada evaluación.	37
Figura 6. Medias del progreso de la enfermedad de las tres especies de <i>Fusarium</i> para los 16 genotipos evaluados.	39
Figura 7. Comportamiento de peso total de semillas por genotipo para cada especie de <i>Fusarium</i>	41

DEDICATORIA

A mis padres Juan Núñez Méndez[□] y Adela Juárez Sarmiento quienes siempre han sido mi fortaleza, por sus grandes enseñanzas, apoyo y su amor incondicional.

A mis hermanos por su cariño y confianza.

A mis amigos y compañeros de generación por todos los momentos de estudio y compañía durante esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

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

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, especialmente al Departamento de Parasitología Agrícola y al programa de posgrado de Protección Vegetal, por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

Al **Dr. Mateo Vargas Hernández**, por su distinguida y acertada dirección del presente trabajo, por el ejercicio inmortal de enseñar, por la confianza que depositó en mi persona, por su valiosa e incondicional orientación para mi formación académica y el buen consejo durante mis estudios de posgrado.

Al **Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir** por aportar opiniones diferentes para que este trabajo se llevara a cabo de la mejor manera, su paciencia y dedicación respecto a las correcciones de dicha investigación.

Al **Dr. Santos Gerardo Leyva Mir**, por sus críticas constructivas al trabajo y sus aportaciones.

A la **Dra. Elizabeth García León** por su valiosa e incondicional ayuda durante el experimento y consejos otorgados.

DATOS BIOGRÁFICOS



Adela Núñez Juárez, es originaria del municipio de Ixtepec, zona norte del estado de Puebla, nació el 26 de Abril de 1993 en Ixtepec, Puebla, realizó sus estudios de nivel primaria en Ixtepec en la escuela “Nicolás Bravo” (1999-2005), los estudios de secundaria los efectuó en el mismo lugar en la secundaria “Técnica No. 69” (2005-2008), los estudios de preparatoria los llevó a cabo en la “Preparatoria Agrícola, de la Universidad Autónoma Chapingo” (2008-2011) ubicada en Texcoco de Mora, Estado de México su licenciatura la cursó en el departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (2011-2015). Los estudios de posgrado los realizó en la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, en el departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (2016-2018).

RESÚMEN GENERAL

RESPUESTA DE VARIEDADES DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) PARA SIEMBRA DE TEMPORAL AL ATAQUE DE TIZÓN DE LA ESPIGA (*Fusarium* spp)

La fusariosis de la espiga es una de las principales enfermedades que limitan la producción de trigo; debido a que las infecciones graves pueden causar una disminución de más del 50% en el rendimiento. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta de dieciséis variedades de trigo harinero de temporal a la infección de tres especies de *Fusarium* en condiciones de invernadero: *F. boothi*, *F. equiseti* y *F. verticillioides*. Se determinó la resistencia de las variedades para cada especie y se evaluó cuál de las tres especies causó mayor severidad, en general para todas las variedades y en particular para variedades específicas. Los resultados fueron: para *F. boothi*, los genotipos que mostraron resistencia fueron Altiplano F2007, Rebeca F2000 y Cleopatra VS74, mientras que los genotipos más susceptibles fueron Texcoco F2016, Gálvez M87 y México M82; para *F. equiseti*, los genotipos identificados como resistentes fueron Altiplano F2007, Rebeca F2000 y Cleopatra VS74, y los genotipos que reaccionaron como susceptibles fueron Zacatecas VT74, Gálvez M87 y México M82; finalmente para *F. verticillioides*, los genotipos resistentes fueron Altiplano F2007, Rebeca F2000 y Cleopatra VS74, y los genotipos susceptibles fueron Zacatecas VT74, Gálvez M87 y México M82. Así mismo, *F. boothi* causó mayor grado de severidad, *F. equiseti* ocupó el segundo lugar, y *F. verticillioides* fue la especie que causó menor severidad en las espigas durante las tres evaluaciones aunque estas dos últimas no mostraron diferencias estadísticas entre sí.

Palabras clave: *F. boothi*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, susceptibilidad, resistencia.

GENERAL ABSTRACT

RESPONSE OF WHEAT VARIETIES (*Triticum aestivum* L.) FOR GROWN DURING THE RAINY SEASON TO THE ATTACK OF FUSARIUM EAR BLIGHT (*Fusarium* spp)

Fusariosis is one of the main diseases that limit the wheat production because the serious infections can cause a reduction of more than 50 % in the yield. This research aimed to evaluate the response of sixteen bread wheat varieties for growing during the rainy season to the infection of three species of *Fusarium* under greenhouse conditions: *F. boothi*, *F. equiseti* and *F. verticillioides*. Varieties resistance was determined for each species, and it was evaluated which of the three species caused the most severity, in general for all the varieties and in particular for specific varieties. The results were: for *F. boothi*: Altiplano F2007, Rebeca F2000 and Cleopatra VS74 were the genotypes that showed resistance, meanwhile the most susceptible genotypes were Texcoco F2016, Gálvez M87 and México M82; for *F. equiseti*, the genotypes identified as resistant were Altiplano F2007, Rebeca F2000 and Cleopatra VS74, and the genotypes that responded as susceptible were Zacatecas VT74, Gálvez M87 and México M82; finally, for *F. verticillioides*, the resistant genotypes were Altiplano F2007, Rebeca F2000 and Cleopatra VS74, and the susceptible genotypes were Zacatecas VT74, Gálvez M87 and México M82. Likewise, *F. boothi* caused the highest severity, *F. equiseti* was placed secondly, and *F. verticillioides* was the species that caused the less severity on the ears during the three evaluations, although the two last ones did not show statistical differences.

Keywords: *F. boothi*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, susceptibility, resistance.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El trigo se cultiva en todo el mundo bajo diversas condiciones climáticas. Ha sido el alimento básico de las principales civilizaciones de Europa, Asia y Norte de África durante más de 8 000 años. En 2016 ocupó el tercer lugar entre los cereales más cultivados después del maíz y el arroz, con una producción mundial de más de 700 millones de toneladas (FAOSTAT, 2018).

En México la producción de trigo se divide por su régimen de humedad, en riego y temporal. Este último, es aquel que se cultiva durante el ciclo de primavera - verano y que en muchas regiones coincide con la época de lluvias y depende de la cantidad y distribución de las mismas para cumplir su ciclo biológico y lograr buena productividad (Villaseñor y Espitia, 2000). El trigo de temporal en México se cultiva en veinte estados de la república y los principales estados productores son Tlaxcala (19, 675 ha), Nuevo León (17, 508 ha), Guanajuato (13, 094 ha) y Oaxaca (12, 311 ha) los cuales siembran cerca del 60 % de la producción total (SIAP, 2017).

La fusariosis de espiga se ha convertido en una de las enfermedades más importantes de los cereales de invierno debido al marcado incremento en incidencia y severidad en todo el mundo. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha identificado a esta enfermedad como la principal limitante para la producción de trigo, ya que a los problemas en rendimiento, se le suma la acumulación de micotoxinas en granos (Xu, 2003). Las infecciones graves pueden causar una disminución del rendimiento de más del 50% y una reducción considerable de la calidad del grano. Los granos de las espigas enfermas con frecuencia están arrugados. El grano cosechado que tenga más del 5% de granos infectados puede tener toxina suficiente para ser nocivo para el hombre y los animales (Prescott *et al.*, 1986).

En México, Gilchrist-Saavedra *et al.* (2005) reportaron *Fusarium graminearum*, *F. avenaceum*, *F. equiseti* y *Microdochium nivale* como las especies asociadas a síntomas de pudrición de raíz y tizón de la espiga en algunas zonas trigueras. En las regiones productoras de trigo de temporal en México, como la Sierra Tarasca en Michoacán, la región de los altos de Jalisco, Sierra del Tigre y Tapalpa, así como en el Valle de Toluca y la región de Jilotepec Estado de México la presencia de la

roña de la espiga es alta; así también, en los Valles Altos de Tlaxcala e Hidalgo tiene una presencia media. Su incidencia se ha incrementado en los últimos años en estas regiones debido quizás al incremento del área sembrada con cereales y a la rotación estrecha con maíz, trigo o cebada, el hongo ataca a estos hospedantes presentando una incidencia hasta del 60% a nivel poblacional y del 10 al 15% a nivel individual o de espiga (Ireta y Gilchrist, 1994). Entre las principales estrategias que se han propuesto para el manejo de la roña de la espiga se encuentran el uso de genotipos resistentes (Bai y Shaner, 1994; Groth *et al.*, 1999; Meidaner, 1997; Mesterhazy, 1995; Muthomi *et al.*, 2007); la aplicación de agentes biológicos para su control (Parry *et al.*, 1995; Riungu *et al.*, 2008), así como mejoras de las técnicas de cultivo, principalmente el manejo de los residuos de cosecha y la rotación de cultivo (Parry *et al.*, 1995; Pereyra *et al.*, 2004).

La producción nacional de trigo y las importaciones a nuestro país han mostrado variantes en los últimos 12 años. La producción descendió de 3.5 a 2.8 MT de 2000 a 2004; sin embargo, a partir de 2005 ha repuntado y para 2012 se cosecharon 3.9 MT; entre otras causas, debido a la mayor productividad de nuevas variedades. El déficit de trigo en México, su encarecimiento a nivel internacional y la necesidad de incrementar la producción nacional fueron causas para crear en 2004 el Sistema Producto Trigo (CONASIST), en donde se analizó la problemática del cultivo y se determinó que era urgente fortalecer el mejoramiento genético para generar más y mejores variedades; fue así como se financió un proyecto de 2006 a 2008 que permitió liberar 10 variedades que actualmente se siembran en más de 50% de la superficie a nivel nacional (Villaseñor, 2015).

1.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de dieciséis materiales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal bajo invernadero a la infección de tres especies de *Fusarium*: *F. boothi*, *F. equiseti* y *F. verticillioides*.

1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las mejores variedades resistentes para cada especie de *Fusarium*.
- ✓ Evaluar cuál de las tres especies de *Fusarium* tiene mayor patogenicidad en general para todas las variedades y en particular para variedades específicas.
- ✓ Determinar si después de 40 años de mejoramiento genético se han logrado avances en la resistencia a la Fusariosis de la espiga.

1.3 HIPÓTESIS

- ✓ Existe resistencia a *Fusarium* en los materiales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal evaluados.
- ✓ La resistencia de cada una de las variedades es diferente para cada especie de *Fusarium*.
- ✓ Se ha logrado mayor resistencia en las variedades a través del mejoramiento genético.

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen

El origen, evolución y domesticación de los cereales fueron de los principales acontecimientos que determinaron el desarrollo y la expansión de la cultura humana (Carver, 2009). Los científicos han rastreado su origen por la Región de Oriente Medio, en el valle de los ríos Tigris y Éufrates, en Mesopotamia e Irak (Brunckhorst, 2006). En América el trigo fue introducido por los españoles; así, en Chile y Bolivia se admite que Pedro de Valdivia, en el año 1540, contribuyó con la introducción del trigo (*Triticum ssp.*), avena (*Avena spp.*), cebada (*Hordeum spp.*) y olivo (*Olea europea*) (Mellado, 2007).

2.2 Descripción botánica

Las variedades de trigo actuales (*Triticum aestivum* L.) han evolucionado por diferenciación genómica y por cruzamientos con trigos silvestres. Las tres especies originales, conocidas como trigos antiguos, son espelta (*Triticum spelta*), farro (*Triticum diococcum*) y escanda (*Triticum monococcum*). Una ventaja de los trigos antiguos es que retienen su cascarilla, que protege al grano maduro del ataque de insectos y se elimina antes del procesamiento del grano; en cambio, en los granos actuales esta cascarilla se trilla fácilmente durante la cosecha (Collar, 2007).

El fruto de los cereales se denomina botánicamente cariósido. El grano de trigo tiene forma ovalada y sus extremos redondeados, sobresaliendo el germen en uno de ellos y en el otro, un mechón de finos pelos (pincel). El trigo está formado por tres partes principales: endospermo, salvado y germen (Serna-Saldivar, 2009). La mayor parte del salvado la constituye el pericarpio; contiene vitaminas, minerales y gran cantidad de proteínas. Entre el salvado y el endospermo se encuentra la capa de aleurona que cumple un papel muy importante en el desarrollo del embrión durante la germinación. El endospermo, por su parte, es el depósito de alimento para el embrión y constituye el 82 % del peso del grano (Ritchie *et al.*, 2000). Está compuesto por almidón, proteínas y en menor proporción celulosa; además, tiene una baja proporción de vitaminas y minerales. El germen de trigo es rico en vitaminas del grupo B y E, y también contiene grasas, proteínas y minerales (Shewry y Halford, 2002).

