

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL

**PÉRDIDAS OCASIONADAS POR *Fusarium* spp. EN
GENOTIPOS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) DE
TEMPORAL TRATADAS CON Y SIN FUNGICIDA.**

TESIS PROFESIONAL

**REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

PRESENTA:

MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ VALENCIA



REGISTRADO EN LA ACADEMIA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

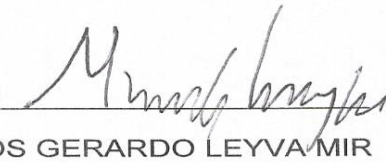
Chapingo, México, Noviembre de 2014.

**PÉRDIDAS OCASIONADAS POR *Fusarium* spp. EN GENOTIPOS DE TRIGO
(*Triticum aestivum* L.) DE TEMPORAL TRATADAS CON Y SIN FUNGICIDA.**

Tesis realizada por Miguel Ángel Hernández Valencia bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

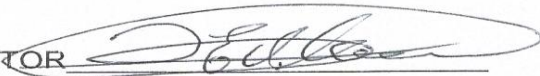
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR



DR. SANTOS GERARDO LEYVA MIR

CODIRECTOR



DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

ASESOR



DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

Chapingo, México, Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por haberme permitido venir al mundo, por estar conmigo en cada momento y concederme una meta más la vida, la culminación de la Maestría en Protección Vegetal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Parasitología Agrícola y al Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal por apoyarme en lograr esta meta en mis estudios profesionales.

Al Dr. Gerardo Santos Leyva Mir por dirigir el trabajo de investigación, por sus aportaciones y las facilidades otorgadas para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir por todo el apoyo, las sugerencias y el tiempo dedicado al trabajo de investigación.

Al Dr. Mateo Vargas Hernández por su apoyo y el tiempo dedicado al presente trabajo de investigación, por sus valiosas observaciones y consejos.

Al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT a través del proyecto titulado: SISTEMAS DE MEJORAMIENTO GENETICO PARA GENERAR VARIEDADES RESISTENTES A ROYAS, DE ALTO RENDIMIENTO Y ALTA CALIDAD PARA UNA PRODUCCION SUSTENTABLE DE TRIGO EN MEXICO, No. 146788.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera me apoyaron en la realización de este trabajo.

Sinceramente: Miguel Ángel Hernández Valencia.

DEDICATORIA

A DIOS por su ayuda incondicional, y para que me permita ser una persona diligente en mi desarrollo profesional.

A mis padres: María del Carmen Valencia Juárez y Hugo Hernández Guzmán por haberme dado la vida, apoyarme en los momentos más decisivos, por todo el amor y cariño que me han dado a lo largo de mi vida, gracias por sus consejos y por la confianza que depositaron en mí y por creer en mí.

A la persona que Dios me dio para compartir mi vida, a mi amada esposa Nancy gracias por estar conmigo en los momentos más difíciles, por hacerme creer que podía, por darme esperanzas cuando ya las había perdido, gracias por ser mi ayuda idónea y demostrarme tu amor cada día.

A mis hijos: Ángel y Yael por ser el motor que me impulsa a superarme día con día y porque con sus risas han alegrado mi vida, gracias por todo su cariño y ayuda en esta investigación.

A mis hermanos: Carmen Alejandra, Yanira Yesenia y Víctor Hugo por el apoyo y los consejos brindados a lo largo de mi vida.

A mis compañeros de protección vegetal...

Sinceramente: Miguel Ángel Hernández Valencia.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales

Nombre: Miguel Ángel Hernández Valencia.

Fecha de nacimiento: 20 de Marzo de 1986.

Lugar de origen: Copainalá, Chiapas.

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola.

Formación académica

Preparatoria: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2002-2005).

Licenciatura: Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2007-.2011).

El tema del trabajo de investigación con el cual obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola fue "IDENTIFICACION DEL HONGO CAUSANTE DE LA MUERTE DE FOLLAJE EN COQUILLO (*Cyperus esculentus* L.) EN LA REGIÓN DE CHAPINGO, MÉXICO"

Maestría en Ciencias: Programa en Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2012-2014).

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1. Enfermedades Fungosa del Trigo.....	6
3.2. Enfermedades ocasionadas por <i>Fusarium</i> spp.....	6
3.2.1. Micotoxinas de <i>Fusarium</i> spp.	7
3.3. <i>Gibberella zeae</i> Schw (<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe.....	9
3.3.1. Importancia.....	9
3.3.2. Síntomas.....	9

3.3.3. Morfología.....	10
3.3.4. Biología y Epidemiología.....	10
3.3.5. Hospedantes.....	11
3.4. <i>Gibberella moniliformis</i> Wineland (<i>Fusarium verticilliodes</i> (Saccardo) Nirenberg).....	12
3.4.1. Importancia.....	12
3.4.2. Síntomas.....	12
3.4.3. Morfología.....	12
3.4.4. Biología y Epidemiología.....	13
3.4.5. Hospedantes.....	13
3.5. <i>Gibberella</i> Wineland (<i>Fusarium proliferatum</i> (Matsush) Nirenberg) ex Gerlach & Nirenberg).....	13
3.5.1. Importancia.....	14
3.5.2. Síntomas.....	14
3.5.3. Morfología.....	14
3.5.4. Biología y Epidemiología.....	14
3.5.5. Hospedantes.....	15

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1. Lugar del experimento.....	17
4.1.1. Juchitepec, Edo. México	17
4.2. Variedades Utilizadas.....	17
4.3. Aislamiento de <i>Fusarium</i> spp.	17
4.3.1. Método Freezing Blotter.....	18
4.3.2. Aislamiento y purificación.....	18
4.4. Caracterización Morfológica.....	19

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.1 Incidencia de <i>Fusarium</i> spp.....	21
5.2. Caracterización Morfológica.....	21
5.2.1. <i>Fusarium proliferatum</i>	22
5.2.2. <i>Fusarium graminearum</i>	23
5.2.3. <i>Fusarium verticilloides</i>	24
5.2.4. Analisis de datos.....	26
 V. DISCUSIONES.....	 26
 VI. CONCLUSIONES.....	 38
 VII. LITERATURA CITADA.....	 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1. Crecimiento y características de las diferentes colonias de los hongos aislados de plantas enfermas de <i>T. aestivum</i> L.	21
Figura 5.2. Postulados de Koch.....	21
Figura 5.3. Identificación de <i>Fusarium proliferatum</i>	22
Figura 5.4. Identificación de <i>Fusarium graminearum</i>	23
Figura 5.5. Identificación de <i>Fusarium verticillioides</i>	24
Figura 5.7. Peso en gramos de 500 granos de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.....	26
Figura 5.8. Peso en gramos de 500 granos de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.....	27
Figura 5.9. Peso en gramos de la diferencia obtenida con aplicación y sin aplicación de Quilt en las 20 variedades.....	27
Figura 5.10. Volumen en mililitros de 500 granos de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.....	28
Figura 5.11. Volumen en mililitros de 500 granos de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.....	29
Figura 5.12. Volumen en mililitros de la diferencia obtenida con la aplicación de Quilt en las 20 variedades.....	30

Figura 5.13. Incidencia de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.....	31
Figura 5.14. Incidencia de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.....	32
Figura 5.15. Diferencia en la Incidencia de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.....	33
Figura 5.16. Severidad de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.....	35
Figura 5.17. Severidad de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.....	36
Figura 5.18. Diferencia en la severidad de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 5.1. Hongos Fitopatógenos aislados e identificados de espigas enfermas de <i>T. aestivum</i> L.....	22
--	----

Cuadro 5.2. % de aislamientos de cada especie identificada, a partir de síntomas en espiga.....	22
---	----

PÉRDIDAS OCASIONADAS POR FUSARIUM Spp. EN GENOTIPOS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) DE TEMPORAL TRATADOS CON Y SIN FUNGICIDA.

**LOSSES FROM *Fusarium* spp. IN RAINFED WHEAT (*Triticum aestivum* L.) GENOTYPES TREATED WITH AND WITHOUT FUNGICIDA.
M. A. Hernandez-Valencia¹ y S. G. Leyva-Mir²**

RESUMEN

La fusariosis de la espiga es una enfermedad difundida en áreas productoras de trigo del mundo, se presenta en las épocas de espigamiento, floración e inicios del llenado de grano. El agente etiológico de la enfermedad a escala mundial es *Fusarium* spp. La importancia de la caracterización de las especies predominantes en un determinado ambiente geográfico reside en la capacidad de producción de micotoxinas de las diferentes especies del género *Fusarium*, las cuales producen diferentes enfermedades en animales y el hombre, por lo que se planteó el objetivo de la identificación morfológica de especies de *Fusarium* en Juchitepec, además de corroborar que no hay variedades comerciales de trigo en México que sean resistentes a este género de hongos y cuantificar sus pérdidas.

El experimento se realizó en los ciclos primavera-verano (P/V) 2011 y 2012 con 20 variedades comerciales de trigo en Juchitepec, Estado de México teniendo un tratamiento con fungicida (cf) y el testigo (sf), se colectaron 20 espigas de cada variedad, tratamiento y repetición y se tomaron datos de peso, volumen, severidad e incidencia. Al mismo tiempo se trabajaron las muestras en laboratorio bajo el método freezing blotter para que los hongos presentes en las semillas se desarrollaran y así poder identificarlos morfológicamente con el apoyo de claves. De acuerdo a los resultados, considerando que esta muestra representa fielmente a la población de variedades, se puede aseverar que en México no existen variedades comerciales resistentes a la roña de la espiga, además el análisis estadístico nos mostró que existe una diferencia significativa entre el tratamiento con fungicida y el testigo. En base al trabajo realizado en laboratorio se identificaron 3 especies de este género: *graminearum*, *proliferatum* y *verticiloides*

Palabras clave: *Fusarium* spp, espigamiento, micotoxinas, identificación morfológica.

Head scab, or head blight, is a disease that is widespread in wheat growing areas in the world. It occurs during spiking, flowering and early grain fill. The etiological agent of the disease worldwide is *Fusarium* spp. The importance of the characterization of the predominant species in a given geographical environment lies in the ability of different species of the genus *Fusarium* to produce mycotoxins, which produce different diseases in animals and man. The objective of this study was to identify morphologically *Fusarium* species in Juchitepec and to corroborate whether or not there are commercial wheat varieties in Mexico that are resistant to this kind of fungi, as well as to quantify losses caused by *Fusarium* species.