El sistema radical consiste de raíces principales y adventicias, de estructura densa y fasciculada, en forma de cabellera que se desarrolla a partir de la corona. Las raíces seminales (usualmente cinco a seis raíces de una semilla), son las que se originan a partir de primordios encontrados en la semilla, y las raíces adventicias que se originan a partir de primordios desarrollados después de la germinación, pueden ramificar hasta 30 cm y pueden profundizar más de 150 cm, según las características del suelo. El tallo es cilíndrico, recto, con nudos macizos y entrenudos huecos, sin embargo difiere en grosor según la cantidad de médula. Debido al crecimiento continuo, el alargamiento del tallo es resultado de la elongación del entrenudo (Herbek *et al.*, 2008; Mellado, 2007).

El macollamiento se caracteriza por la aparición de brotes laterales (retoños) de las axilas de las hojas verdaderas en la base del tallo principal de la planta. Los macollos secundarios pueden desarrollarse a partir de la base de macollos primarios si las condiciones favorecen el desarrollo del tallo (Herbek *et al.*, 2008). Las hojas constan de dos partes: vaina y lámina. Nacen en los nudos de los tallos y su crecimiento se produce en los meristemas ubicados en la base por encima de la unión con la vaina. Están dispuestas de manera alterna y provistas de una vaina en su parte inferior que envuelve una porción del tallo y que, en su parte superior, termina en una prolongación membranosa como una lengüeta de forma ovalada llamada lígula. En la base de la hoja hay un par de prolongaciones llamadas aurículas o estípulas, que normalmente abrazan al tallo, y que generalmente son de color blanco, aunque en algunos casos son de color rojo debido a pigmentos antociánicos (carotenoides). Las hojas son normalmente de color verde, con variaciones en la tonalidad según la variedad y estado vegetativo, la ausencia o presencia de vellosidades o la existencia de cera en la cutícula (Mellado, 2007).

La inflorescencia es una espiga donde cada parte de la misma puede ser identificada por una combinación de espiguillas sésiles, las mismas que van directamente unidas a un raquis sinuoso o eje de la inflorescencia (Carver, 2009). Cada espiguilla contiene flores hermafroditas (cada flor contiene tres estambres y dos estigmas plumosos), las que en número de 3 a 5 están protegidas por brácteas

o glumas y cada flor está rodeada por dos glumas, llamadas palea y lema. En el caso de las variedades barbadas la lema se alarga como una arista (Mellado, 2007).

Poco después de que ha emergido totalmente la inflorescencia del trigo, la floración se produce. Sin embargo, la floración y polinización de los cereales pueden ocurrir ya sea antes o después de la emergencia de la espiga, dependiendo de las especies de plantas y variedades. En general, la floración del trigo comienza dentro de tres o cuatro días después de la emergencia de la inflorescencia (Herbek *et al.*, 2008).

2.3 Importancia mundial del trigo

En el ámbito mundial, son los cereales los que proporcionan la mayor cantidad de calorías consumidas en los países subdesarrollados y ocupan más de 190 millones de hectáreas, pues resultan importantes para la alimentación humana y animal, influyendo directa e indirectamente en la cadena alimenticia que los humanos pueden tomar (CIMMYT, 2004). El trigo es uno de los cereales más importantes a nivel mundial por la superficie sembrada y cosechada, porque es base de la alimentación en muchos países y por ser considerado por la FAO como uno de los cultivos básicos por aportar aminoácidos esenciales al ser humano (Moreno, 2012).

La producción mundial de trigo, durante el periodo 2005/06-2014/15, creció a una tasa promedio de 1.78 por ciento, con periodicidad anual, para llegar a 732 millones de toneladas, principalmente por aumentos de la producción en la Unión Europea y Rusia (USDA, 2015b). Los principales países productores de trigo –con respecto a la proporción de la producción total de 2014/15– son: la Unión Europea (22 %), China (17 %), India (13 %), Rusia (8 %), Estados Unidos (8 %) y Canadá (4 %) (FIRA, 2015).

2.4 Importancia nacional del trigo

Después del maíz y el frijol, el trigo es una de las tres fuentes más importantes de nutrientes de bajo costo en la dieta del mexicano, sobre todo para las poblaciones rurales y urbanas de escasos recursos. Además, tanto el cultivo de trigo como su procesamiento y consumo, genera una importante derrama económica y un gran número de empleos en varios sectores y actividades de la cadena del Sistema

Producto Trigo. Es por esto que el trigo como producto básico y su cultivo son de gran relevancia para el desarrollo socioeconómico de México (Peña *et al.*, 2008).

El trigo suave o trigo harinero, es el principal tipo de trigo que se siembra en México, aunque en los últimos años ha disminuido la superficie sembrada y ha sido sustituida por trigo cristalino o trigo duro. En promedio, durante los últimos cinco años, la superficie sembrada de trigo suave ha sido de 244 mil hectáreas y ha mostrado una disminución a tasa promedio anual de 8.0 por ciento entre los ciclos agrícolas 2010 y 2014 (SAGARPA, 2014).

La superficie cosechada de México, para 2014 fue de 706 mil hectáreas, con un incremento de 11.4 % con respecto al año agrícola previo. La superficie cosechada de este cereal que presentó mayor significado es otoño-invierno con régimen de humedad riego. Entre los años 2005 a 2014, dicha superficie de riego, mostró una tasa de crecimiento promedio anual de 1.8 %. Por otro lado, la superficie cosechada durante primavera-verano con régimen de humedad de temporal, decreció ligeramente a una tasa de 0.3 %, con una temporalidad anual, para el mismo periodo de análisis. No obstante, para el año 2014 aumentó 10 % con respecto al año anterior. La clave se centra en la mejora de las condiciones climáticas que se presentaron durante dicho año agrícola (USDA, 2015a). El nivel de producción de trigo en México para el año agrícola 2014 representa 0.50 % con respecto a la producción global. En el citado periodo, el nivel de producción aumentó 9.3 % con respecto al año anterior, para llegar a 3.7 millones de toneladas (FIRA, 2015).

2.5 Genotipos evaluados.

Cuadro 1. Características generales de las variedades evaluadas.

Genotipo	Ciclo de cultivo	Rend kg/ha	Reacción a enfermedades
MIXTECO F1982 (Álvarez, 1983a)	120-125 días	2.435	Alta resistencia a la roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), moderadamente susceptible a la roya de la hoja (<i>P. triticina</i>) y roya lineal (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>).
MÉXICO F1982 (Álvarez, 1983b)	120-125 días	2,854	Resistencia a la roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), a la roya lineal (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>) y moderadamente resistente a la roya de la hoja (<i>P. triticina</i>).
TEMPORALERA F1987 (Villaseñor <i>et al.</i> , 1993)	124-131 días	3,685	Resistente a roya de tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>) y moderadamente resistente a roya lineal amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), a la roya de la hoja (<i>P. triticina</i>), a <i>Helminthosporium sativum</i> y <i>Septoria</i> sp; sin embargo, es moderadamente susceptible a <i>Fusarium graminearum</i> .
GÁLVEZ F1987 (Moreno <i>et al.</i> , 1989)	118-124 días	3,254	Resistente a la roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>) y roya lineal amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), tiene resistencia parcial a roya de la hoja (<i>P. triticina</i>). Es moderadamente susceptible a <i>Fusarium graminearum</i> , <i>Septoria tritici</i> y <i>Helminthosporium sativum</i> .
BATAN F1996 (Villaseñor <i>et al.</i> , 1999)	123-129 días	3,452	Inmune a roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), moderadamente resistente a roya de la hoja (<i>P. triticina</i>), susceptible a roya amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), moderadamente tolerante al complejo de tizones y manchas foliares, tolerante al tizón de la gluma y a la roña de la espiga y resistente al carbón volador.
ROMOGA F1996 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2000b)	122-128 días	3,398	Inmune a roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), moderadamente resistente a roya de la hoja (<i>P. triticina</i>) y roya amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), tolerante al complejo de tizones y manchas foliares, tolerante al tizón de la gluma y a la roña de la espiga y resistente al carbón volador.
TLAXCALA F2000 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2000a)	120-126 días	3,658	Inmune a roya del tallo (<i>Puccinia</i> f. sp. <i>graminis</i>), moderadamente resistente a roya de la hoja (<i>P. triticina</i>) y roya amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), y tolerante a las enfermedades conocidas como tizón foliar (<i>Cochliobolus sativus</i>), mancha bronceada (<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>), mancha foliar (<i>Septoria tritici</i>), mancha

de la hoja (*Fusarium nivale*), tizón de la gluma (*S. nodorum*) y roña de la espiga (*F. graminearum*).

REBECA F2000 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2004)	126-134 días	3,856	Inmune a roya del tallo y roya amarilla (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> y <i>P. striiformis</i> (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>)), moderadamente resistente a susceptible a roya de la hoja (<i>P. triticina</i>) y es moderadamente resistente a las enfermedades conocidas como tizón foliar (<i>Cochliobolus sativus</i>), mancha bronceada (<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>), mancha foliar (<i>Septoria tritici</i>), mancha de la hoja (<i>Fusarium nivale</i>), tizón de la gluma (<i>S. nodorum</i>) y roña de la espiga (<i>F. graminearum</i>).
ALTIPLANO F2007 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2014)	123-130 días	4,105	Resistente a moderadamente resistente a roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>), resistente a moderadamente resistente a (<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), y es moderadamente resistente al complejo de enfermedades foliares; tizón foliar (<i>Cochleobolus sativum</i>), mancha bronceada (<i>Phyrenophora tritici-repentis</i>), mancha foliar (<i>Septoria tritici</i>), mancha de la hoja (<i>Fusarium nivale</i>) y tizón de la gluma (<i>S. nodorum</i>).
NANA F2007 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2014)	118-124 días	4,215	Moderadamente resistente a roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>) y roya amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>), y es tolerante al complejo de enfermedades como: tizón foliar (<i>Cochleobolus sativum</i>), mancha bronceada (<i>Phyrenophora tritici-repentis</i>), mancha foliar (<i>Septoria tritici</i>), mancha de la hoja (<i>Fusarium nivale</i>) y tizón de la gluma (<i>S. nodorum</i>).
DON CARLOS F2015 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2018b)	122-127 días	3,850	Resistente a la roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), resistente a roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>), moderadamente resistente a roya amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>) y tolerante a enfermedades foliares.
VALLES F2015 (Villaseñor <i>et al.</i> , 2018a)	124-130 días	4,075	Resistente a la roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>), a roya amarilla (<i>P. striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>) y roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>), y tolerante al complejo de enfermedades foliares.

V: Para siembras de "Verano o temporal". S, T y F: tipo de gluten "Suave", "Tenaz" y "Fuerte".

2.6 Importancia del Tizón de la espiga (*Fusarium spp.*).

El tizón de la espiga del trigo ha sido un factor importante en muchas regiones del mundo, especialmente en aquellas en que las condiciones climáticas desde el espigamiento hasta la madurez son húmedas y/o de alta pluviometría (Ireta y Gilchrist, 1994). En México se encuentra en el trigo que se siembra en condiciones de temporal en los estados de Jalisco, Michoacán, México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla, principalmente con incidencias que van de un 10 al 90% según sea la susceptibilidad de la variedad y de las condiciones climatológicas (Leyva y Gonzalez, 2000).

La fusariosis, sarna, roña o tizón de la espiga del trigo, causada por *Fusarium spp.*, es un grave problema para los agricultores y la producción de alimentos, ya que afecta el rendimiento y produce micotóxicas nocivas en el grano, que afectan la salud humana y animal (Bauriegel, *et al.*, 2011; Gilchrist-Saavedra, 2000).

Los hongos del género *Fusarium* son ascomicetos filamentosos y cosmopolitas, tienen un micelio bien desarrollado, septado y conidióforos característicos, aunque algunas especies tienen un talo unicelular. Son considerados principalmente como hongos de campo (Sumalan *et al.*, 2013), ya que causan un sinnúmero de enfermedades en cultivos. Sus daños desencadenan en el hospedante una serie de afecciones generalmente de carácter irreversible, originando pérdidas económicas considerables (García *et al.*, 2007).

2.7 Condiciones para que ocurra la enfermedad

Las condiciones climáticas durante la etapa floración y llenado del grano son un factor decisivo para la ocurrencia de la enfermedad. La Fusariosis de la espiga se desarrolla bajo condiciones de alta humedad y temperaturas cálidas. Espigas mojadas durante dos a tres días y temperaturas entre 10 y 30°C durante el período susceptible de los cultivos (llenado de grano) son suficientes para producir la enfermedad (Díaz de Ackermann, 1996), siendo la temperatura óptima para la infección de 25°C (Pereyra, 2003). Las condiciones climáticas inciden en tres fases sobre esta enfermedad:

- En el período de pre-floración, cuando afectan la producción y maduración de ascosporas (inóculo primario).

- En el período de floración y primeras etapas del llenado de grano, cuando inciden en la infección.
- En el período post-infección donde condicionan el desarrollo de la enfermedad (Pereyra, 2003).

2.8 Ciclo de la enfermedad.

El ciclo de *Fusarium* spp;

Los residuos de cosecha colonizados por el hongo son una de las principales fuentes de inóculo (peritecios), ofreciendo un sitio para abundante esporulación durante la siguiente estación de crecimiento (Bai y Shaner, 1994; Pereyra *et al.*, 2004; Xu, 2003).

El inóculo consiste principalmente en ascosporas producidas en peritecios, los que se forman sobre los rastrojos cuando el clima es más cálido (DillMacky y Jones, 2000; Wegulo *et al.*, 2013).

El inóculo se incrementa durante los períodos de lluvia. La humedad es el factor ambiental más determinante asociado a la liberación de esporas, la alternancia de períodos secos y de lluvias aumenta su liberación, la temperatura y la humedad influyen en su maduración (Trail *et al.*, 1998).

La infección ocurre mayormente en espigas en floración a través de las anteras. Las ascosporas y conidios germinan principalmente en las anteras y a partir de ahí colonizan el ovario, otras estructuras florales y el resto de la espiga (Mazzilli *et al.*, 2007). La infección del raquis lleva a la infección de toda la espiga, la interrupción del transporte de agua y nutrientes a la espiga, y la producción de granos arrugados, así como la reducción del rendimiento (Sykes Jo, 2003). En condiciones húmedas el micelio puede propagarse sobre las superficies exteriores de la gluma (Bushnell *et al.*, 2003).

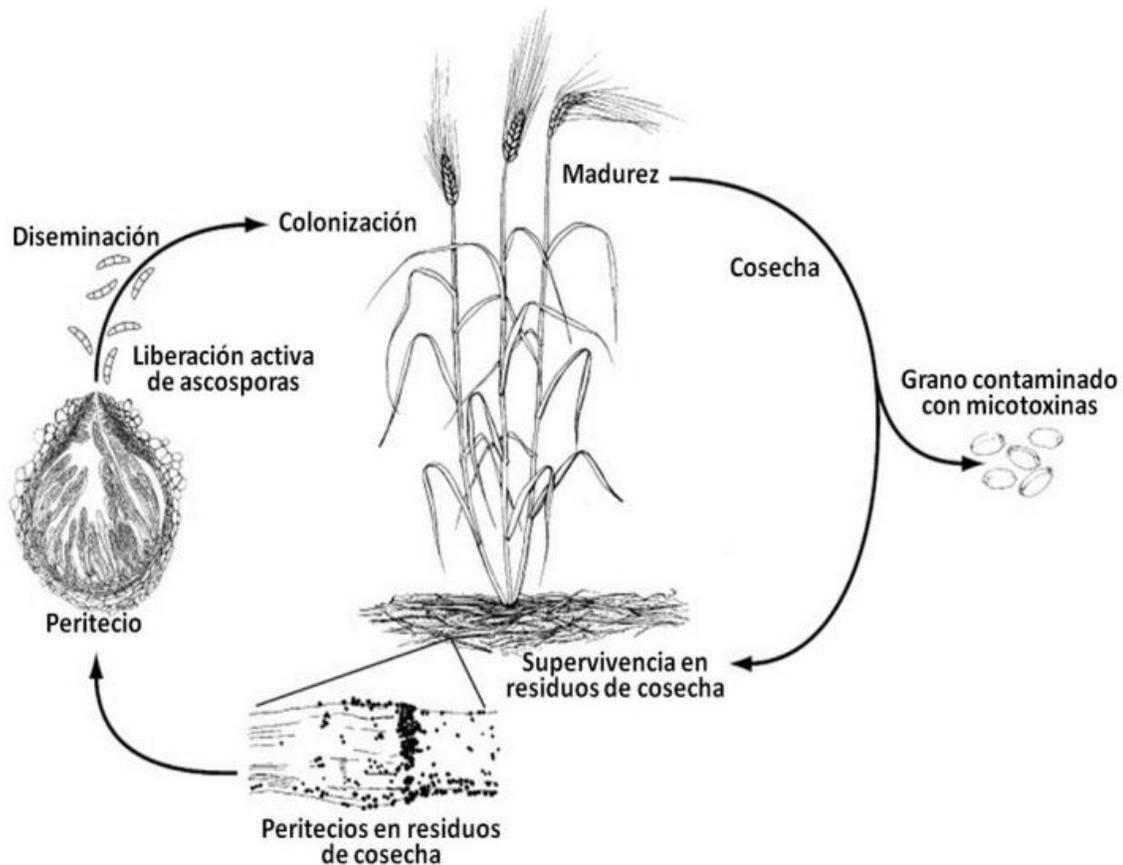


Figura 1. Ciclo de vida de la Fusariosis de la espiga en Trigo (*Fusarium* spp.) (Trail, 2009).

2.9 Defensa natural contra patógenos y parásitos

De acuerdo a Cubero (2003) pueden distinguirse los siguientes tipos de comportamiento entre huésped y parásito de los cuales el primero no tiene carácter hereditario:

- a) **Escape.** El ataque no se produce debido a la falta de coincidencia de los ciclos del parásito y del huésped.
- b) **Evitación.** Generalmente incluida en el apartado anterior, pero conviene separarla incluyendo en ella los casos en que existen mecanismos *hereditarios* que reducen la probabilidad de contacto íntimo (nutritivo) entre planta y patógeno. Por ejemplo: hojas erectas que limitan la deposición de esporas, follaje poco denso que evita la condensación, cleistogamia que impide la llegada del parásito a la flor, etc.
- c) **Tolerancia.** Existe ataque: el patógeno se multiplica en el huésped sin daño o con daño soportable para éste. En el caso de los virus, los virólogos llaman *tolerancia* a la reducción de la expresión de los síntomas de la enfermedad. La tolerancia no debe

aceptarse como solución definitiva a un problema, pues el huésped tolerante se comporta como un depósito de agentes patógenos que pueden atacar variedades que sean susceptibles, e incluso favorecer la aparición de formas virulentas sobre la misma variedad. El término opuesto a *tolerante* es *sensible*.

- d) **Resistencia en sentido estricto** o, simplemente, **resistencia**. Es la capacidad de la planta para restringir el crecimiento o la reproducción del patógeno una vez iniciado el contacto nutritivo. Existen, en este caso, mecanismos simultáneos de invasión por el parásito y de defensa por el huésped. *Hay síntomas de enfermedad*, pero el organismo atacado se defiende con tanto mayor éxito cuanto sean mejores los sistemas de resistencia. El término opuesto a *resistencia* es *susceptible*.

Es preciso tener siempre presente que quizá fuera más exacto hablar de *reacción o respuesta* resistente o susceptible que de resistencia o susceptibilidad, ya que, en realidad, el resultado final observado es de una interacción entre el huésped, el patógeno y el ambiente. Esto puede hacernos observar una *reacción de resistencia* en el huésped ante un mismo patógeno en unas ciertas condiciones ambientales y no en otras. Por ejemplo, una variedad puede ser susceptible a una enfermedad con humedad alta y parecer resistente con tiempo seco, cuando lo que hay en este último caso es ausencia de condiciones adecuadas para la infección. Parece evidente que “resistencia” debería ser equivalente a “respuesta resistente en cualquier condición ambiental”, pero no siempre se da el caso.

Como máxima expresión de la resistencia está la inmunidad: supone la ausencia *total* de infección. Es conveniente advertir que el término “inmunidad” se suele utilizar en los escritos de autores rusos en el mismo sentido en que las publicaciones en el mundo occidental, se utiliza “resistencia”.

2.10 Resistencia Vertical

Cuando un cultivar es más resistente a algunas razas que a otras; es decir, para cada gene de resistencia en el huésped, existe un gene correspondiente en el parásito. Está dentro de las capacidades de cambio microevolutivo de parásito. Suele ser temporal en la agricultura (Gabriel *et al.*, 2017).

2.11 Resistencia horizontal

La definición absoluta de resistencia horizontal es que ésta no implica una relación gene a gene. Esta resistencia está fuera del alcance de los cambios microevolutivos del parásito. Se trata de una resistencia agrícola permanente (Gabriel *et al.*, 2017).

2.12 LITERATURA CITADA

- Álvarez B. M., Moreno G. R. y Solano H. S. 1983a. Mixteco S-82 nueva variedad de trigo para áreas de temporal. SARH. INIFAP. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. Campo Experimental Valle de México. Chapingo México. 12 p. (Folleto Técnico No. 11).
- Álvarez B. M., Solano H. S. y Moreno G. R. 1983b. México M-82 nueva variedad de trigo para áreas de temporal. SARH. INIFAP. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. Campo Experimental Valle de México. Chapingo México. 12 p. (Folleto Técnico No. 12).
- Bai, G., and Shaner, G. 1994. Scab of wheat: Prospects for control. *Plant Disease*. 78:760-766.
- Bauriegel E, Giebel A, and Herppich WB. 2011, Hyperspectral and chlorophyll fluorescence imaging to analyse the impact of *Fusarium culmorum* on the photosynthetic integrity of infected wheat ears, *Sensors*; 11:3765-3779.
- Brennan, J.M., Egan, D., Cooke, B.M., and Doohan, F.M. 2005. Effect of temperature head blight of wheat caused by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*. *Plant Pathology* 54:156-160.
- Brunckhorst K. 2006. Domestication of plants in the Old World. Wheat: More than just a plant. The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley. Clarendon, AU. p. 16-19
- Bushnell, W.R., Hazen, B.E., Pritsch, C. 2003. Histology and physiology of *Fusarium* head blight. In KJ Leonard, WR Bushnell, eds, *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*. APS Press, St. Paul, MN, pp 44–83

- Carver B. 2009. *Wheat Science and trade*. Oxford, UK. Wiley-Blackwell. p. 560
- CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 2004. *Seeds of Innovation: CIMMYT's Strategy for helping to Reduce Poverty and Hunger by 2020*. México, DF: CIMMYT, 6 p.
- Collar C. 2007. Cereales menores: Avena, sorgo, mijo. En A. E., León y C. M., Rosell, *De tales harinas tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica (Capítulo 5, págs. 195-242)*. Córdoba, Argentina: Ediciones Báez.
- Cubero J. I. 2003. *Introducción a la mejora genética vegetal*. 2 da edición. Mundi-Prensa. México, D. F. 561 p.
- Díaz de Ackermann, M. 1996. Golpe blanco de la espiga del trigo, causado por *Gibberella zeae* (Schw.) Petch. Estado perfecto de *Fusarium graminearum* Schw. En: M. Díaz (ed). *Manejo de enfermedades de invierno y pasturas*. Montevideo, Unidad de Difusión e información Tecnológica del INIA, v. 1, p. 79-86.
- Dill-Macky, R. y Jones, R. 2000. The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease* 84: 71-76
- FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FIRA. 2015. *Panorama Agroalimentario*. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 40 p.
- Gabriel J, Indacochea B, Ayón F, Valverde A, Máximo V, Castro C, Manobanda M. 2017. *Principios básicos de la resistencia genética a patógenos, plagas y factores abióticos*. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Ecuador. 116 p
- García, J. M. D.; Shagarodsky, T.; Fresneda, J. A.; Fundora, Y. H., y González, J. 2007. Caracterización de especies del género *Fusarium* en el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum*) en las provincias ciudad Habana y La Habana. *Temas de Ciencia y Tecnología* 32 (11), 63–66.
- Gilchrist-Saavedra, L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137

- Gilchrist-Saavedra, L., G. Fuentes-Dávila, C. Martínez-Cano, R.M. López-Atilano, E. Duveiller, R.P. Singh, et al. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. 68 p. 2a. ed. CIMMYT, México, D.F., México.
- Groth, J. V., Ozmon, E. A., and Busch, R. H. 1999. Repeatability and relationship of incidence and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Disease*. 83:1033-1038.
- Goswami, R.S., and Kistler, H.C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5:515-525.
- Herbek J., Lee C. y Trimble R. 2008. A comprehensive guide to wheat management in Kentucky. Kentucky, US. Kathleen editor. 72 p.
- Ireta M. y L. Gilchrist S. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F: CIMMYT.
- Leyva M. G., González, I. R. M., 2000. Descripción y control de tizones, manchas foliares y roña de la espiga del trigo. En: Villaseñor M., H.E., Espitia R., E. 2000. El Trigo de Temporal en México, Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 313p. (Libro técnico No. 1)
- Mazzilli, S.; Pérez, C. y Ernst, O. 2007. Fusariosis de la espiga en trigo: características de la enfermedad y posibilidades de uso de modelos de predicción para optimizar el control químico. *Agrociencia* (2007) Vol XI N° 1 pág. 11–21.
- Mellado, Z. 2007. El trigo en Chile. Centro Regional de Investigaciones Quilamapu. INIA N° 21: 684
- Meidaner, T. 1997. Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. *Plant Breeding* 116:201-220
- Mesterhazy, A. 1995. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breeding* 114:377-386.
- Moreno, S. J. C. 2012. Resistencia de un biotipo de *Avena fatua* L. al herbicida Clonadifop-propargyl colectado en el estado de Guanajuato. Tesis profesional. Departamento de

Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México, México. 76 p.