The experiment was conducted in the spring-summer (P / V) 2011 and 2012 growing cycles with 20 commercial varieties of wheat in Juchitepec, State of Mexico. The treatments were with fungicide application (cf) and the control without fungicide (sf). For each variety, treatment and replicate, 20 spikes were collected and data on weight, volume, severity and incidence were taken. At the same time, in the laboratory, using the freezing blotter method, fungi present in seed samples were allowed to develop in order to identify them morphologically with the support of keys. According to the results, considering that this sample represents the variety population, it is possible to say that in Mexico there are no commercial varieties resistant to scab, while the statistical analysis showed that there is a significant difference between the treatment and the control. Based on the work done in the laboratory, 3 species of this genus were identified as *graminearum*, *verticiloides* and *proliferatum*.

Keywords: *Fusarium* spp, tasseling, mycotoxins, morphological identification.

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN

El trigo es un cultivo universal y de los pocos que se han dispersado por todo el mundo. Perteneció al género *Triticum* que se originó en las tierras fértiles de la Mesopotamia. Se originó cuando dos especies diploides se cruzaron de forma natural para dar origen a una especie tetraploide, en la actualidad incluye al trigo duro (*Triticum turgidum*). El trigo tetraploide se cruzó con un zacate diploide (*T. tauschii*), considerado como maleza en muchas áreas trigueras, que dio origen al trigo harinero hexaploide (*Triticum aestivum* L.) (Villasenor y Espitia, 2000).

Todas las especies de trigo pertenecen al género *Triticum* de la tribu *Triticeae* (*Hordeae*) de la subfamilia *Festucoideae* y la familia *Gramineae*. El trigo de igual forma que otras especies de zacates presentan una estructura básica de raíz, tallos, hojas e inflorescencias. Las flores se encuentran protegidas por escamas o brácteas y agrupadas en estructuras muy características conocidas como espiguillas. En el caso específico del trigo, las espiguillas se encuentran directamente insertadas a un tallo central conocido como raquis que forma la cabeza o espiga (Villaseñor y Espitia, 2000).

El cultivo constituye una fuente de alimento nutritiva, conveniente y económica. Proporciona cerca del 20 % de los requerimientos calóricos alimentarios del mundo y constituye el producto principal para casi el 40 % de la población mundial. El promedio mundial en el consumo de trigo para el 2008 fue de 95 kg, cifra que confirma que este grano es el segundo de mayor consumo en el mundo, antecedido solo por el maíz. La participación de México en el consumo internacional de trigo representó para este año el 1 % del total mundial, ubicándose en el lugar 19 en consumo; así mismo, a nivel per cápita, los mexicanos consumieron en promedio 56 kg por habitante, cifras que muestran que aunque no es uno de los principales consumidores a nivel internacional, el grano sí es de especial importancia en el consumo (Caballero, 2008). En México, el trigo

harinero se utiliza en la elaboración de panes, tortilla, galletas y repostería (Peña *et al.*, 2008).

T. aestivum L. es una especie de gran importancia debido a que tiene un rango amplio de adaptación y un gran consumo en muchos países. En México es uno de los cereales de mayor relevancia, por los niveles de producción alcanzados; constituye una fuente importante de ingresos, debido a que genera empleos durante su proceso de producción y comercialización. En el mundo se siembra en 122 países. La producción mundial es superior a los 650 millones de toneladas. Los cinco principales países productores de trigo en el mundo son: China, India, E.U.A., Rusia y Francia (FAOSTAT, 2011; Peña *et al.*, 2006; Pingali, 1999).

En nuestro país se cultiva en más de 20 estados. Sin embargo, el 60 % de la producción se concentra en el noroeste. En el ciclo otoño-invierno (O-I) bajo condiciones de riego, representa aproximadamente el 60 % de total nacional y agrupa a los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa, Guanajuato, Jalisco y Michoacán (SIAP, 2012; Peña *et al.*, 2006).

El resto se produce en regiones del centro y el altiplano, en el ciclo Primavera-Verano (P-V) en condiciones de temporal. La producción de temporal es importante porque se localiza cerca de la zona de proceso de molienda y panificación industrial, hecho que permite reducir costos de transportación, que son elevados cuando el trigo se traslada de sitios lejanos (Villasenor y Espitia, 2000).

La producción de trigo para el ciclo P-V del 2012 fue de 184 mil toneladas obtenidas a partir de una superficie de 86 mil hectáreas y con rendimientos de 2.17 toneladas por hectárea. Esta producción se concentra en 28 municipios que producen el 72 % del trigo nacional del ciclo P-V. Los principales estados productores son Tlaxcala, Estado de México, Oaxaca, Guanajuato, Jalisco, Zacatecas, Puebla, Durango, Michoacán, Morelos e Hidalgo (SIAP, 2013).

Entre las limitantes de la producción del trigo de temporal se encuentran las enfermedades foliares y del grano, las cuales son muy variables, pues dependen de factores como la condición genética de las variedades cultivadas, estado de desarrollo de la planta, temperatura, humedad ambiental, prácticas culturales y los cambios de clima, generalmente de frío a húmedo en condiciones de temporal en las partes altas y lluviosas de los Valles Altos de México (México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo) , Michoacán y Jalisco. El complejo de enfermedades ocasiona pérdidas severas en rendimiento de grano y merman la calidad industrial en variedades susceptibles (Prandini *et al.*, 2009; Leyva y González, 2000; Wiese, 1987).

Los organismos transmitidos por la semilla son propagados o transportados de región a región y sobreviven como esporas o estructuras de reposo dentro de la semilla y sobre ella (Warham, 1998).

Algunas especies de hongos que están presentes en la semilla de trigo pertenecen a los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* spp. Y *Helminthosporium* (Wiese, 1987). Así mismo, los hongos que se transmiten por semilla en trigo son del genero *Ustilago*, *Tilletia*, *Neovossia*, y *Urocystis* (Zillinsky, 1984).

El método ideal para disminuir la incidencia de las enfermedades es el de la resistencia genética. Lamentablemente no han sido desarrollados cultivares resistentes para cada especie para la diversidad de patógenos acarreados en las semillas (Moreno, 1996).

Los altos costos de producción, la reducción del volumen de producción por situaciones climatológicas, y patógenos, y la consecuente dependencia de abastecimiento externo, han derivado en el desarrollo y adecuación de nuevas tecnologías. En respuesta a esta situación, el programa de trigo del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias (INIFAP) del campo

Experimental del Valle de México (CEVAMEX), ha venido realizando investigaciones en el Altiplano central sobre una nueva tecnología de siembra para el cultivo del trigo, la cual consiste en el uso de camas permanentes y la adecuada fertilización del cultivo. Este sistema reduce costos de producción que pueden llegar hasta un 30 % comparado con el tradicional y se logra a través de la manipulación de tres componentes del proceso de producción: eliminación del proceso tradicional de preparación de terreno, reducción de la densidad de semilla y de la dosis de fertilización con nitrógeno (Limón y Villaseñor, 2007).

La semilla es el principal insumo para la producción de cultivos. Cuando la semilla se utiliza en la siembra, los patógenos transmitidos por esta vía pueden causar enfermedades o la muerte de las plantas, lo cual provoca pérdidas. Si las semillas se utilizan como fuente de alimentos, los organismos transmitidos pueden producir cambios químicos, deterioro importante en el contenido de la semilla, o liberación de toxinas, con efectos potenciales en los seres humanos y el ganado, lo cual provoca desperdicio de alimentos o hambruna (Prandini *et al.* 2009; Chiarappa y Gambogi, 1986).

En las zonas trigueras de temporal de México se han reportado cuatro especies de *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. nivale*, *F. equiseti* (Gilchrist *et al.*, 2005; Ireta M., 1994). Sin embargo, en diferentes estudios realizados para identificar el organismo causal, se han aislado e identificado hasta 18 especies de *Fusarium*. El género *Fusarium* es uno de los hongos más abundantes en la producción de micotoxinas, especialmente cuando ataca cereales como el maíz, trigo, arroz y sorgo (Kvas, *et al.* 2009; Goswami, *et al.* 2005; Walg, 1988).

Aunque se sabe que el agente causal es *Fusarium*, hace falta conocer las pérdidas que causa y las especies que se presentan en Juchitepec, estado de México, lo que lleva a plantear el presente trabajo con los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS

- 1.- Comprobar que en México no hay variedades comerciales resistentes a *Fusarium spp.*
- 2.- Cuantificar las pérdidas que causa *Fusarium* a las variedades comerciales de trigo.
- 3.- Determinar que especies de *Fusarium* están presentes en la roña de la espiga.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3. 1. Enfermedades Fungosas del Trigo

Los hongos se distinguen de las plantas porque no tienen clorofila y, por consiguiente, carecen de la capacidad de fotosíntesis. En lugar de elaborar su propio alimento, los hongos absorben nutrientes del tejido muerto o vivo de su hospedante. Los hongos se propagan en diversas formas: semillas, suelo, viento, agua (lluvia, agua de riego), insectos, animales y el hombre. La infección por hongos patógenos depende de varios factores, se requieren de la presencia de agua libre en la superficie de la planta hospedante, sensibilidad de la misma, densidad de inóculo y temperatura ambiente, además de otros factores del medio. Algunos hongos atacan sólo a una especie hospedante, pero otros atacan a un amplio rango. Los síntomas y el desarrollo de la enfermedad dependen de la interacción entre el parásito y el hospedante; y pueden ser similares o distintos según los hongos involucrados y, en consecuencia, una identificación categórica de éstos debe basarse en su morfología (Agrios, 2002; Presscot *et al.*, 1986).

3.2. Enfermedades ocasionadas por *Fusarium* spp.

La roña o tizón de la espiga del trigo fue reportada por primera vez en Inglaterra alrededor de 1884; es importante en áreas cálidas y húmedas (Dubin *et al.*, 1996). Las dos enfermedades comunes de los cereales causadas por *Fusarium* spp., son pudriciones de la raíz y roña o fusariosis de la espiga. La mayoría de las especies del género son hongos que habitan en el suelo y pueden ser parásitos facultativos. La roña se reconoce fácilmente por la aparición de una o más espiguillas prematuras afectadas con tizón después de la floración (Fernández y Chen, 2005). Las espiguillas infectadas presentan color paja pálido, en contraste con el verde normal de las sanas. A medida que se desarrolla el cultivo de trigo, se acumulan masas de conidios de color rosado pálido a naranja en la base de las espiguillas o a lo largo de los bordes de las glumas y lemas. Los granos infectados están chupados y no son viables; además que pueden contener micotoxinas nocivas para los humanos y animales; causar caída y marchitez de plántulas, pudrición de

la corona, tizón de los nudos y de los tallos, y pudrición del grano (Lawrence y Jeffrey, 2007, Xu *et al.*, 2007; Goswami y Kistler, 2005; Moreno, 1988; Zyllinsky, 1984).

Las especies del género *Fusarium* producen dos tipos de conidios que difieren en tamaño; algunas especies producen esporas pequeñas llamadas microconidios, y en otras estas estructuras están ausentes. Los microconidios son pequeños y carecen de características útiles para el diagnóstico; sin embargo, la presencia o ausencia de estos puede ser útil para la identificación de las especies.

Las esporas grandes, llamadas macroconidios, son producidas por todas las especies y tienen características morfológicas que son útiles para su identificación (Zyllinsky, 1984). La fusariosis de la espiga se asocia a 18 organismos causales, que se producen en los cereales del mundo. Las especies son *Fusarium graminearum* (*Gibberella zeae*), *F. culmorum*, *F. avenaceum* (*G. avenacea*), *F. poae* y *F. nivale* (*Monographella nivalis*) (Gilchrist *et al.*, 2005; Saharan *et al.*, 2004; Parry *et al.*, 1995).

3.2.1. Micotoxinas de *Fusarium*

Las micotoxinas son un grupo heterogéneo de sustancias químicas que tienen efectos negativos agudos y/o crónicos sobre la salud de los animales y seres humanos. Pueden afectar numerosos órganos y sistemas, con particular importancia el hígado, los riñones y el sistema nervioso, endocrino e inmunitario (Whitlow y Hagler, 2005). Varias de ellas están clasificadas como carcinógenas o posibles carcinógenas para los seres humanos por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, de modo que su toxicidad crónica en dosis bajas suscita preocupación mayor que la toxicidad aguda, ya que la exposición a las mismas es amplia y su poder carcinógeno elevado. Cualquier cosecha almacenada por varios días es un blanco para el crecimiento de estos hongos y la formación de toxinas, las cuales pueden desarrollarse tanto en áreas tropicales como templadas (González *et al.*, 2005; Prandini *et al.*, 2009).

Los géneros de hongos productores de micotoxinas importantes son *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Muchas especies de ellos producen micotoxinas, los mohos pueden crecer y las micotoxinas producirse antes de la cosecha, el transporte, el procesamiento o el almacenamiento (Prandini *et al.*, 2009). Se han reportado cerca de 300 micotoxinas diferentes, pero sólo alrededor de 20 se encuentran en los alimentos o en concentraciones que pueden considerarse peligrosas para los animales y personas que consuman estos alimentos. Las micotoxinas más conocidas que tienen relevancia desde el punto de vista de la salud son aflatoxinas, ocratoxinas, fumonisinas, patulinas, tricotecenos (nivalenol, deoxynivalenol y toxina T-2) y zearalenona (González *et al.*, 2005).

El crecimiento de hongos y la producción de micotoxinas están relacionados con estrés de la planta provocada por factores ambientales como: condiciones climáticas extremas, daños por insectos, condiciones inadecuadas de almacenamiento y la fertilización incorrectas, los cuales predisponen a las plantas a la contaminación por micotoxinas en el campo. Especies de *Fusarium* infestan el trigo durante el período de floración. Además de las pérdidas de rendimiento, estos hongos también pueden sintetizar componentes tóxicos (micotoxinas) en condiciones ambientales adecuadas, poniendo así en peligro la salud animal y humana (Prandini *et al.*, 2009; Xuet *et al.*, 2007; Whitlow y Hagler, 2005; Ireta y Gilchrist, 1994); las toxinas reportadas son tricotecenos incluyendo deoxinivalenol y el nivalenol, así como la zearalenona y moniliformina, y presentan un rango de toxicidad para los animales (Chandra *et al.*, 2011; Desjardin, 2007; Xu *et al.*, 2007; Leslie y Summerell, 2006; Makoto, *et al.*, 2006; Nicholson *et al.*, 2004).

3.3. *Gibberella zeae* Schw (*Fusarium graminearum* Schwabe)

3.3.1. Importancia

La fusariosis de la espiga del trigo (*F. graminearum* Schwabe) fue descrita por primera vez en 1891 por Arthur en los Estados Unidos; posteriormente en 1902 se reportó en Japón. En México, se observó en 1977 en el área del Altiplano de Jalisco. En la actualidad, se presenta en las regiones cálido-húmedas del mundo, como el Norte-Centro de Europa, Asia, y principalmente en China y Japón, donde la enfermedad se reporta como endémica (Ireta y Gilchrist, 1994); en 2010 se reportó en granos de trigo en Australia Occidental (Wright *et al.*, 2010).

Las aéreas productoras de trigo de temporal en México donde la incidencia de la roña es muy alta son la Sierra Tarasca en Michoacán, la región de los Altos y la Sierra del Tigre y Tapalpa en Jalisco, el Valle de Toluca y Jilotepec, Estado de México, principalmente, con incidencias que van de un 10 al 90%, según sea la susceptibilidad de la variedad y de las condiciones climatológicas (Ireta y Gilchrist, 1994).

3.3.2. Síntomas

El lugar de ataque de *F. graminearum* son las espigas del trigo, particularmente los órganos florales, lo cual reduce la formación y llenado de granos. El inóculo principal está constituido por los macroconidios o ascosporas que son diseminadas por el viento y la lluvia. La espiguilla infectada pierde clorofila rápidamente y se torna descolorida. Posteriormente toma un color rosa o salmón, especialmente en la base y bordes de las glumas. Si la humedad se mantiene alta, la espiguilla enferma es invadida por hongos saprofitos que le dan una coloración oscura o negra.

En el campo las espiguillas infestadas por la fusariosis se encuentran en el tercio medio de la espiga, debido que ahí es donde se inicia la antesis, si las condiciones

ambientales son favorables, la infección avanza hacia las espiguillas adyacentes y, en algunos casos, puede llegar a toda la espiga incluyendo el raquis o pedúnculo de la misma (Ireta y Gilchrist, 1994).

La roña de la espiga provoca que los granos puedan quedar deshidratados y de peso bajo, además de ser cubiertos por el micelio del hongo y toman una apariencia de masa algodonosa de color rosa, lo que reduce el rendimiento, la calidad y el valor alimenticio del grano (Prescott *et al.*, 1986; Zillinsky, 1984). Además del daño directo a la planta, los aislamientos de *F. graminearum* pueden producir metabolitos secundarios como las zearalenonas, nivalenol y deoxinivalenol y fumonisinas, que al ser ingeridas por humanos y animales en alimentos contaminados, les provocan efectos tóxicos (Magliano y Kikot, 2010; Nicholson *et al.*, 2004; Marasas *et al.*, 1984). Estudios realizados por Yoshida y Nakajima (2010) reportan que los niveles altos de deoxinivalenol y nivalenol pueden producirse 20 días después de la antesis, incluso por la infección temprana.

3.3.3. Morfología

Los macroconidios generalmente miden de 25 a 50 μm y el número de septos va de 5 a 6, y suelen ser muy diferentes. Se producen en masas de color naranja o amarillo, en la base de las espiguillas o en las orillas de las glumas o lemas; éstos son hialinos, rectos o moderadamente curvos con la superficie ventral recta y el lado dorsal suavemente arqueado y con frecuencia tienen una célula apical alargada que se curva y adelgaza abruptamente hacia un punto y la morfología de la célula basal bien desarrollada la forma del pie. Los esporodoquios de color naranja pálido, pero a menudo raros o difíciles de encontrar. Los macroconidios en el esporodoquio suelen ser uniformes en forma y tamaño. Cuando se presentan periodos prolongados de tiempo húmedo y caliente durante la cosecha, con frecuencia, se desarrollan peritecios superficiales sobre las espigas y paja infestadas (Leslie y Summerell, 2006; Zillinsky, 1984).

3.3.4. Biología y Epidemiología

Los residuos de cultivo juegan un papel importante en la sobrevivencia de *F. graminearum*, pues éste perdura en forma de micelio o peritecios inmaduros en las espiguillas infestadas del trigo o restos de mazorcas de maíz, también sobre los rastrojo de maíz y trigo. Otra importante fuente de inóculo son los granos de trigo infestados que quedan en el suelo después de la cosecha. Las prácticas culturales son determinantes en la sobrevivencia del inóculo primario, ya que al incorporar el rastrojo se logra disminuir la viabilidad de este y, por consiguiente reducirlo (Ireta y Gilchrist, 1994).

Las condiciones apropiadas para la producción del inóculo son humedad relativa elevada y una temperatura ligeramente cálida. La temperatura requerida para la formación de macroconidios es de 16°C a 36°C, con un óptimo de 32°C. La formación de peritecios en campo se observa de cuatro a cinco semanas después de las primeras infecciones, siempre y cuando las condiciones ambientales se mantengan favorables. Se ha observado que las ascosporas se pueden producir con temperaturas de 13°C a 33°C, con un óptimo de 25 a 28°C. La luz ultravioleta juega un papel importante en la producción de peritecios y ascosporas (Ireta y Gilchrist, 1994). El teleomorfo es *Gibberella zeae*, este hongo es transmitido por semilla, pasa el invierno como micelio en residuos infestados y como peritecios en avena, cebada, maíz, trigo y otros residuos enfermos del ciclo anterior, las ascosporas producidas en peritecios, se difunden por el viento a las plantas hospedantes, los conidios de *Fusarium* spp. son producidos a partir de micelio y también se difunden por el viento (Desjardins, 2006; Leslie y Summerell, 2006; Nyvall, 1999).

3.3.5. Hospedantes

Los hospedantes comunes de *F. graminearum*, además del trigo, son cebada, avena, centeno, maíz, alfalfa y el triticale. También se reportan que algunas gramíneas silvestres, como *Brachiaria plantaginea* (L.K.) Hitch., *Pennisetum purpureum* Chumach, *Pennisetum clandestinum* Chiov., *Digiaria sanguinalis*

Scap., *Paspalum* spp. *Andropogon bicornis* y *Eryathus* sp., son hospedantes secundarios (Leslie y Summerell, 2006; Ireta y Gilchrist, 1994).