Moreno G. R., Rodríguez P. E., Huerta E. J. y Villaseñor M. H. E. 1989. Gálvez M87 variedad de trigo para temporal y riego restringido. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de México. México. 18 p. (Folleto Técnico No. 14).

Moreno G. R. y Villaseñor M. H. E., 1993. Trigo de Temporal. Pp 195-211. En: F. Márquez S., (ed.). Producción y Genotecnia de Plantas Autógamas. AGT, Editor, S.A. México, D.F., México.

Muthomi, J. W., Ndung, J. K., Chemining, G. N., and Wagacha, J.M. 2007. Reaction of some Kenyan wheat cultivars to head blight after inoculations with *Fusarium graminearum*. Asian Journal of Plant Sciences 6(4):585-591.

Nicholson, P., Gosman, N., Draeger, R., Thomsett, M., Chandler, E., and Steed, A. 2007. The *Fusarium* head blight pathosystem: Status and knowledge of its components. pp. 23-26. In: H.T.Buck, J.E. Nisi, and N. Salomón (eds.). Wheat Production in Stressed Environments. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.

Parry, D. W., Jenkinson, P., and McLeod, L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - a review. Plant Pathol. 44:207-238.

Peña B. R. J., Pérez H. P., Villaseñor M. H. E., Gómez V. M. M. y Mendoza L. M. A. 2008. Calidad de la cosecha en México. Ciclo primavera-verano 2006. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajín No. 567, Col. Vértiz Narvarte Delegación Benito Juárez C. P. 03600 México, D. F. 28 p.

Pereyra, S. 2003. Prácticas culturales para el manejo de la fusariosis de la espiga. En: Jornada Técnica de Cultivos de Invierno. Abril 2004, INIA Uruguay. Serie Actividades de Difusión N° 312. p. 1-9.

Pereyra, S. A., Dill-Macky, R., and Sims, A. L. 2004. Survival and inoculum production of *Gibberella zeae* in wheat residue. Plant Disease. 88:724-730.

- Prescott, J.M., P.A. Burnett, E.E. Saari et al. 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D.F., México.
- Ritchie S., Swanson S. J. y Gilroy S. 2000. Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research*, 10, 193-212.
- Riungu, G.M., J.W. Muthomi, J. W., Narla, R. D., Wagacha, J.M., and Gathumbi, J. K. 2008. Management of Fusarium Head Blight of wheat and deoxynivalenol accumulation using antagonistic microorganisms. *Plant Pathology Journal* 7(1):13-19.
- SAGARPA. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Shewry P. R. y Halford N. G. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53, 947-958.
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Stack R. W. and McMullen M. P. 2011. A Visual Scale to estimate Severity of Fusarium Head Blight in Wheat. North Dakota State University and U. S. Department of Agriculture.
- Sumalan, R. M.; Alexa, E., y Poiana, M. A. 2013. Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and Fusarium mycotoxins production in wheat. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 1–12.
- Sykes, Jo. 2003. Fusarium Ear Blight and Mycotoxins in Wheat. *The Agronomist*. 1/2003:19-23.
- Trail, F., Gadoury, D. y Loranger, R. 1998. Environmental parameters of ascospore discharge in *Gibberella zeae*. The Fusarium head blight Forum. Chapter 1. Epidemiology and disease management. Michigan State University. USA. p. 11-13.
- Trail, F. 2009. For blighted waves of grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomics. Era. *Plant Physiology*, 149: 103–110.
- USDA. 2015a. Foreign Agricultural Service.
- USDA. 2015b. World Agricultural Supply and Demand Estimates Report (WASDE).

- Villaseñor, M. H. E., 2015. Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 11. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Estado de México, México. 2183-2189
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. In: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. El trigo de temporal en México. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIR-CENTRO. 85-98 pp.
- Villaseñor, M., H. E., Espitia R. E., Huerta, E. J., González I. R., Solís M. E. y Peña B. J. 2004. Rebeca F2000, Nueva variedad de trigo para siembras en temporales favorables e intermedios en México. Rev. Fitotecnia Mexicana. Vol. 27(3): 285-287.
- Villaseñor, M. H. E.: Espitia. R. E.: Huerta. E. J.; María. R. A.; Osorio. A. L; Aguirre, M. D. and Peña. B. J. 2005. Registration of Tlaxcala F2000 wheat. Crop Scj. 45:425-426.
- Villaseñor, M. H. E., Espitia R. E., Huerta E. J., María R. A., Osorio A. L. y Aguirre M. D. 2000a. Tlaxcala F2000: nueva variedad de trigo para siembras de temporal en México. Chapingo, Estado de México, México. SAGAR, INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Valle de México. 20 p. (Folleto Técnico No. 1).
- Villaseñor M. H. E., Espitia R. E., Huerta E. J., Solís M. E., Ireta M. J., Osorio A. L. y Pérez H. P. 2014. Nana F2007, cultivar de trigo para siembras de temporal en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 7. México. 1363-1368 p.
- Villaseñor M. H. E., Espitia R. E., Huerta E. J. y Zalazar Z. A. 1999. Nuevas variedades de Trigo Harinero para Siembras de Temporal en México. INIFAP. Centro de Investigaciones de la Región Centro. Chapingo, México. (Desplegable Técnico No. 8).
- Villaseñor M., H. E., Espitia, R. E., Salomón, S. y Solís, E. 2000b. Romoga F96, Nueva variedad de trigo para siembras de temporal. Rev. Fitotecnia Mexicana Vol. 23(2): 367-370.
- Villaseñor M. H. E., Huerta E. J., Hortelano S. R. R., Martínez C. E., Espitia R. E., Solís M. E., Osorio A. L., y Rodríguez G. M. F. 2018a. Valles F2015: nueva variedad de trigo para

siembras de temporal en México. 2018. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol 9:6 Pp. 1315-1320.

Villaseñor M. H. E., Huerta E. J., Hortelano S. R. R., Solís M. E., Martínez C. E., Osorio A. L., Rodríguez G. M. F. y Espitia R. E. 2018b. Don Carlos M2015: nueva variedad de trigo harinero con amplia adaptación para siembras de temporal en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol 9:7 Pp. 1553-1559.

Villaseñor, M. H. E., Huerta E. J., Espitia R. E., Solís M. E., Osorio A. L., Ireta M. J. y Pérez H. P. 2014. Altiplano F2007, nueva variedad de trigo para siembras de temporal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 7. México. 1355-1361.

Villaseñor, M. H. E y Moreno-Gálvez R. 1993. Temporalera M-87, Un concepto de variedad multilínea en siembras de temporal. Agrociencia Serie Fitotecnia Vol. 4(1):53-64.

Villaseñor, M. H. E., Moreno, R. and Espitia, E. 1999. Registration of Batán F96 wheat. Crop Science Vol. 39: 880-880.

Wegulo, S., Bockus, W., Hernandez Nopsa, J., Peiris, K. H. y Dowell, F. 2013. Integration of Fungicide Application and Cultivar Resistance to Manage Fusarium Head Blight in Wheat. Book Chapter, 35-54.

Xu, X. 2003. Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. Eur. J. Plant Pathology. 109:683-689.

CAPITULO III. RESPUESTA DE VARIEDADES DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) PARA SIEMBRA DE TEMPORAL AL ATAQUE DE TIZÓN DE LA ESPIGA (*Fusarium* spp)

RESPONSE OF WHEAT VARIETIES (*Triticum aestivum* L.) FOR GROWN DURING THE RAINY SEASON TO THE ATTACK OF FUSARIUM EAR BLIGHT (*Fusarium* spp)

Adela Núñez-Juárez¹ y Mateo Vargas-Hernández²

3.1 Resumen

La fusariosis de la espiga es una de las principales enfermedades que limitan la producción de trigo debido a que las infecciones graves pueden causar una disminución de más del 50% en el rendimiento. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta de dieciséis variedades de trigo harinero de temporal a la infección de tres especies de *Fusarium* en condiciones de invernadero: *F. boothi*, *F. equiseti* y *F. verticillioides*. Se determinó la resistencia de las variedades para cada especie y se evaluó cuál de las tres especies causó mayor severidad, en general para todas las variedades y en particular para variedades específicas. Los resultados fueron: para *F. boothi*, los genotipos que mostraron resistencia fueron Altiplano F2007, Rebeca F2000 y Cleopatra VS74, mientras que los genotipos más susceptibles fueron Texcoco F2016, Gálvez M87 y México M82; para *F. equiseti*, los genotipos identificados como resistentes fueron Altiplano F2007, Rebeca F2000 y Cleopatra VS74, y los genotipos que reaccionaron como susceptibles fueron Zacatecas VT74, Gálvez M87 y México M82; finalmente para *F. verticillioides*, los genotipos resistentes fueron Altiplano F2007, Rebeca F2000 y Cleopatra VS74, y los genotipos susceptibles fueron Zacatecas VT74, Gálvez M87 y México M82. Así mismo, *F. boothi* causó el mayor grado de severidad, *F. equiseti* ocupó el segundo lugar, y *F. verticillioides* fue la especie que causó menor severidad en las espigas durante las tres evaluaciones, aunque estas dos últimas no mostraron diferencias estadísticas entre sí.

Palabras clave: *F. boothi*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, susceptibilidad, resistencia.

¹Tesista

²Director

3.2 Abstract

Fusariosis is one of the main diseases that limit the wheat production because the serious infections can cause a reduction of more than 50 % in the yield. This research aimed to evaluate the response of sixteen bread wheat varieties for growing during the rainy season to the infection of three species of *Fusarium* under greenhouse conditions: *F. boothi*, *F. equiseti* and *F. verticillioides*. Varieties resistance was determined for each species, and it was evaluated which of the three species caused the most severity, in general for all the varieties and in particular for specific varieties. The results were: for *F. boothi*: Altiplano F2007, Rebeca F2000 and Cleopatra VS74 were the genotypes that showed resistance, meanwhile the most susceptible genotypes were Texcoco F2016, Gálvez M87 and México M82; for *F. equiseti*, the genotypes identified as resistant were Altiplano F2007, Rebeca F2000 and Cleopatra VS74, and the genotypes that responded as susceptible were Zacatecas VT74, Gálvez M87 and México M82; finally, for *F. verticillioides*, the resistant genotypes were Altiplano F2007, Rebeca F2000 and Cleopatra VS74, and the susceptible genotypes were Zacatecas VT74, Gálvez M87 and México M82. Likewise, *F. boothi* caused the highest severity, *F. equiseti* was placed secondly, and *F. verticillioides* was the species that caused the less severity on the ears during the three evaluations, although the two last ones did not show statistical differences.

Keywords: *F. boothi*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, susceptibility, resistance.

3.3. INTRODUCCIÓN

El trigo se cultiva en todo el mundo bajo diversas condiciones climáticas. Ha sido el alimento básico de las principales civilizaciones de Europa, Asia y Norte de África durante más de 8 000 años. En 2016 ocupó el tercer lugar entre los cereales más cultivados, después del maíz y el arroz, con una producción mundial de más de 700 millones de toneladas (FAOSTAT, 2018). En México la producción de trigo se divide por su régimen de humedad, en riego y temporal, este último, es aquel que se cultiva durante el ciclo de primavera - verano y que en muchas regiones coincide con la época de lluvias y depende de la cantidad y distribución de las mismas para cumplir su ciclo biológico y lograr buena productividad (Villaseñor y Espitia, 2000).