3.4. *Gibberella moniliformis* Wineland. (*Fusarium verticillioides* (Saccardo) Nirenberg)

3.4.1. Importancia

Las enfermedades causadas por *F. verticillioides* se encuentran distribuida en todo el mundo (Agrios, 1998). Se reporta controversia sobre el nombre de esta especie con *F. moniliforme* y *F. verticillioides*. Este último es el aceptado para nombrar esta especie. Generalmente se asocia con maíz donde ocasiona la pudrición del tallo y podredumbre de la mazorca que se traducen en pérdidas de rendimiento y calidad de grano (Leslie y Summerell, 2006). Un daño colateral son las toxinas que produce como las fumasinas (Fumonisin B1, fumonisin B2, fumonisin B3) que son el grupo de micotoxinas más importantes producidas por *F. verticillioides*; algunas cepas pueden producir éstas en niveles altos; estudios reportados demuestran que hay una amplia gama de efectos patológicos en animales (Leslie y Summerell, 2006; Whitlow y Hagler, 2005). Chandra *et al.*(2011) encontraron que también produce moniliformina y tricoteceno. En humanos son asociados con *F. verticillioides* en lesiones de la piel (Leslie y Summerell, 2006).

3.4.2. Síntomas

F. verticillioides, es un patógeno que se encuentra en varias plantas causando daños de raíz, tallo y pudriciones que disminuyen el crecimiento de las plántulas (Booth, 1971). Provoca tizones en plántulas de maíz y poco frecuente en trigo. Es común la pudrición de la mazorca y el tallo en maíz (Warham *et al.*, 1998).

3.4.3. Morfología

La pigmentación en el agar varía de nula a grisácea o naranja a violeta gris, violeta oscuro o magenta o casi negra. Los macroconidios son difíciles de encontrar, son hialinos, relativamente largos, con paredes delgadas y su forma varía de curvos a casi rectos; tiene de tres a cinco septos, la célula apical frecuentemente cónica o en punta y la célula basal con muesca o en forma de pie (Leslie y Summerell, 2006). Miden 25-60 por 2-4 μm . Nunca hay clamidosporas en el micelio o los conidios. Los peritecios se presentan rara vez y son esféricos y de color negro azulado, de 250-350 μm de alto por 220-300 μm de diámetro, las ascosporas son hialinas, rectas, en su mayoría con un septo y miden de 4 a 7 x 12 a 17 μm (Warham *et al.*, 1998).

Los microconidios por lo general son hialinos, generalmente unicelulares, pero en ocasiones bicelulares; miden de 5 a 12 x 1 a 3 μm , tienen forma oval o "garrote" y están ligeramente aplanados en cada extremo. Se forman a partir de monofialides, que pueden producirse en pares en forma de "V" para dar una apariencia de "orejas de conejo" (Leslie y Summerell, 2006).

3.4.4. Biología y Epidemiología

Sobreviven en residuos de cosecha y en las semillas. Se propagan por el viento, lluvia, insectos y transmisión por semilla (Ooka y Kommedahl, 1977). La transmisión por semilla se puede encontrar en tejidos asintomáticos en toda la planta (Wilke *et al.*, 2007).

3.4.5. Hospedantes

Este hongo se asocia con una gama amplia de enfermedades, *F. verticillioides* causa pudrición de la parte superior de la caña de azúcar, pudrición del pie en arroz y pudrición de la corona en espárragos; puede infestar hasta 11 000 especies de plantas (Leslie y Summerell, 2006).

3.5. *Gibberella* Intermedia. (*Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg, (1982)

3.5.1. Importancia

Fusarium proliferatum (Matsushima) Nirenberg es una especie que está distribuida en todo el mundo y ataca un gran número de plantas agrícolas y no agrícolas, pero es importante en cereales como trigo, maíz y sorgo. Su fase sexual pertenece a la especie *G. intermedia* (Kuhlman) Samuels, Nirenberg y Seifert (Leslie y Summerell, 2006).

3.5.2. Síntomas

En plantas del género *dendrobium* al menos de 9 meses de edad, los brotes nuevos son atacados por *fusarium*, aparecen manchas negras en los sitios de infección los cuales se pudren lentamente, las infecciones se desarrollan especialmente en las puntas de las hojas, estas se pierden al igual que los nuevos brotes. *Fusarium proliferatum* provoca pequeñas lesiones ovales de (2-5 mm) con bordes irregulares. Las manchas se expanden muy lentamente, a medida que la hoja madura, algunos de los puntos desarrollan un borde negro, mientras que el centro de los lugares se va hundiendo. El tejido de la hoja que rodea el lugar es ligeramente clorótico o verde pálido.

3.5.3. Morfología

F. proliferatum produce microscópicas esporas largas en forma de canoa llamados conidios, Estos conidios asexuales tienen de 3 a 7 células y se producen en hifas especializadas llamadas conidióforos, también produce un segundo tipo de esporas más pequeñas con 1 o 2 células llamados microconidios, ambas formas de esporas se producen en números muy grandes (millones) y germinan en sustratos adecuados, tales como el hospedero.

3.5.4. Biología y Epidemiología

Fusarium proliferatum produce muchas esporas en la superficie del tejido del huésped infectado. Algunos microconidios también se producen dentro de los tejidos en descomposición en forma de masas algodonosas blancas en el tejido enfermo las cuales son las esporas y el micelio del hongo. Estas esporas son sopladas por el viento o salpicadas por el agua de lluvia a las plantas cercanas u otros tejidos sanos. Para muchas plantas de orquídeas, como dendrobium, se forman nuevos brotes por debajo del dosel de las hojas más viejas, así las esporas de hongos formados en los brotes viejos son salpicadas fácilmente o por goteo hacia los brotes más jóvenes que salen de la base de la planta. Los brotes jóvenes son muy susceptibles a la infección y el desarrollo rápido de la enfermedad, del mismo modo las plantas jóvenes frágiles en macetas de la comunidad son muy susceptibles a este hongo y muchas mueren.

Las esporas de *fusarium* se distribuyen por el viento, salpicaduras de agua o el movimiento de las esporas por contacto (manos, ropa, guantes, etc.). Los insectos, caracoles, babosas también diseminan las esporas de plantas enfermas a plantas sanas. *Fusarium* sobrevive en el tejido de plantas enfermas durante muchos meses y las esporas también pueden sobrevivir en macetas y en el entorno inmediato de las plantas enfermas. El crecimiento de *fusarium* se ve favorecida por la humedad y temperaturas en el intervalo de 25-31 °C.

3.5.5. Hospedantes

F. proliferatum puede persistir en los rastrojos de tallos de maíz y trigo, ya sea en la superficie del suelo o enterradas en un campo durante al menos 21 meses (Cotten y Munkvold, 1998). La inyección de una suspensión de esporas a través de hojas de maíz en la fase de cogollo se puede utilizar para diferenciar líneas de maíz que son resistentes / susceptibles a la pudrición de la mazorca por *Fusarium* (Clements *et al.*, 2003).

F. proliferatum se ha colectado de numerosos entornos en todo el mundo. Es uno de los causantes de la pudrición de tallo de trigo y la pudrición de la mazorca del maíz (White, 1999); múltiples cepas que son genéticamente distintas de *F.*

proliferatum se puede colectar de una sola planta de maíz (Kedera *et al.*, 1994). El maíz híbrido "BT", que es menos susceptible al barrenador europeo del maíz *Ostrinia nubilalis*, tuvo un menor nivel de infección con *F. proliferatum* que los comparables sin el transgén (Munkvold *et al.*, 1997). *F. proliferatum* puede ser endofítico en el trigo (Bishop, 2002), y altera la respuesta de defensa en las plantas (Bishop *et al.*, 2002).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Lugar del experimento

4.1.1 Juchitepec, estado de México

Se localiza al sureste del Estado de México, su ubicación geográfica es entre los paralelos 19° 01' y 19° 11' de latitud norte; los meridianos 98° 48' y 98° 59' de longitud oeste, situándose a una altitud entre 2680 msnm. Presenta un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 800 a 1100 mm, con temperaturas de 10 a 16 °C (INEGI, 2014; SNM, 2014).

4.2. Variedades Utilizadas

Se realizó un muestreo durante el ciclo Primavera-Verano 2012, donde se extrajeron 1600 espigas al azar, correspondientes a 20 espigas de cada una de las variedades, tratamientos con y sin fungicida y dos repeticiones, en las parcelas de trigo de temporal en Juchitepec, estado de México, de las variedades: TEMPORALERA M87, GALVEZ M87, SALAMANCA S86, CORTAZAR S96, BATAN F96, BARCENAS S2000, TLAXCALA F2000, NAHUATL F2000, REBECA F2000, TRIUNFO F2004, JOSECHA F2007, MONARCA F2007, NORTEÑA F2007, MAYA S2007, URBINA S2007, NANA F2007, ALTIPLANO F2007, CHICALOTE S, DON CARLOS Y SANTA LUCIA del programa de trigo INIFAP.

4.3. Aislamiento de *Fusarium* spp.

Los aislados de *Fusarium* spp. se obtuvieron mediante el método de Freezing Blotter (Warham *et al.*, 1998), el cual se describe a continuación:

Tratamiento previo: se remojaron las semillas durante tres minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 3% para evitar la presencia de contaminantes y posteriormente se enjuagó con agua destilada estéril (Warham *et al.*, 1998).

Después: se colocaron los granos de trigo separados por espacios uniformes con ayuda de una plantilla, en una caja transparente como cámara húmeda (Figura 3.3). Se selló la caja con plástico y se incubaron a 20 °C durante 48 horas alternando luz blanca y luz oscura con intervalos de 12 horas. Posteriormente se colocó la caja en el congelador a temperatura de -15 a -20 °C durante 24 horas. Finalmente se dejaron a 20 °C durante 10 días (Warham *et al.*,1998).

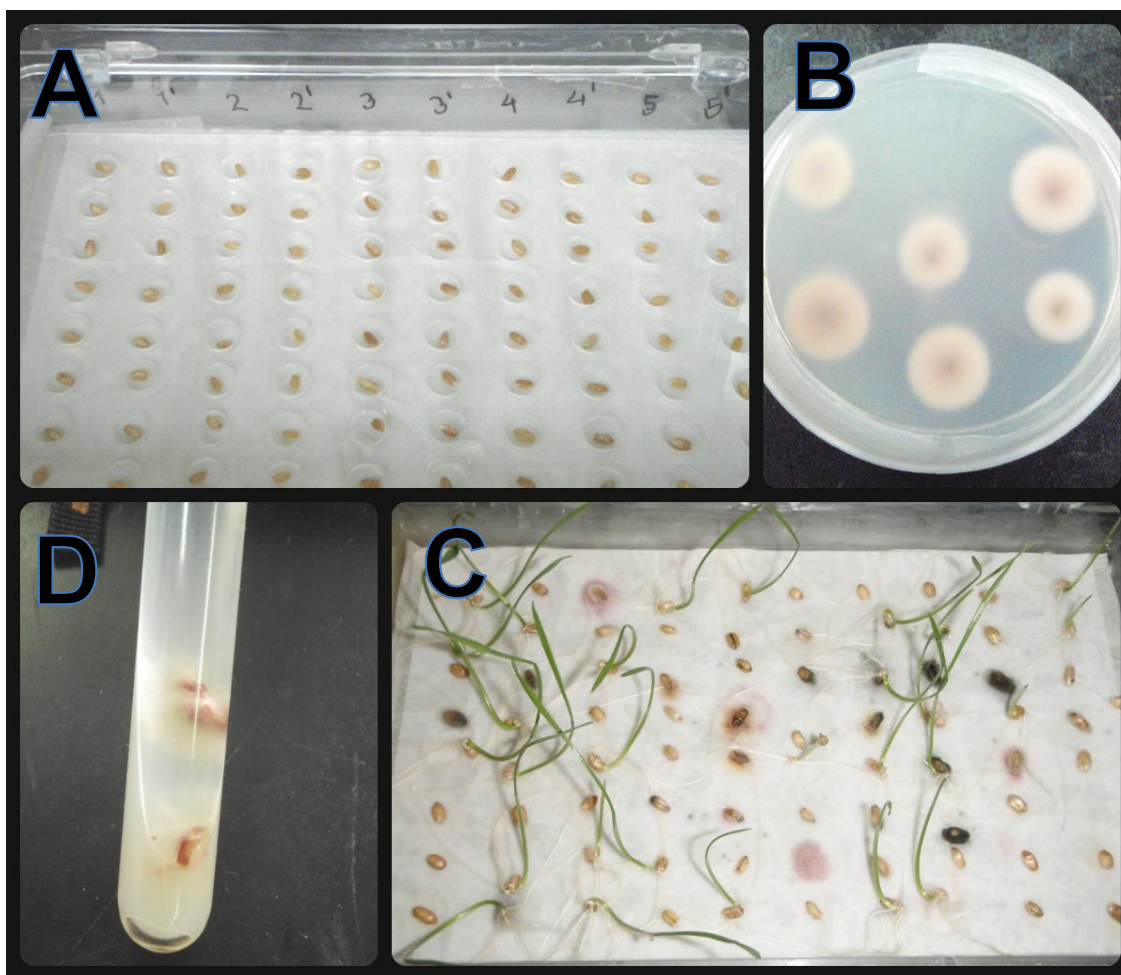


Figura 4.1 a) Granos de trigo en cajas transparentes; b) aislamiento del hongo en nuevas cajas de PDA; c) esporulación de los hongos; d) conservación del hongo en tubos con PDA y aceite.

4.3.1 Aislamiento y Purificación

Cuando los hongos lograron esporular, se obtuvieron los aislados de mayor porcentaje de incidencia que fueron de *Fusarium* spp (Figura 1b). Se transfirieron

a medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) para posteriormente transferirse a medio de cultivo agua agar (AA) y realizar la purificación a través de la técnica de punta de hifa (Figura 1c). Los aislados puros se incrementaron y también se conservaron en tubos con medio de cultivo PDA y aceite mineral (Figura 1d).

4.4. Caracterización Morfológica

Los aislamientos desarrollados en cajas de Petri sobre medio de cultivo AA y PDA se caracterizaron considerando las siguientes características. Tasa de crecimiento, pigmentación y aspecto del micelio aéreo. De la morfología se tomaron en cuenta, el tamaño de los macroconidios, presencia-ausencia y tamaño y forma de microconidios así como la presencia de clamidosporas. Para la identificación a especies *Fusarium*, se basó en las claves taxonómicas de Booth (1971), Nelson *et al.* (1983) y Leslie y Summerell (2006).

4.5 Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado en el experimento de campo fue un Diseño en Parcelas Divididas, con parcelas grandes arregladas como Diseño de Bloques Completos al azar con 2 repeticiones, en donde las parcelas grandes fueron el tratamiento con y sin fungicida, y las parcelas chicas fueron las variedades de trigo.

4.6 Variables Evaluadas

4.6.1 Peso de 500 granos de trigo por cada variedad con y sin fungicida

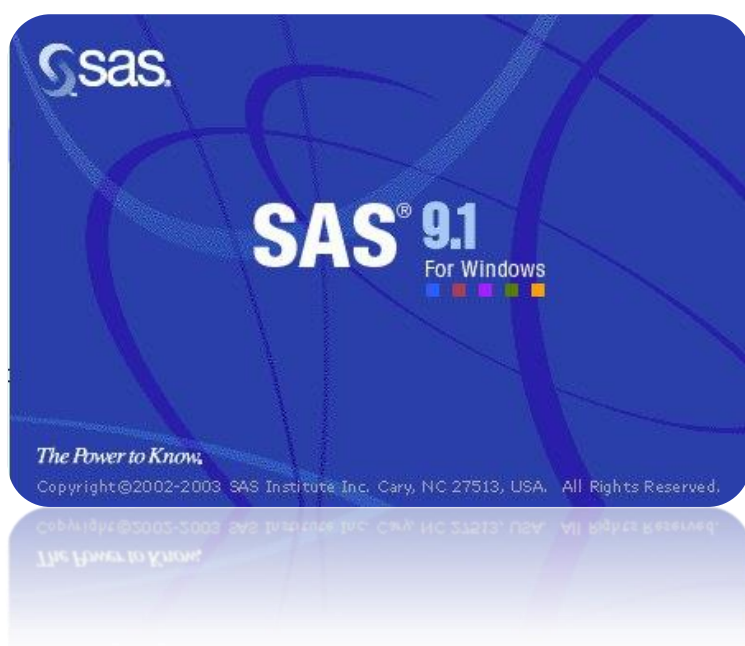
4.6.2 Volumen de 500 granos de trigo por cada variedad con y sin fungicida

4.6.3 Incidencia: número de casos nuevos de una enfermedad en una población determinada y en un periodo determinado (porcentaje de incidencia en 1600 espigas de trigo).

4.6.4 Severidad: Se refiere al nivel promedio de enfermedad de una unidad (porcentaje de incidencia en 1600 espigas de trigo).

4.7 Análisis de Resultados

El análisis estadístico consistió de un análisis de varianza, prueba de comparaciones múltiples de medias, mediante el método de Tukey al 5% de significancia, y correlaciones lineales de Pearson. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico “SAS”.



V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización Morfológica de Hongos Fitopatógenos

Las colonias de los aislados mostraron características diferentes en cuanto a pigmentaciones y crecimiento miceliar; se obtuvieron colonias blancas, y rojizas (Figura 5.1). La identificación se logró hasta nivel de especie en los hongos estudiados. Todos fueron inoculados en semillas sanas de *T. aestivum* L. y mantenidas en laboratorio (Figura 5.2), permitieron comprobar los postulados de Koch. En el cuadro 3.2 se indica el % de aislamientos de cada una de las especies identificadas.

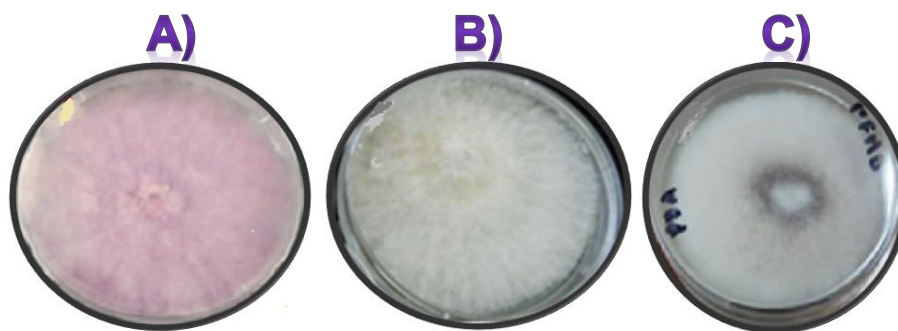


Figura 5.1. Crecimiento y características de las diferentes colonias de los hongos aislados de plantas enfermas de *T. aestivum* L. A) Colonia color blanco-rosáceo, en medio de cultivo V8-agar, B) Colonia de color blanca, con micelio algodonoso en medio de cultivo PDA, C) Colonia de color blanco, con abundante micelio en medio de cultivo PDA.

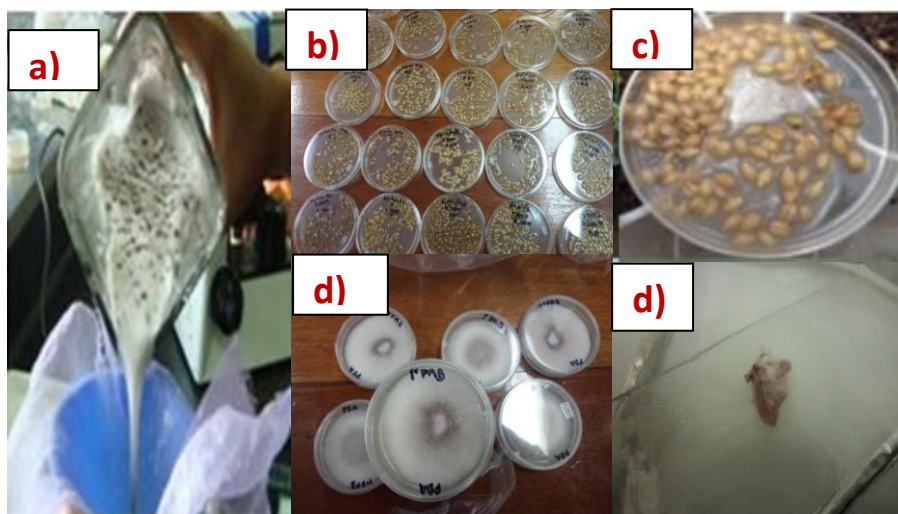


Figura 5.2. Postulados de Koch. a) Preparación de la fuente de inoculo, b) Variedades de trigo a inocular (20) c) Semillas inoculadas, d) Crecimiento en semillas, e) Purificación.

Cuadro 5.1. Hongos Fitopatógenos aislados e identificados de espigas enfermas de *T. aestivum* L.