La fusariosis de espiga se ha convertido en una de las enfermedades más importantes de los cereales debido al marcado incremento en incidencia y severidad en todo el mundo. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha identificado a esta enfermedad como la principal limitante para la producción de trigo, ya que, a los problemas en rendimiento, se le suma la acumulación de micotoxinas en granos (Xu, 2003). Las infecciones graves pueden causar una disminución del rendimiento de más del 50% y una reducción considerable de la calidad del grano. Los granos obtenidos de las espigas infectadas con frecuencia están arrugados. El grano cosechado que tenga más del 5% infectado puede contener un nivel de toxina suficiente para ser nocivo para el hombre y los animales (Prescott *et al.*, 1986).

En las regiones productoras de trigo de temporal en México, como la Sierra Tarasca en Michoacán, los Altos de Jalisco, la Sierra del Tigre y Tapalpa en Jalisco, así como en el Valle de Toluca y la región de Jilotepec en el Estado de México, la presencia de la roña de la espiga es alta; en los estados de Tlaxcala e Hidalgo tiene una presencia media. Su incidencia se ha incrementado en los últimos años en estas regiones debido quizás al incremento del área sembrada con cereales y a la rotación estrecha con maíz, trigo o cebada, ya que el hongo ataca a estos hospedantes presentando una incidencia hasta del 60% a nivel poblacional y del 10 al 15% a nivel individual o de espiga (Ireta y Gilchrist, 1994). Entre las principales estrategias que

se han propuesto para el manejo de la roña de la espiga se encuentran el uso de genotipos resistentes (Groth *et al.*, 1999; Muthomi *et al.*, 2007).

Los objetivos de la presente investigación fueron evaluar el comportamiento de dieciséis variedades de trigo de temporal bajo invernadero, a la infección de tres especies de *Fusarium*: *F. boothii*, *F. equiseti* y *F. verticillioides*, para determinar las variedades más resistentes para cada especie y evaluar cuál de las tres tiene mayor patogenicidad en general para todas las variedades y en particular para variedades específicas.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización del experimento

El experimento se estableció en el Laboratorio Nacional de Royas y Otras Enfermedades del Trigo (LANARET) en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. Sus coordenadas geográficas son 19°26'56"N 98°52'20"O y su altitud es de 2 300 metros sobre el nivel del mar. El clima predominante es templado semiseco, presenta una temperatura media anual de 15.9°C.

3.4.2 Material Vegetal

Se utilizaron dieciséis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal los cuales fueron proporcionados por el INIFAP. Se muestra el año de liberación y la genealogía de los genotipos en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Genotipos de trigo evaluados, genealogía y año de liberación.

Genotipo	Año de liberación	Genealogía
Cleopatra VS74	1974	BB/3/2*INIA66/NAPO//II20350/4/F2
Zacatecas VT74	1974	NOR/4/CON/JAR/3/Y50E/CON//ON
Mixteco M82	1982	MO73/ RA ² F ₂
México M82	1982	RA ² F ₂ /BB//SYG/3/ RA ² F ₂
Temporalera M87	1987	TIBA63 ^E //INIA66*2/KR/3/TOB/CNO67//OLN/4/KLRE/3/INIA66/BB//NAI60 ^E
Gálvez M87	1987	BB/GLL//CARP/3/PVN

Batán F96	1996	CNO67/MFD//MONCHO/SERI
Romoga F96	1996	MON//SIS/CAN
Tlaxcala F2000	2000	Zacatecas/Romoga
Rebeca F2000	2000	PFAU/SERI//BOW
Altiplano F2007	2007	GAVIA/ROM/4/PINO/IMU//ROM/3/PVN/PC
Nana F2007	2007	GOV/AZ//MUS/3/KEA/4/TRAP#1/BOW/5/MILVUS
Don Carlos M2015	2015	BABAX*2/PRL//TLAXCALA
Valles F2015	2015	PAMDOLY.PABG(Tardía.C4)
Texcoco F2016	2016	GAVIA/ROM/3/PIRUL/GUI//TEMP/AGR/4/JUCHI
Canícula “s”	2016	TEMP/NORM/4/CHLL/ROM/3/PRL/VEE#6/MYNA/BUL/5/TLAX/6/BARB//MON/AW/3/INQUILAT/KUKUNA(AltProt14%)

3.4.3 Especies de *Fusarium* evaluadas

Se utilizaron tres especies de *Fusarium*:

- I. *Fusarium boothi*
- II. *Fusarium equiseti*
- III. *Fusarium verticillioides*

3.4.4 Desarrollo del experimento

3.4.4.1 Desinfección del suelo

La principal finalidad de la desinfección fue la reducción o eliminación de los diferentes agentes patógenos que están en el suelo agrícola y disminuyen la cosecha y la producción, como es el caso de bacterias, nematodos, hongos, insectos, malas hierbas, etc. Son diferentes las técnicas empleadas para esta desinfección. Las físicas son las que utilizan el calor como elemento esterilizante. Para el presente experimento se desinfectó el suelo mediante vapor de agua ya que este sistema de desinfección tiene una eficacia probada en la eliminación de la mayoría de los patógenos del suelo.

3.4.4.2 Siembra

La siembra se realizó en macetas de plástico. En cada maceta se colocaron 6 semillas, es decir 2 semillas por cavidad con el propósito de asegurar la germinación

de al menos 3 plantas. En las macetas en donde emergieron más de 3 plantas, se procedió a un raleo para evitar la competencia entre plantas.

3.4.4.3 Poda

Esta práctica agrícola se realizó con el objetivo de incrementar el crecimiento vegetativo de la planta, en otras palabras, que la planta produzca a partir del tallo principal mayor número de macollos y en consecuencia aumentar el potencial de espigas por planta.

3.4.4.4 Incremento de inóculo

La purificación del hongo y el incremento del inóculo se realizó mediante el método de siembra directa, con un sacabocados se tomó una porción del micelio de cada especie crecido en cajas Petri y con la ayuda de una pinza de disección la porción de micelio se colocó en una nueva caja Petri con medio Agar Bacteriológico (DIBICO), y así sucesivamente para cada especie de *Fusarium* obteniendo 10 cajas Petri por especie, posteriormente se mantuvieron dichas cajas con temperatura y humedad controlada en el laboratorio de Micología ubicado en el departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

Después de 15 días que se permitió el crecimiento del inóculo se procedió a extraer los conidios de cada especie, para ello con una espátula se raspó el contenido micelial de las cajas Petri, el resultante más un poco de agua destilada se depositó en un vaso de precipitado y se adicionó dos gotas de adherente Tween 20, finalmente se consiguió una solución de 20 ml a una concentración de 10^6 conidios.ml⁻¹ para cada aislado.

3.4.4.5 Inoculación

Se utilizó el método de inoculación de espiga individual (método del algodón) descrito por Gilchrist-Saavedra *et al.* (2005). Previo a la inoculación se cortaron las aristas para facilitar el cubrimiento de las espigas. La inoculación se realizó en la etapa de antesis, se considera la etapa fenológica más susceptible al ataque de *Fusarium*. El procedimiento fue saturar un pequeño copete de algodón con suspensión de conidios, éste se puso entre la lema y palea eligiendo la espiguilla central y colocando un copete de algodón saturado en cada lado de la espiguilla.

Finalmente se cubrió la espiga con una bolsa de papel glassine, anotando en ella la fecha de inoculación.

3.4.4.6 Incubación

Las plantas inoculadas se mantuvieron en una cámara de incubación durante 8 días a una temperatura de entre 19° - 22° y una humedad relativa de 100%. Posteriormente se trasladaron al invernadero.

3.4.4.7 Evaluación

Se efectuaron tres evaluaciones, la primera a los 8 días, la segunda a los 13 días y la tercera a los 16 días después de la inoculación (ddi).

3.4.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron las diferentes especies de *Fusarium* evaluadas y las parcelas chicas las 16 variedades de trigo de temporal. La unidad experimental estuvo constituida por 3 plantas. A los datos obtenidos de las variables de estudio se les realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias utilizando el método de Tukey con nivel de significancia al 5%. El análisis se hizo con el software Statistical Analysis System (SAS).

3.4.6 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron:

Severidad. Se determinó el porcentaje de severidad de acuerdo a la escala de Stack y McMullen (2011). En la figura 2 se muestra el esquema de la escala mencionada.

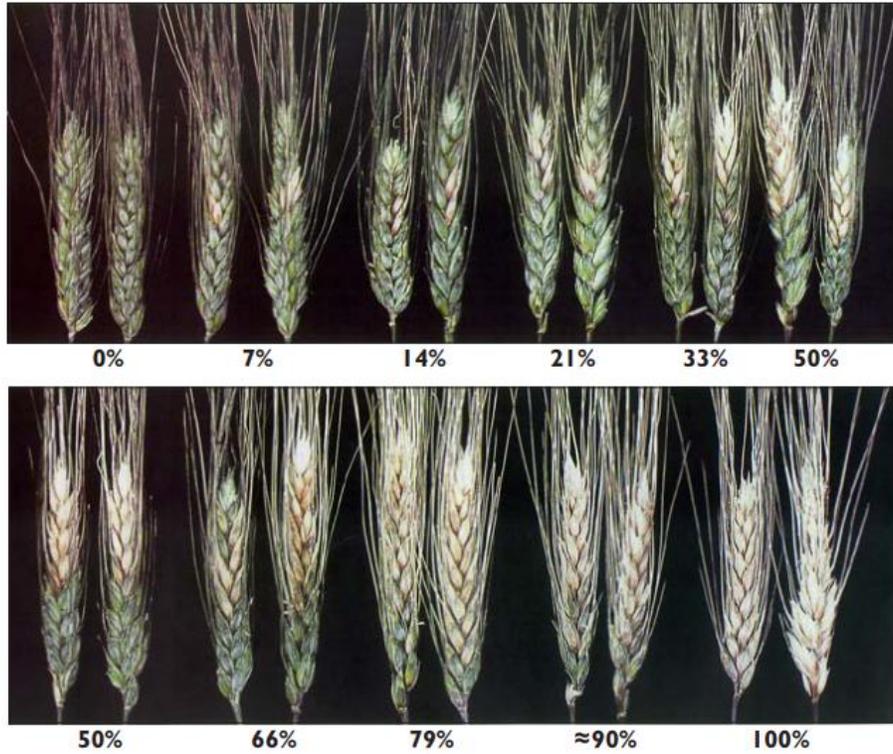


Figura 2. Escala en porcentaje de severidad causada por *Fusarium spp* (Stack y McMullen, 2011).

Peso de Grano. Se pesó el total de semillas obtenidas de las espigas inoculadas de cada genotipo.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Análisis individuales para cada especie en cada evaluación.

Se realizaron tres evaluaciones para cada especie. Los resultados individuales se resumen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Promedios individuales de severidad para cada especie de *Fusarium* en las tres evaluaciones.

GENOTIPO	<i>Fusarium boothi</i>			<i>Fusarium equiseti</i>			<i>Fusarium verticillioides</i>		
	Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 3	Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 3	Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 3
Cleopatra VS74	5.8 f*	9.3 f	11.6 c	3.5 d	5.8 f	5.8 f	4.2 dc	4.2 e	4.2 fg
Zacatecas VT74	25 efcd	78 bac	89.6 a	17.5 dc	80.5 ba	89.6 ba	34.1 ba	79.8 ba	87 ba
Mixteco M82	22.3 efcd	83 ba	98.3 a	15.1 dc	67.3 ba	89.6 ba	9.3 dc	51.8 bdac	70.6 bac
México M82	32.2 efcd	89.6 ba	98.3 a	28.6 bc	92.6 ba	98.3 a	17.1 bdac	89.3 a	100 a
Temporalera M87	21.5 efcd	45.3 dec	77 ba	17.5 dc	55.6 bdc	69.3 bac	14 bdc	38.5 bdec	59 bdca
Gálvez M87	30.3 efcd	96.6 a	100 a	27.8 bc	93.1 a	98.3 a	39.6 a	72.5 bac	88.6 ba
Batan F96	66.5 ba	74.8 bac	78.1 ba	50.8 a	56.1 bdc	64.5 bdac	14 bdc	15.1 de	17.1 fgde
Romoga F96	31.8 efcd	60.6 bdc	68.6 ba	12.5 dc	14.8 fed	14.8 f	1.1 d	3.5 e	5.5 fge
Tlaxcala F2000	41.5 bcd	68.8 bdac	89.6 a	11.6 dc	20.8 fed	29.1 fde	9.3 dc	9.3 e	9.3 fge
Rebeca F2000	8.1 f	11.6 fe	12.8 c	0 d	2.3 f	2.3 f	0 d	2.3 e	3.5 fg
Altiplano F2007	1.1 f	7 f	9.3 c	0 d	0 f	0 f	2.3 d	1.4 e	1.4 g
Nana F2007	17.1 efd	46.3 dec	73 ba	20.6 dc	66 bac	81.6 ba	7 dc	35.5 dec	48.5 fbdec
Don Carlos M2015	11.3 f	38.5 fde	51.3 b	3.5 d	12.8 fe	19.1 fe	8.1 dc	29.1 de	36.6 fgdec
Valles F2015	44.3 bc	60.6 bdc	88.1 a	21.1 dc	28 fed	28 fde	16.5 bdac	25 de	25 fgdec
Texcoco F2016	77.8 a	89.6 ba	91.5 a	44.1 ba	48.3 bedc	55.8 dec	27 bac	28.1 de	29.3 fgdec
Canícula "s"	36.6 ecd	86.3 ba	96.6 a	11.6 dc	31.3 fedc	36.1 fdec	11.6 bdc	33.1 dec	51.1 bdec
DMS	26.3	35	34.9	22.1	35.9	37.7	23.6	41.5	45.9

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

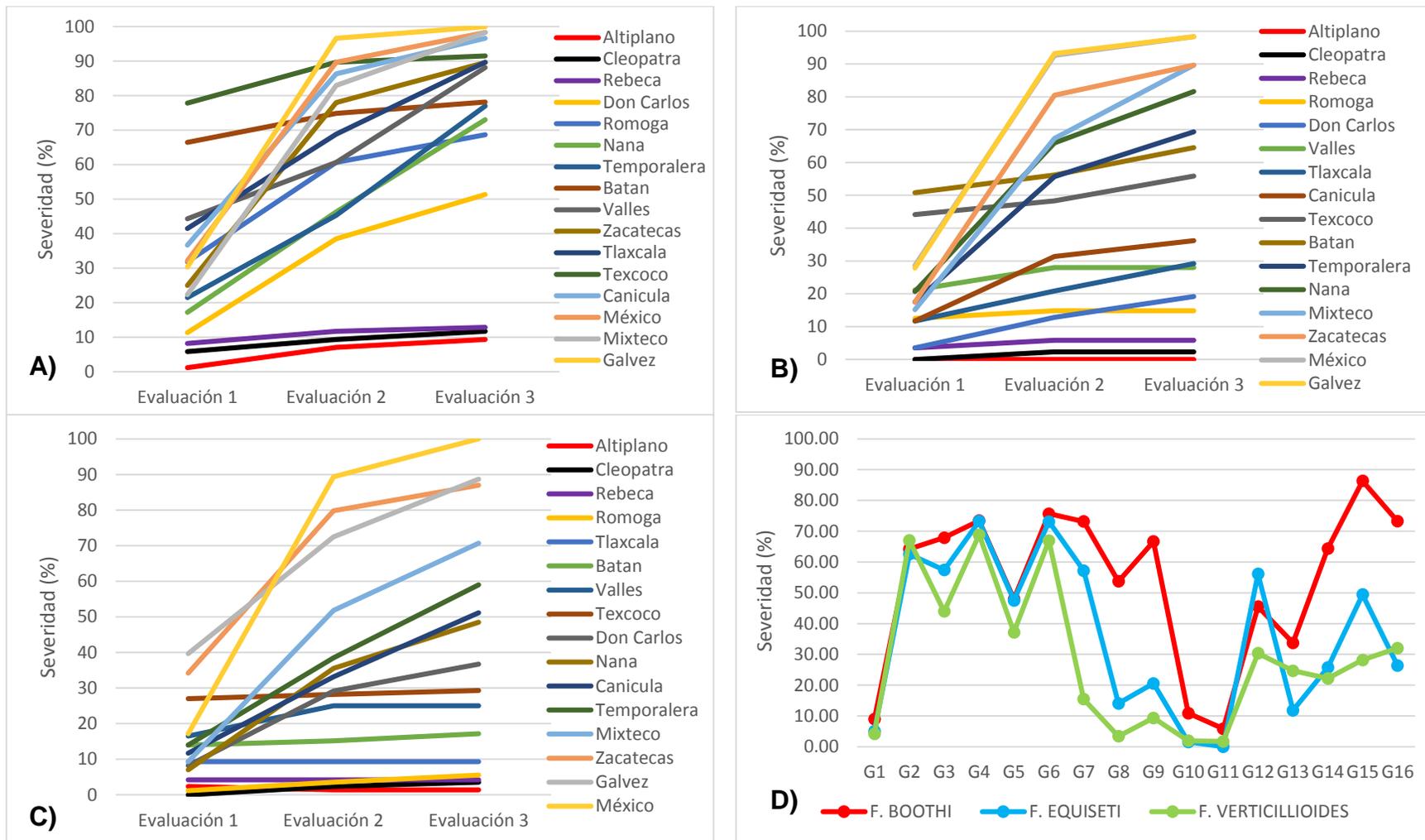


Figura 3. Respuesta de dieciséis genotipos inoculados con *Fusarium* en las tres evaluaciones. A) *Fusarium boothii*. B) *Fusarium equiseti*. C) *Fusarium verticillioides*. D) Comportamiento de los dieciséis genotipos inoculados con base en los promedios de las tres evaluaciones para las tres especies de *Fusarium*; G1: Cleopatra, G2: Zacatecas, G3: Mixteco, G4: México, G5: Temporalera, G6: Galvez, G7: Batan, G8: Romoga, G9: Tlaxcala, G10: Rebeca, G11: Altiplano, G12: Nana, G13: Don Carlos, G14: Valles, G15: Texcoco, G16: Canicula.

En el Cuadro 3 se observa que los resultados en general muestran un progreso de la enfermedad en la mayoría de los genotipos evaluados, excepto en tres genotipos; Altiplano, Rebeca y Cleopatra mostraron un comportamiento diferente respecto al resto de las variedades, ya que en las tres especies de *Fusarium* así como para las tres evaluaciones, los porcentajes de severidad fueron mínimos y poco variables en relación a los periodos de evaluación.

Se puede identificar que la especie *Fusarium boothi* resultó la más agresiva de las tres, debido a que fue la única especie que provocó que cinco de los 16 genotipos evaluados, México, Mixteco, Texcoco, Canícula y Gálvez, alcanzaran una media arriba del 90%, comprando con *F. equiseti* en la cual solo dos variedades superaron el 90%, y finalmente *F. verticillioides* especie que solo en la variedad México se superó la media del 90%.

En la Figura 3 se presenta el comportamiento de los dieciséis genotipos evaluados en las tres diferentes especies de *Fusarium*, en la cual se distingue que principalmente 3 variedades fueron resistentes, las cuales fueron Altiplano, Rebeca y Cleopatra; por otro lado en las Figuras B y C se distingue que los genotipos con mayor grado de susceptibilidad fueron México, Gálvez y Zacatecas, para *Fusarium boothi* se repiten como variedades susceptibles México y Gálvez, a diferencia de *F. equiseti* y *F. verticillioides* donde también aparece Texcoco como uno de los genotipos más susceptibles.

- Análisis combinado a través de evaluaciones, para cada especie.

Para los 16 genotipos en las tres diferentes especies de *Fusarium*, considerando las tres evaluaciones realizadas, el análisis de la varianza presentó diferencias altamente significativas. Para *F. boothi* se encontró diferencias altamente significativas para evaluaciones y genotipos ($P=0.0067$, $P\leq 0.0001$), los porcentajes más bajos de severidad fueron para los genotipos Altiplano, Rebeca y Cleopatra con 5.8, 10.8 y 8.9 %, respectivamente (Cuadro 4); mientras que los genotipos con los promedios más altos fueron Texcoco (86.3), México (75.8) y Gálvez (75.6).

Las medias obtenidas para *F. equiseti* de igual manera mostraron diferencias altamente significativas ($P=0.0004$ y $P\leq 0.0001$) para evaluaciones y genotipos, respectivamente. Los genotipos con menor porcentaje de severidad fueron Cleopatra con 5%, Rebeca con 1.5% y Altiplano que fue el único genotipo que registró un 0% de severidad, contemplando promedios de las tres especies estudiadas (Cuadro 4). México, Gálvez y Zacatecas presentaron los porcentajes más altos con un promedio de 73.2, 73.1 y 62.5 %, correspondientemente.

En el caso de *F. verticillioides* los valores promedios con menor porcentaje resultaron similares a los datos de las especies anteriores, el único genotipo que difirió fue Romoga con 3.3 %. Al igual que para *F. equiseti* los genotipos con los promedios más altos fueron México, Gálvez y Zacatecas con valores casi del 70% de severidad.

Cuadro 4. Valores promedios de porcentaje (%) de severidad a través de las tres evaluaciones, de cada genotipo para cada especie.

Variedades	<i>F. Boothi</i>		<i>F. Equiseti</i>		<i>F. Verticillioides</i>	
Cleopatra	8.9	g*	5	de	4.2	fg
Zacatecas	61.7	becd	62.5	ba	67	a
Mixteco	67.8	bc	57.3	ba	43.9	b
México	75.8	ba	73.2	a	68.8	a
Temporalera	47.9	efd	47.5	b	37.1	cb
Gálvez	75.6	ba	73.1	a	66.9	a
Batan	73.1	ba	57.1	ba	15.4	fegd
Romoga	53.7	ecd	14.1	dce	3.3	fg
Tlaxcala	66.6	bc	20.5	dc	9.3	feg
Rebeca	10.8	g	1.5	e	1.9	g
Altiplano	5.8	g	0	e	1.7	g
Nana	45.5	ef	56.1	ba	30.3	cebd
Don Carlos	33.7	f	11.8	dce	24.6	fcebd
Valles	64.3	bcd	25.7	c	22.1	fcegd
Texcoco	86.3	a	49.4	b	28.1	cebd
Canícula	73.2	ba	26.3	c	32	cbd
DMS	18.3		18.5		21.5	

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

Es importante mencionar que los genotipos en los que se logró observar una reacción resistente fueron principalmente dos, Altiplano y Rebeca, que presentaron los valores promedio más bajos para las tres especies (Figura 4). También es relevante hacer notar que los genotipos que presentaron una reacción susceptible fueron México y Gálvez, dichas variedades obtuvieron los valores promedio más altos en las tres especies de *Fusarium*. Por otro lado, el genotipo Texcoco con un promedio de 86.3 fue el valor más alto de los dieciséis genotipos evaluados, por lo tanto resultó el genotipo con mayor susceptibilidad.

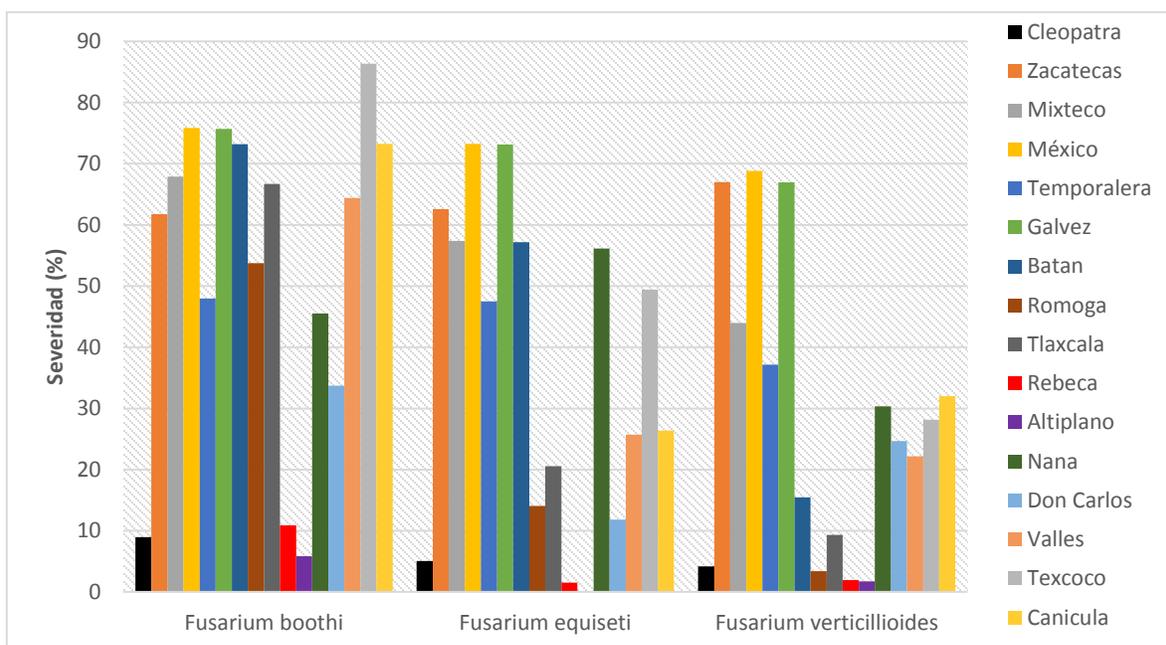


Figura 4. Porcentaje de severidad a través de evaluaciones para cada especie.