Muestra	Identificación Morfológica	Referencias
1	<i>Fusarium proliferatum</i>	Leslie y Summerell (2006)
2	<i>Fusarium graminearum</i>	Warham <i>et al.</i> (1998), Leslie y Summerell (2006)
3	<i>Fusarium verticilloides</i>	Warham <i>et al.</i> (1998), Leslie y Summerell (2006)

Cuadro 5.2. % de aislamientos de cada especie identificada, a partir de síntomas en espiga.

Síntoma	Especie	Total de aislamientos	No. aislamientos	% aislamientos
Espiga	<i>Fusarium proliferatum</i>	80	42	52.5
	<i>Fusarium graminearum</i>		18	22.5
	<i>Fusarium verticilloides</i>		12	15
			72	90

Fusarium proliferatum

El hongo en medio de cultivo PDA, formó abundante micelio, en un inicio fue de color blanco y con el paso de los días llegó a ser color púrpura (Figura 3.10a). Presentó macroconidios alargados de paredes delgadas (Figura 3.10b), la célula apical fue curvada y la basal mal desarrollada, presentó de 3 - 5 septos. También desarrolla microconidios en cadenas cortas (Figura 3.10d), los cuales son en forma de tabique con la base aplanada, y no presentan septas (Figura 3.10c). Todas las descripciones correspondieron a las características reportadas para *F. proliferatum*, por Leslie y Summerell (2006).

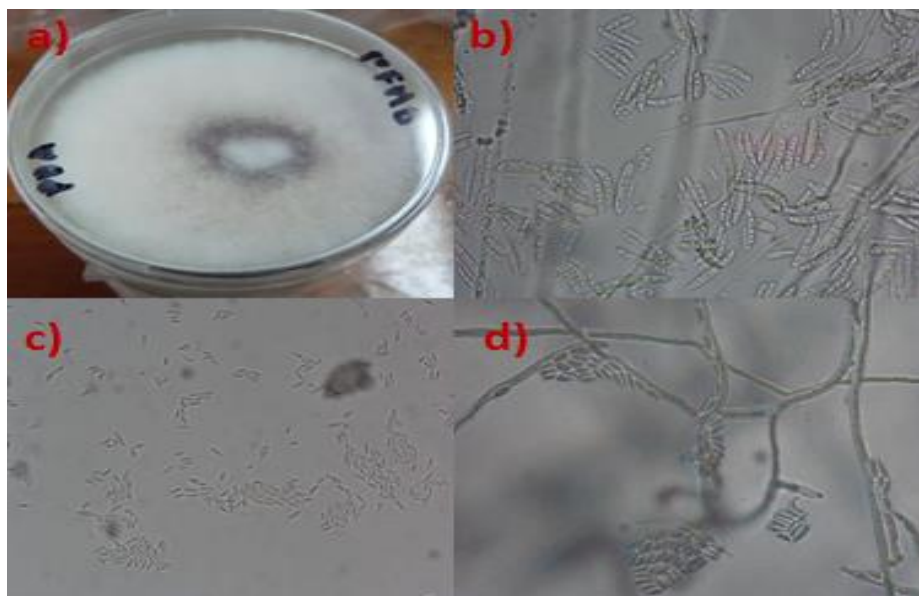


Figura 5.3. *Fusarium proliferatum*. a) Crecimiento inicial en medio de cultivo PDA, b) Macroconidios alargados de paredes delgadas, c) Microconidios sin septas, d) microconidios en cadena.

Fusarium graminearum

La colonia del hongo en medio de cultivo PDA, presentó abundante micelio fino y suelto; inicialmente blanco, pero lentamente se volvió amarillo y por ultimo adquirió una coloración purpura (Figura 3.11ab), macroconidios alargados y uniformes con paredes gruesas, la célula apical es moderadamente curvada y puntiaguda, la basal bien desarrollada en forma del pie (Figura 3.11c), de 5 – 6 septos las cuales fueron bien diferenciadas (Figura 3.11d). Hubo ausencia de microconidios y presencia de clamidosporas de rápida formación. Estas características coincidieron con las citadas para *F. graminearum*, por Warham *et al.* (1998), Leslie y Summerell (2006).

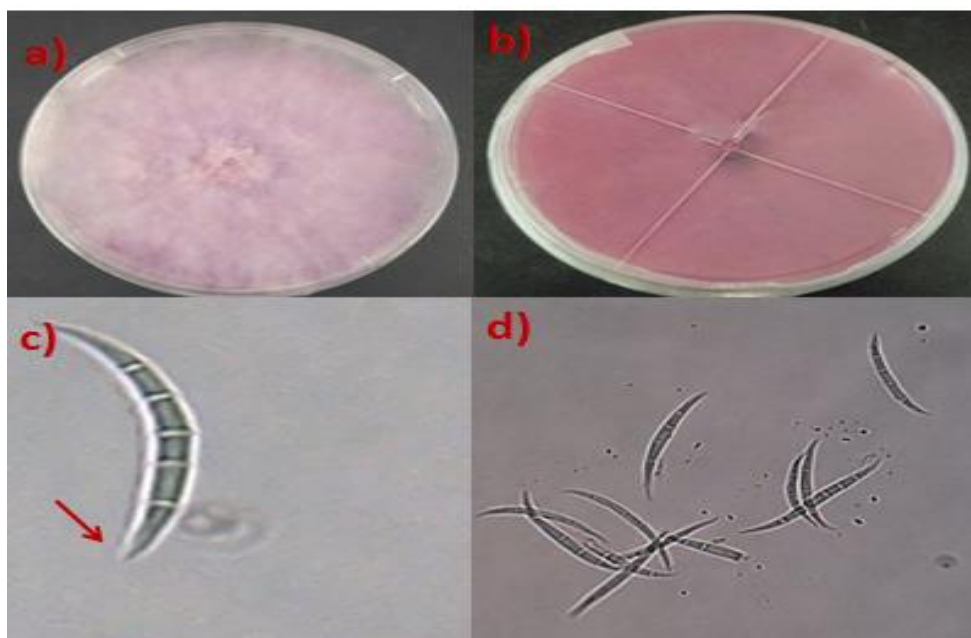


Figura 5.4. *Fusarium graminearum*. a) y b) Crecimiento en medio de cultivo PDA, c) Macroconidio célula basal bien desarrollada en forma de pie, d) Macroconidios de 5-6 septas.

Fusarium verticillioides

El hongo en medio de cultivo PDA, fue de crecimiento lento, forma micelio algodonoso, de coloraciones rosa-purpura (Figura 3.12ab), microconidios abundantes (Figura 3.12cd) generalmente unicelulares, pero en ocasiones bicelulares, con forma oval y ligeramente aplanados en cada extremo, formados a partir de monofialides. Macroconidios y clamidiasporas ausentes. Todas las descripciones correspondieron a las características reportadas para *F. verticillioides*, citadas por Warham *et al.* (1998), Leslie y Summerell (2006).

Warham *et al.* (1998) indicó que esta especie puede formar macroconidios de forma infrecuente, los cuales son hialinos con paredes delgadas, su forma varía de casi rectos a curvos, presentan de 3-7 septas; miden de 25-60 μm de largo por 2-4 μm de ancho y la célula basal tiene forma de pie. Nunca hay clamidiosporas en el micelio o los conidios.

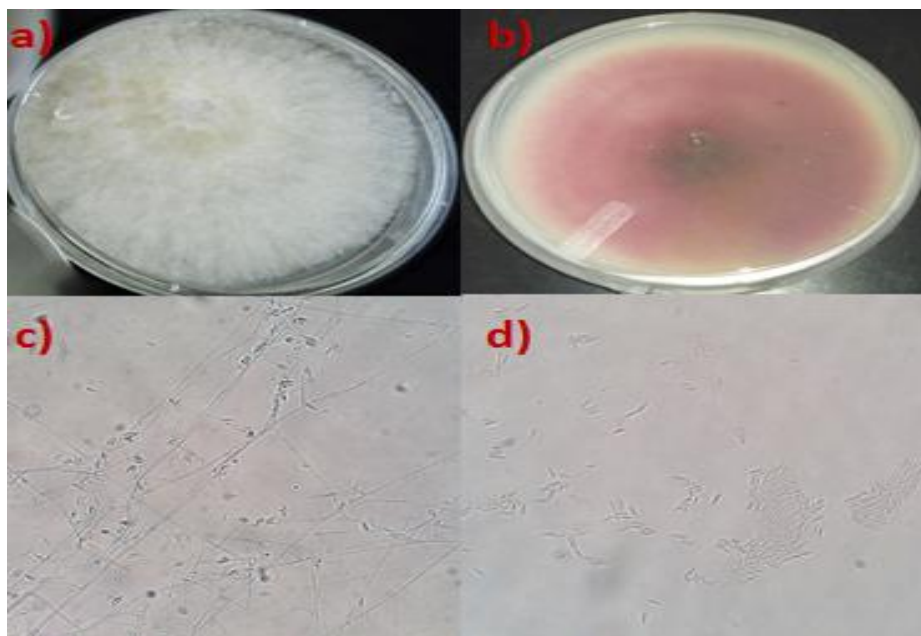


Figura 5.5. *Fusarium verticillioides* a) y b) Crecimiento en medio de cultivo PDA, c) y d) Microconidios abundantes

Los patógenos aislados e identificados en laboratorio concuerdan con los reportados en algunos trabajos de trigo realizados por Hernández (1992) y Contreras (1999). Las especies de hongos fitopatógenos encontrados en las semillas de trigo de las diferentes variedades procedentes de Juchitepec, estado de México, fueron: *F. proliferatum*, *F. graminearum* y *F. verticillioides* con incidencias bajo condiciones de laboratorio de 52.5%, 22.5% y 15% respectivamente, las cuales corresponden con algunas de las mencionadas por Zillinsky (1984), Presscot (1986) y Wiese (1987), además de que constituyen el grupo de hongos que atacan al cultivo de trigo y demás cereales de grano pequeño, en la corona del tallo y como causales de la pudrición de raíz y espiga blanca además que pueden transmitirse de un ciclo a otro por medio de la semilla y residuos vegetales.

ANÁLISIS DE DATOS

Peso en gramos, de 500 granos

Caso de variedades sin aplicación de fungicida



Figura 5.7. Peso en gramos de 500 granos de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.

Los materiales que presentaron mayor peso de grano sin fungicida mostrando diferencia significativa con respecto a las siete últimas variedades, fueron NANA y MAYA con valores de 27 gramos, seguidas de las variedades SANTA LUCIA Y CORTAZAR con 26 g. Las que presentaron menor peso con diferencia significativa con respecto a todas las demás variedades, con 18 g y 19 g fueron las variedades NAHUATL, SALAMANCA Y JOSECHA (cuadro A). El resto de las variedades se encontraron en grupos no bien diferenciados entre sí. En general los 20 genotipos de trigo empleados en este trabajo de investigación mostraron diferencias entre ellos por lo que al analizar los pesos de granos (cuadro A) se puede concluir que existe una amplia variabilidad.