- Análisis combinado a través de especies, para cada evaluación.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis de varianza en la cual hubo diferencias altamente significativas en las tres evaluaciones realizadas. En la primera evaluación ($P=0.0160$ y $P\leq 0.0001$ para especie y variedad, respectivamente), los genotipos que presentaron las medias más bajas fueron tres, Cleopatra (4.5 %), Rebeca (2.7%) y Altiplano (1.2%), mientras que las variedades que obtuvieron los valores promedio altos fueron; Texcoco (49.6%), Batan (43.6%) y Gálvez (32.6 %).

Para la segunda evaluación los resultados presentaron diferencias altamente significativas ($P=0.0026$ y $P\leq 0.0001$, para especie y variedad). En este caso los genotipos que presentaron las mejores medias al igual que en la primera evaluación fueron Cleopatra, Rebeca y Altiplano, y en el caso opuesto, es decir con las medias más altas fueron México, Gálvez y Zacatecas.

En la última evaluación nuevamente Altiplano, Rebeca y Cleopatra resultaron ser las mejores con 3.7%, 6.2% y 7.4% respectivamente; los genotipos con las medias más altas fueron Zacatecas con 88.7%, Gálvez con 95.6% y México con 98.8%; es importante señalar que los últimos dos genotipos mencionados estuvieron cerca de alcanzar el 100 % de infección, es decir, fueron los genotipos con mayor susceptibilidad.

De acuerdo a las tres evaluaciones realizadas se puede observar en el Cuadro 5 que los genotipos que presentaron las mejores medias fueron Altiplano, Rebeca y Cleopatra, en otras palabras, presentaron mejor reacción resistente al patógeno, ya que en la tercera evaluación, es decir 16 días después de la inoculación el máximo porcentaje de infección en la espiga fue de 7%, a diferencia del resto de los genotipos que alcanzaron hasta un 90% de infección. Por otro lado se tiene a los genotipos con reacción susceptible, en este caso Gálvez fue el único que se repitió en las tres evaluaciones con alto porcentaje de severidad, siendo por tanto la variedad con mayor susceptibilidad; también Zacatecas y México se comportaron de manera susceptible, ya que en la segunda y tercera evaluación fueron de los tres genotipos con mayor porcentaje de daño; el último genotipo mencionado, para la segunda evaluación ya presentaba un 90% de infección, por tanto se puede indicar que la infección fue más rápida que en el resto de los genotipos.

Cuadro 5. Valores promedio de severidad de cada genotipo para cada evaluación a través de las tres especies.

Variedades	Evaluación 1 (5DDI)		Evaluación 2 (13DDI)		Evaluación 3 (16DDI)	
Cleopatra	4.5	hgf*	6.5	hgi	7.4	hg
Zacatecas	25.5	dc	79.5	ba	88.7	ba
Mixteco	15.6	dgfe	67.3	bc	86.2	ba
México	25.6	dc	90.5	a	98.8	a
Temporalera	17.6	dfe	46.5	dfce	68.4	bc
Gálvez	32.6	bc	87.4	ba	95.6	a
Batan	43.7	ba	48.7	dce	53.2	dce
Romoga	15.1	dgfe	26.3	hfg	29.6	fg
Tlaxcala	20.8	dce	33	fe	42.7	dfe
Rebeca	2.7	hg	5.4	hi	6.2	h
Altiplano	1.2	h	2.8	i	3.7	h
Nana	14.9	dgfe	49.2	dce	67.7	bc
Don Carlos	7.6	hgfe	26.8	fg	35.7	fe
Valles	27.3	dc	37.8	dfe	47.1	dfce
Texcoco	49.6	a	55.3	dc	58.8	dc
Canicula	20	dce	50.2	dce	61.3	dc
DMS	13.6		21.3		22.4	

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$). DDI= Días después de la inoculación.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de los promedios de cada evaluación considerando los datos de las tres especies de *Fusarium*. Se puede notar que para la mayoría de los genotipos el porcentaje de severidad aumentó principalmente de la primera a la segunda evaluación, mientras que de la evaluación dos a la tercera el cambio no fue muy notorio. Hubo excepciones para ciertas variedades como Altiplano, Rebeca y Cleopatra, ya que los porcentajes no se incrementaron mucho conforme se amplió el rango de evaluación.

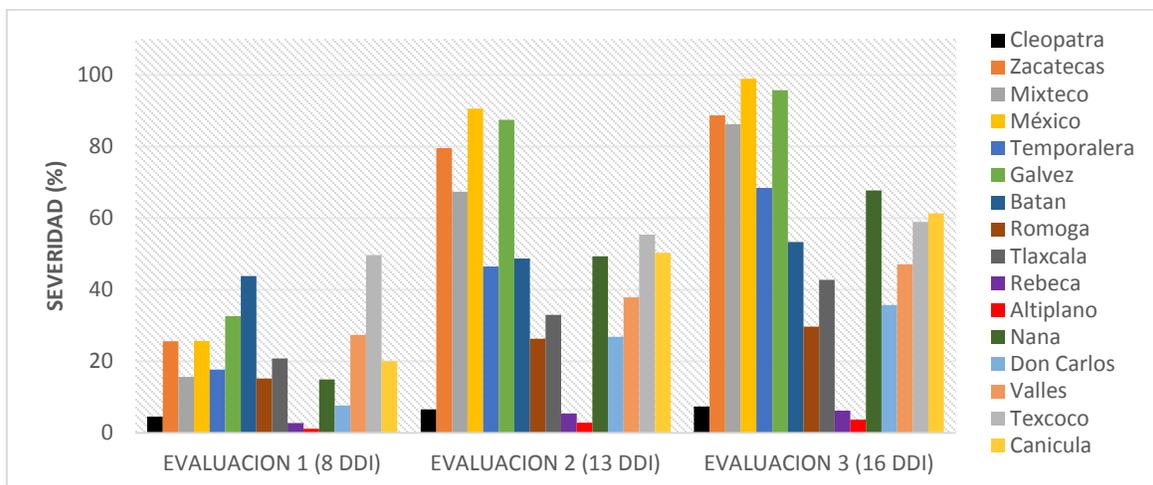


Figura 5. Porcentaje de severidad a través de especies para cada evaluación.

- Área bajo la curva del progreso de la enfermedad, análisis individuales por especie.

Con base al Análisis de la Varianza los valores obtenidos en las tres especies de *Fusarium* se encontró un efecto estadísticamente significativo (Cuadro 6). Los genotipos que presentaron menor desarrollo de la enfermedad para la especie *F. boothi* fueron los genotipos Altiplano, Cleopatra y Rebeca, mientras que los genotipos que obtuvieron mayor valor del progreso de la enfermedad fueron Texcoco, Batáan y México.

Para la especie *F. equiseti*, los genotipos Altiplano, Rebeca y Cleopatra aparecen como las variedades con menor desarrollo de la enfermedad con valores 0, 12.8 y 54.8, respectivamente. Mientras que genotipos como México con 704.5, Gálvez con 701 y Batan con 651.8, fueron los que adquirieron mayor valor en el progreso de la enfermedad. Los genotipos Rebeca, Altiplano y Romoga para la especie *F. verticillioides* son las que mostraron menor desarrollo de la enfermedad, mientras que Gálvez, Zacatecas y México fueron las variedades con mayor progreso de la enfermedad.

Cuadro 6. Valores del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad de *Fusarium* para los 16 genotipos.

Variedad	<i>F. boothi</i>		<i>F. equiseti</i>		<i>F. verticillioides</i>	
Cleopatra	92.7	hg	54.8	e	42	de
Zacatecas	534.5	bdec	570.2	ba	671.9	ba
Mixteco	624.6	bdec	502.4	bac	374	bdac
México	752.1	bac*	704.5	a	618.9	bac
Temporalera	436.5	fdec	440.4	bdac	333.5	bdec
Gálvez	733.8	bac	701.1	a	680.8	a
Batan	848.8	ba	651.8	a	177.4	de
Romoga	552.5	bdec	162.8	de	29.8	e
Tlaxcala	679.5	bdac	202.9	de	112	de
Rebeca	119	fhg	12.8	e	14.5	e
Altiplano	49.5	h	0	e	21.5	e
Nana	406.4	fdeg	520.8	bac	260.2	de
Don Carlos	304.6	fhcg	102.8	e	224.7	de
Valles	663.1	bdc	291.5	bdec	244.7	de
Texcoco	1001.8	a	564.1	ba	332.1	bdec
Canicula	728.6	bdac	255.4	dec	285.2	dec
DMS	327.3		299.1		344.1	

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

Al hacer una comparación del progreso de la enfermedad entre las especies de *Fusarium* se observa que la mayoría de los genotipos presentaron mayor desarrollo de la enfermedad con *F. boothi*, con lo cual se puede inferir que dicha especie tiene mayor patogenicidad, ya que las condiciones ambientales fueron las mismas para las tres especies, además los porcentajes de infección en todos los genotipos fueron los más elevados en comparación con las otras dos especies (Figura 6). En cuanto al nivel de patogenicidad el segundo lugar lo ocupó *F. equiseti*, ya que los valores disminuyeron ligeramente, en tercer lugar se ubicó *F. verticillioides* debido a que para la mayoría de los genotipos el nivel de progreso de la enfermedad fue el más bajo, esto significa que esta especie es la que presentó menor grado de agresividad y virulencia.

El comportamiento de las variedades México y Gálvez fue similar para las tres especies, debido a que resultaron susceptibles porque para las tres especies de *Fusarium* dichas variedades fueron las que obtuvieron valores altos en cuanto al

progreso de la enfermedad, con medias que oscilaron, para México entre 600 a 750 y para Gálvez entre 600 a 730. Por el contrario, las variedades que lograron un menor desarrollo de la enfermedad fueron Altiplano, Rebeca y Cleopatra, estos genotipos mostraron una reacción resistente para las tres especies. Vale la pena señalar que el único genotipo que logró un valor de 0 en el progreso de la enfermedad fue Altiplano, en sentido estricto se puede deducir que esta variedad es inmune específicamente a *F. equiseti*, porque a pesar de que el patógeno tuvo las condiciones favorables para su desarrollo no logró infectar a la planta.

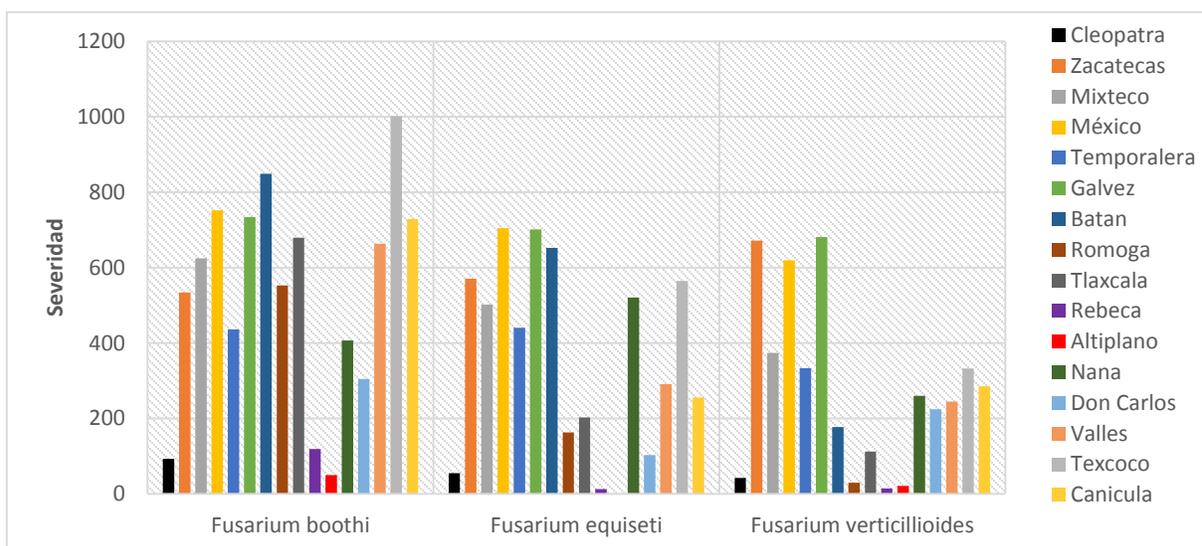


Figura 6. Medias del progreso de la enfermedad de las tres especies de *Fusarium* para los 16 genotipos evaluados.

- Análisis estadístico para la variable peso de semilla

El tizón de la espiga causado por *Fusarium* es un problema importante en la producción de trigo en zonas templadas y semitropicales, como en los Altos de Jalisco (Gilchrist-Saavedra, 2000; Ireta *et al.*, 1989), por la reducción del peso de los granos y por consecuencia del rendimiento (Brennan *et al.*, 2005; Goswami y Kisler, 2004, Nicholson *et al.*, 2007).

En el Cuadro 7 se presenta el peso total de semillas por tratamiento, en donde se observa que los resultados para *F. boothi* mostraron diferencias altamente significativas; las variedades con mayor peso, es decir con mejor calidad de grano, fueron, como era de esperarse Rebeca, Cleopatra y Altiplano, de las cuales se ha

mencionado que dichas variedades mostraron reacción resistente antes las tres especies inoculadas. Por el contrario, los genotipos que no alcanzaron a llegar a la etapa de llenado de grano fueron Don Carlos, Temporalera y Romoga, en estas variedades el patógeno se mostró muy agresivo, ya que debido al grado de infección las espigas no desarrollaron semillas.

Para los datos de *F. equiseti* no hubo diferencias significativas en el análisis de varianza, a pesar de ello en el Cuadro 7 se puede notar que las variedades que obtuvieron el mejor peso de semilla por tratamiento fueron Rebeca con 0.26 gr, Altiplano con 0.25 gr y Don Carlos con 0.24 gr; por otro lado, se encuentran Nana y Valles, los cuales no desarrollaron semilla. Los datos obtenidos para *F. verticillioides* nuevamente resultaron sin diferencias significativas, pero se logra observar que hubo variedades con mejor peso de semilla, en este caso vuelven a aparecer entre los mejores genotipos Altiplano, Rebeca y Cleopatra.

Cuadro 7. Peso total de semillas por genotipo y especie.

Variedad	PESO DE SEMILLAS (gr)					
	<i>F. Boothi</i>		<i>F. Equiseti</i>		<i>F. Verticillioides</i>	
Cleopatra	0.25	a*	0.14	a	0.28	a
Zacatecas	0.03	b	0.04	a	0.01	a
Mixteco	0.03	b	0.03	a	0.03	a
México	0.04	b	0.04	a	0.04	a
Temporalera	0	b	0.11	a	0.15	a
Gálvez	0.03	b	0.01	a	0.01	a
Batan	0.06	b	0.1	a	0.14	a
Romoga	0	b	0.15	a	0.21	a
Tlaxcala	0.03	b	0.12	a	0.09	a
Rebeca	0.27	a	0.26	a	0.22	a
Altiplano	0.24	a	0.25	a	0.22	a
Nana	0.09	b	0	a	0.04	a
Don Carlos	0	b	0.24	a	0.2	a
Valles	0.04	b	0	a	0.14	a
Texcoco	0.03	b	0.1	a	0.07	a
Canicula	0.03	b	0.03	a	0.05	a
DMS	0.10		0.32		0.31	

*Valores de medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

En la Figura 7 se observa que los genotipos lograron mejor llenado de grano cuando se inoculó con *F. verticillioides*, es decir, esta especie fue la menos patogénica; por el contrario, los datos obtenidos en *F. boothi* muestran pesos más bajos, lo que indica que esta especie resultó con mayor grado de virulencia y agresividad.

El comportamiento de los genotipos Altiplano, Rebeca y Cleopatra fue similar para las tres especies, ya que fueron las que lograron mayor peso de semillas; entre los mayores pesos es importante mencionar a los genotipos Don Carlos y Romoga, aun cuando no fueron los mejores para *F. boothi*, resultaron entre los mejores con las especies *F. equiseti* y *F. verticillioides*.

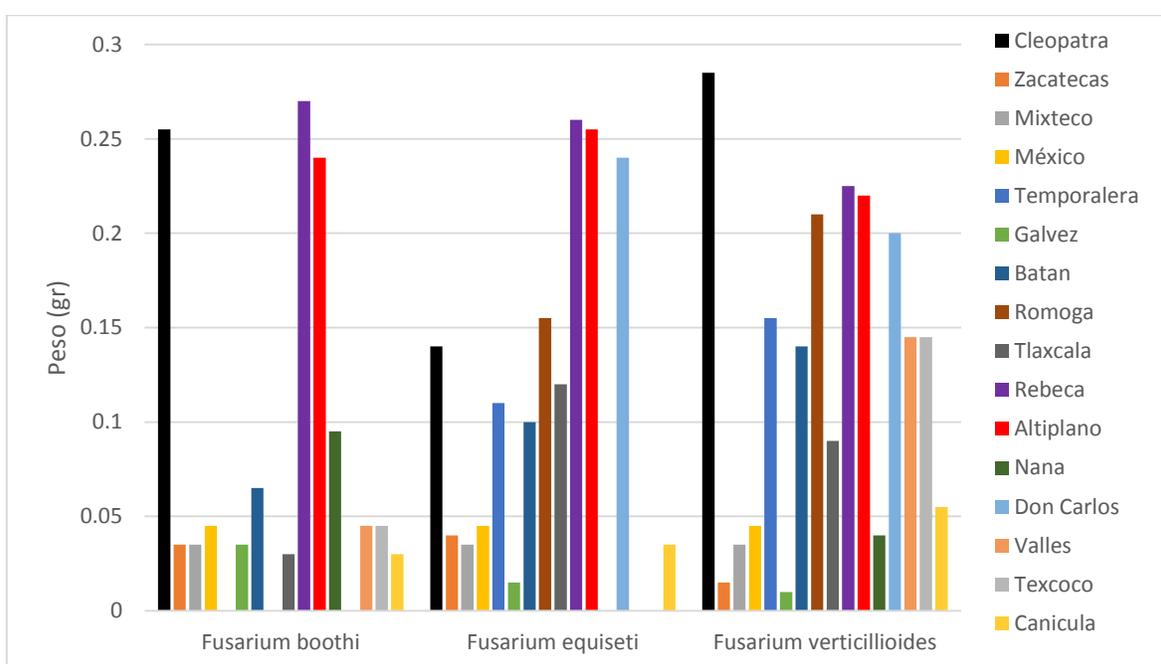


Figura 7. Comportamiento de peso total de semillas por genotipo para cada especie de *Fusarium*.

Con la información obtenida del análisis estadístico se elaboró el Cuadro 8 en el cual se concentra el nivel de resistencia que presentó cada genotipo; las cantidades de las columnas 2, 3 y 4, corresponden a los valores promedio de resistencia a través de las tres evaluaciones. Para obtener el índice combinado de cada genotipo, se multiplicó el valor promedio de resistencia por un porcentaje asignado a cada especie de *Fusarium*, dicho porcentaje se fijó de acuerdo a la importancia

de cada una de las especies de *Fusarium*, finalmente la suma de estas cantidades representa el Índice Combinado. La fórmula utilizada fue.

Índice Combinado: (F1) (0.45) + (F2) (0.30) + (F3) (0.25), Donde;

- F1, Valor promedio de resistencia para *F. boothi*
- F2, Valor promedio de resistencia para *F. equiseti*
- F3, Valor promedio de resistencia para *F. verticillioides*
- 0.45, 0.30 y 0.25, pesos asignados por importancia para cada especie

En la última columna se señala la reacción de cada genotipo, de la cual se aprecia que Altiplano, Rebeca y Cleopatra son las variedades con mejor nivel de resistencia; caso contrario de Zacatecas, Gálvez y México, ya que dichas variedades son las que presentaron mayor grado de susceptibilidad. Cabe mencionar que esta escala se elaboró con los resultados obtenidos y para fines de esta investigación.

ÍNDICE DE CALIDAD (RESISTENCIA)

Cuadro 8. Índice de calidad de cada genotipo para cada especie de *Fusarium*.

Genotipo	<i>Fusarium boothi</i>	<i>Fusarium equiseti</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	Índice Combinado	Reacción
Altiplano	95	99	97	97	R
Rebeca	90	98	98	94	
Cleopatra	92	95	96	94	
Don Carlos	77	89	76	80	MT
Romoga	47	86	96	71	
Tlaxcala	34	80	90	62	
Valles	36	75	78	58	T
Canicula	37	74	68	56	
Temporalera	52	53	63	55	
Nana	55	44	70	55	
Batan	28	43	85	47	PT
Mixteco	33	43	57	42	
Texcoco	14	51	72	40	
Zacatecas	39	38	33	37	S
Gálvez	25	27	34	28	
México	27	26	32	28	

R=Resistente; MT=Muy Tolerante; T= Tolerante; PT= Poco Tolerante S= Susceptible

3.6 CONCLUSIONES

Se determinó que las variedades de trigo Altiplano, Rebeca y Cleopatra mostraron resistencia a Fusariosis de la espiga causada por *Fusarium boothi*, *Fusarium equiseti* y *Fusarium verticillioides*. Las variedades encontradas como susceptibles fueron Zacatecas, Gálvez y México para las especies *Fusarium equiseti* y *Fusarium verticillioides*, en el caso de *Fusarium boothi* las variedades susceptibles fueron Texcoco, Gálvez y México.

La especie identificada con mayor patogenicidad fue *Fusarium boothi*, la especie que se ubicó en segundo lugar fue *Fusarium equiseti*, y la especie menos agresiva fue *Fusarium verticillioides*, aunque estas dos últimas no se diferenciaron entre sí.

Se determinó que después de años de mejoramiento genético no se han logrado avances en la resistencia a la Fusariosis de la espiga en el cultivo de trigo.

3.7 LITERATURA CITADA

- Brennan, J.M., Egan, D., Cooke, B.M., and Doohan, F.M. 2005. Effect of temperature head blight of wheat caused by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*. *Plant Pathology* 54:156-160.
- FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gilchrist S. L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137
- Gilchrist S. L., G. Fuentes-Dávila, C. Martínez-Cano, R.M. López-Atilano, E. Duveiller, R.P. Singh, et al. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. 68 p. 2a. ed. CIMMYT, México, D.F., México.
- Groth, J. V., Ozmon, E. A., and Busch, R. H. 1999. Repeatability and relationship of incidence and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Disease*. 83:1033-1038.
- Goswami, R.S., and Kistler, H.C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5:515-525.

- Ireta M. y L. Gilchrist S. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F: CIMMYT.
- Muthomi, J. W., Ndung, J. K., Chemining, G. N., and Wagacha, J.M. 2007. Reaction of some Kenyan wheat cultivars to head blight after inoculations with *Fusarium graminearum*. *Asian Journal of Plant Sciences* 6(4):585-591.
- Nicholson, P., Gosman, N., Draeger, R., Thomsett, M., Chandler, E., and Steed, A. 2007. The *Fusarium* head blight pathosystem: Status and knowledge of its components. pp. 23-26. In: H.T.Buck, J.E. Nisi, and N. Salomón (eds.). *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.
- Prescott, J.M., P.A. Burnett, E.E. Saari et al. 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D.F., México.
- Stack R. W. and McMullen M. P. 2011. A Visual Scale to estimate Severity of *Fusarium* Head Blight in Wheat. North Dakota State University and U. S. Department of Agriculture.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. In: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. *El trigo de temporal en México*. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIR-CENTRO. 85-98 pp.
- Villaseñor M., H. E. 2000. Reseña del mejoramiento genético de trigo de temporal en México. *Agricultura Técnica* Vol. 26(1): 109-123.
- Villaseñor, M. H. E., Huerta, E. J., Espitia, R. E., Camacho, C. M., Solís, M. E., 2004. Contribuciones de la genotecnia en el cultivo de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 1 (1): 58-68.
- Villaseñor M. H. E. 2015. Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. Núm 11 p. 2183-2189.
- Xu, X. 2003. Effects of environmental conditions on the development of *Fusarium* ear blight. *Eur. J. Plant Pathology*. 109:683-689.