Caso de variedades con aplicación de fungicida



Figura 5.8. Peso en gramos de 500 granos de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.

Se encontraron diferencias significativas solo entre las variedades localizadas en los extremos, siendo las de mayor peso de grano, las variedades BATAN, CORTAZAR y MAYA, con valores de 31 a 32 g, respectivamente. Seguidas por las variedades TEMPORALERA, ALTIPLANO Y SANTA LUCIA de 29 a 30 g. El resto de los valores presentan valores con similitud estadística. Finalmente, las variedades NORTEÑA Y NAHUALT fueron las de menor peso para 500 granos. Por lo anterior se puede afirmar que hubo diferencias significativas entre las variedades cuando se aplica el fungicida QUILT para el peso de grano (cuadro B)

Diferencia de peso para 500 granos, cuando se aplicó y cuando no se aplicó el fungicida.

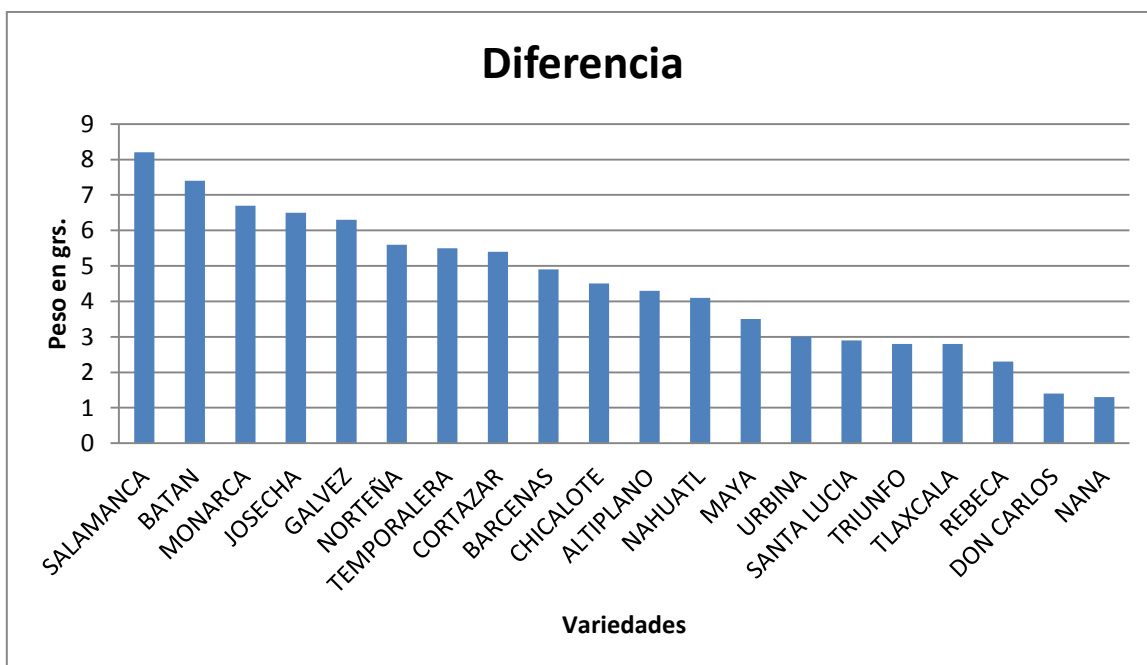


Figura 5.9. Peso en gramos de la diferencia obtenida con aplicación y sin aplicación de Quilt en las 20 variedades.

Aun cuando no se encontraron evidencias significativas para ninguna de las variedades en relación a la diferencia del peso de grano, cuando se aplicó el fungicida en relación a no aplicarse, las variedades que presentaron mayores valores de diferencia de peso fueron SALAMANCA, BATAN Y MONARCA, con diferencias en el rango de 6.7 a 8.2 g por 500 granos, , mientras que los materiales que presentaron menores valores fueron NANA, DON CARLOS, REBECA, TLAXCALA y TRIUNFO con diferencias entre 1.3 y 2.8 g, los cuales son genotipos liberados recientemente, del año 2000 a la fecha (Villaseñor) lo que indica que posiblemente sean más tolerantes a la enfermedad que las que mostraron mayores diferencias (cuadro).

Volumen

Caso de variedades sin aplicación de fungicida

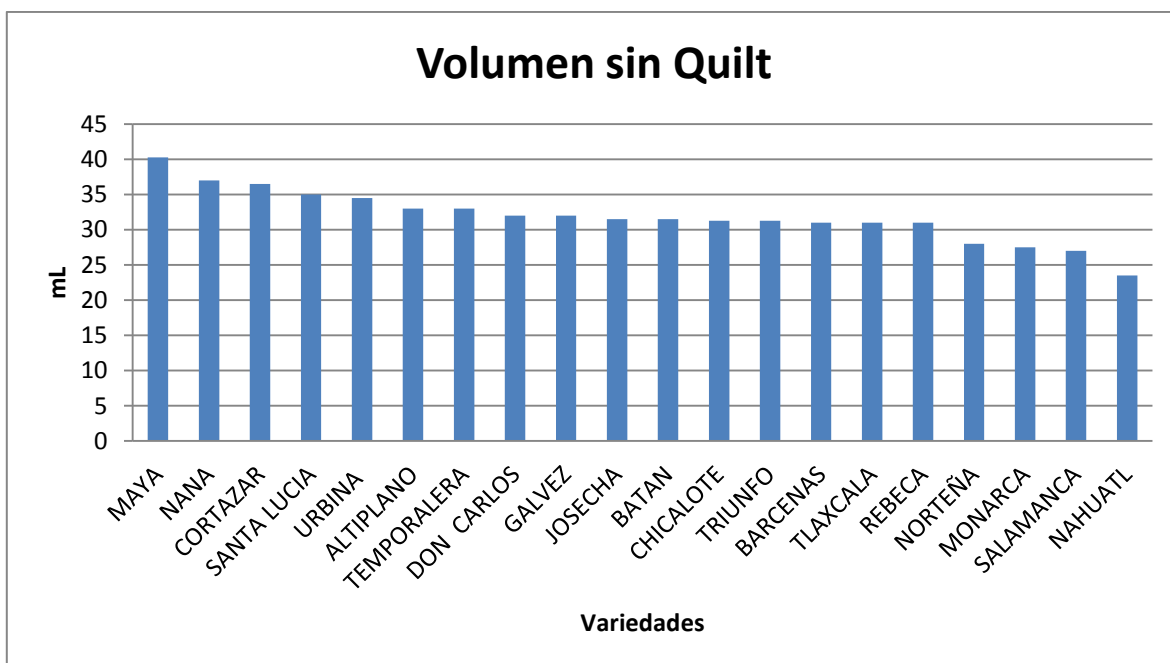


Figura5.10 .Volumen en mililitros de 500 granos de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.

Similarmente a los resultados para el peso de 500 granos, el comportamiento de las variedades para el caso del volumen, se formaron grupos muy amplios y con poca diferenciación estadísticamente hablando. Los materiales que presentaron mayor volumen de grano sin la aplicación de fungicida fueron NANA y MAYA con valores de 37 a 40.25 ml, a continuación se encuentran las variedades URBINA, SANTA LUCIA Y CORTAZAR con valores de 34 a 36 ml. Las que presentaron menor volumen entre 23 y 27 ml fueron las variedades NAHUALT, SALAMANCA Y MONARCA (cuadro A). En general los 20 genotipos de trigo empleados en este trabajo de investigación formaron diferentes grupos con diferencia estadística, estrictamente hablando, solo entre los valores extremos. La gran mayoría de las variedades presentaron valores muy similares, por lo que se puede considerar en relación al amplio rango de valores para el volúmen de granos, entre 27 a 40 ml (cuadro A), que existe una amplia variabilidad.

Caso de variedades con aplicación de fungicida

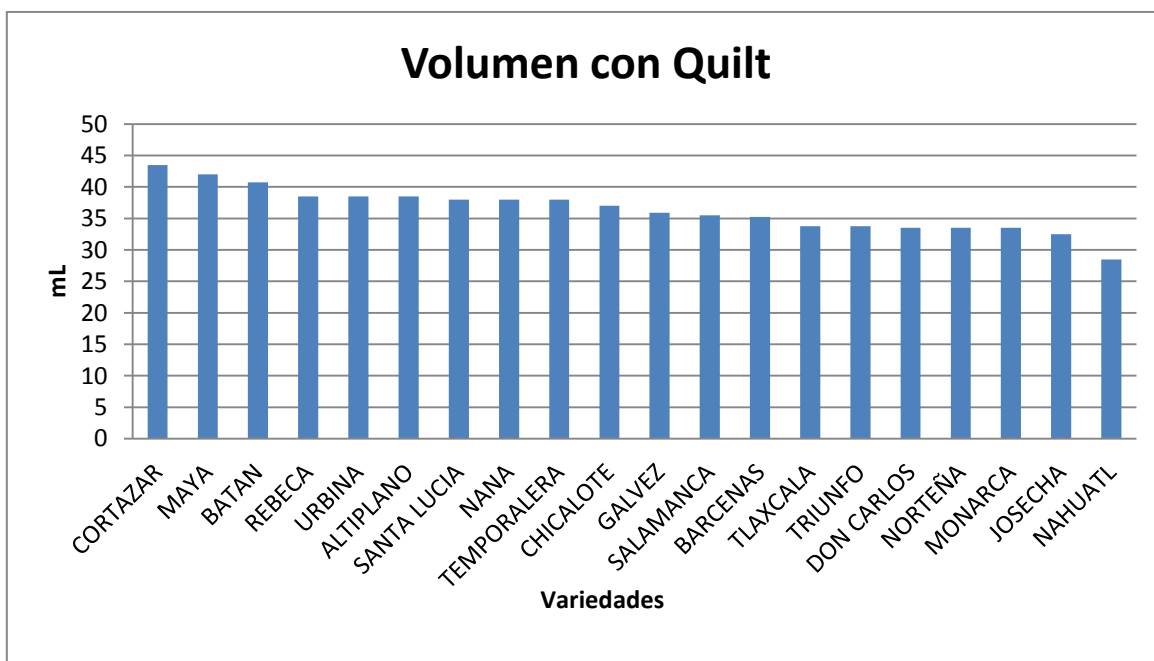


Figura 5.11. Volumen en mililitros de 500 granos de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.

El comportamiento de las variedades cuando se aplicó fungicida fue muy similar al caso sin aplicación del producto, el rango de valores de volumen de granos fue muy variable, entre 28.5 a 43.5 ml. Se mostraron diferencias significativas exclusivamente entre los valores extremos, las variedades con volúmenes mayores fueron BATAN, MAYA y CORTAZAR, con valores de 40 a 43 ml, respectivamente. En seguida se localizaron las variedades TEMPORALERA, NANA, SANTA LUCIA, ALTIPLANO, URBINA y REBECA con volúmenes de 38ml, pero sin ser estadísticamente diferentes a las tres anteriores. Los materiales que presentaron medias con menor volumen fueron NAHUATL y JOSECHA, las cuales si mostraron diferencias estadísticas significativas con respecto a las cuatro localizadas en la parte superior del ordenamiento (cuadro B?).

Diferencia de comportamiento entre las variedades cuando se aplicó y cuando no se aplicó el fungicida

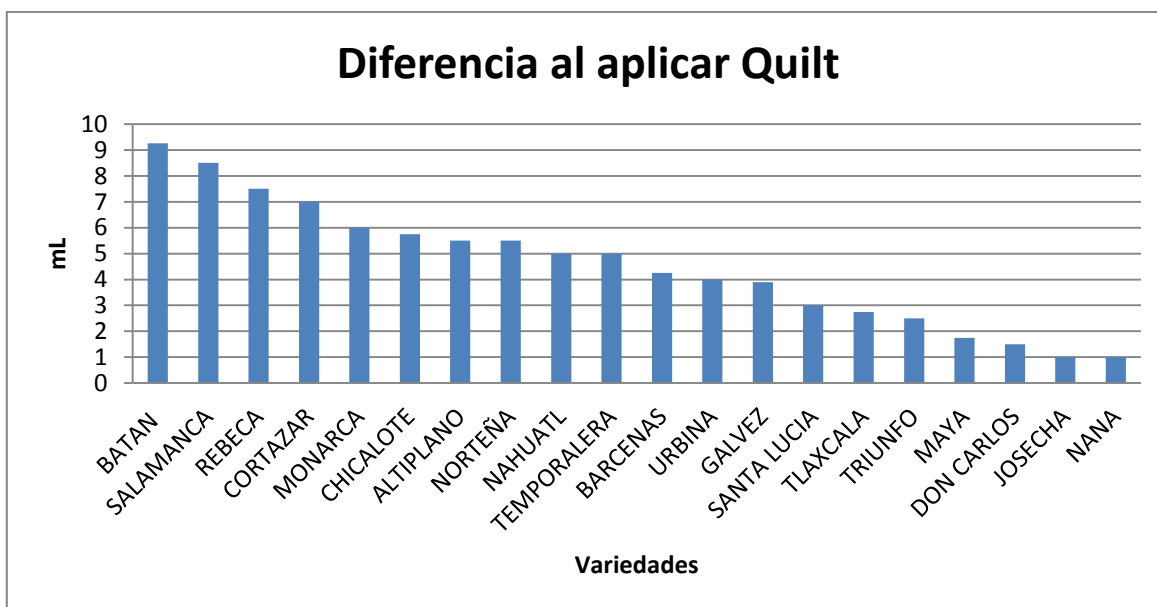


Figura 5.12. Volumen en mililitros de la diferencia obtenida con la aplicación de Quilt en las 20 variedades.

En la diferencia del volumen de grano para las variedades cuando se aplicó el fungicida en relación a la no aplicación, el comportamiento fue muy similar a la diferencia en el peso de los 500 granos. Las diferencias estuvieron en un rango de 1 a 9 ml, sin embargo no se encontraron evidencias estadísticas significativas entre todas las variedades. Los tratamientos que presentaron mayor diferencia en volumen fueron SALAMANCA y BATAN,, mientras que los materiales que presentaron menor diferencia en volumen fueron NANA, JOSECHA, DON CARLOS y MAYA con valores de 1. Estas últimas variedades, son genotipos liberados en la última década, del año 2000 a la fecha (Villaseñor 2000) lo que indica que posiblemente tengan un cierto grado de tolerancia a la enfermedad (cuadro ?).

Incidencia de la enfermedad

Caso de variedades sin aplicación de fungicida

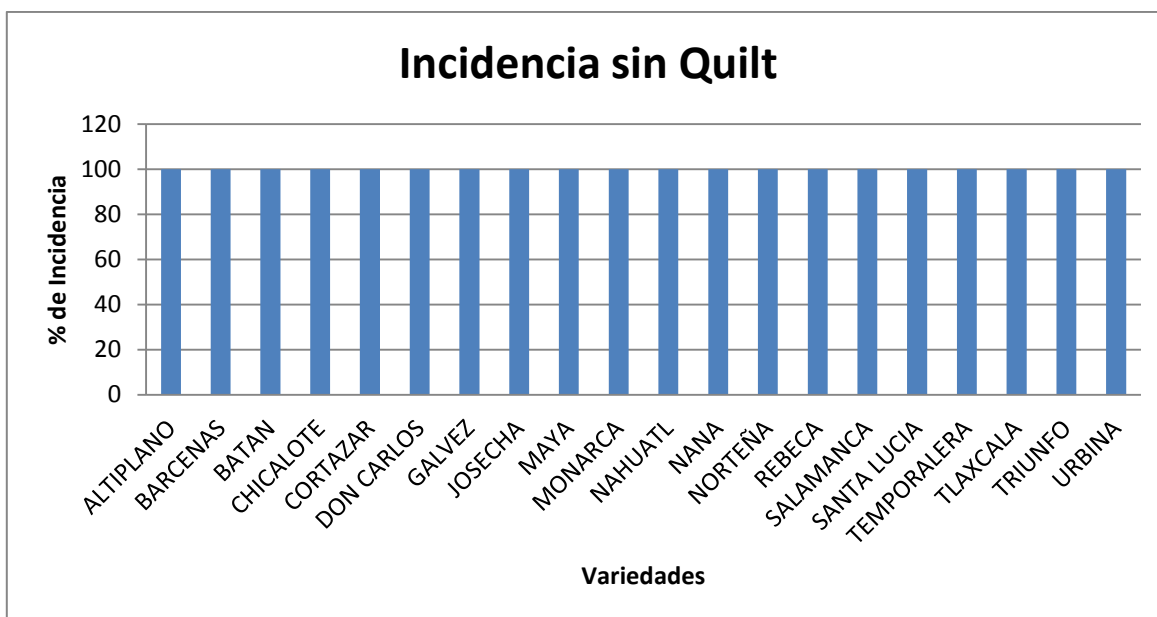


Figura 5.13. Incidencia de *Fusarium* spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.

Todas las variedades (cuadro D) de trigo cuando no se les aplicó tratamiento de fungicida, en Juchitepec, estado de México, mostraron 100% de incidencia (cuadro D?). por lo que no se encontró diferencia significativa para esta variable, lo que demuestra que la variable incidencia se presentó de forma homogénea en el 100% del campo, además considerando que efectivamente la muestra de variedades utilizadas es representativa de la población de todas las variedades de trigo mexicanas que se han liberado, se puede considerar que todas son susceptibles a la roña de la espiga *Fusarium* spp. (cuadro D?) coincidiendo con (Villaseñor 2000)

Caso de variedades con aplicación del fungicida

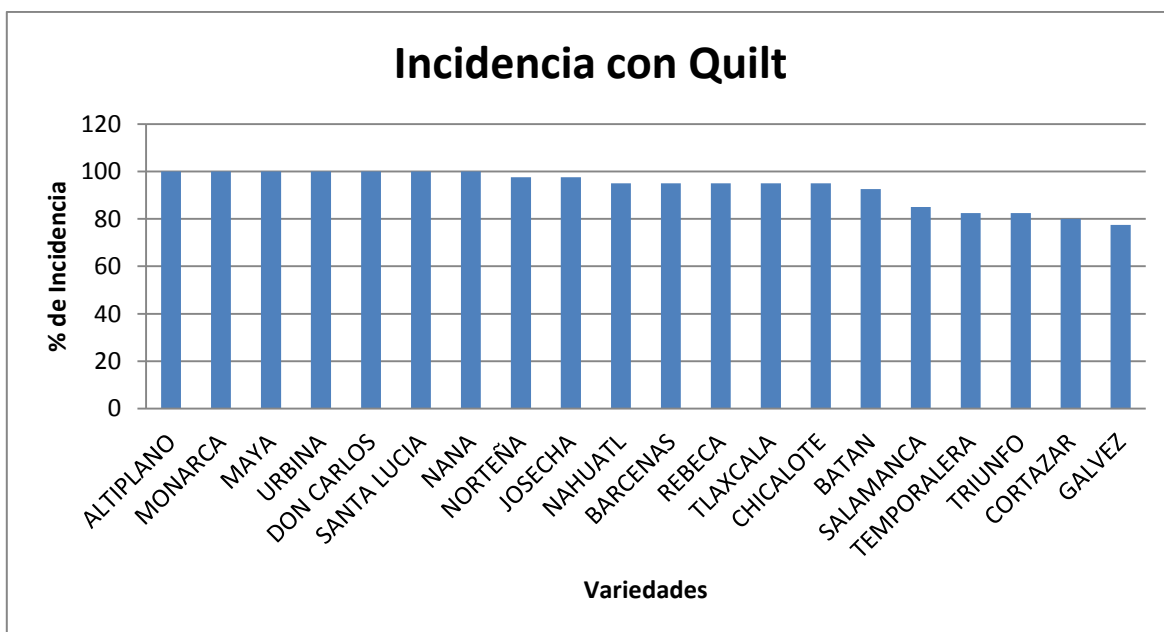


Figura 5.14. Incidencia de *Fusarium* spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.

Aun cuando algunos materiales presentaron un grado de incidencia inferior al 100%, con un rango entre el 77% al 100%, no fue suficiente para declararse como evidencia de diferencias estadísticamente significativas. De los materiales de trigo tratados con fungicida (QUILT), hubo 7 genotipos en los cuales no se observó disminución de la incidencia de la roña de la espiga con la aplicación del fungicida. Los materiales que muestran menor incidencia, sin presentar diferencia mínima significativa fueron las variedades GALVEZ, CORTAZAR, TRIUNFO y TEMPORALERA (cuadro E?) con lo que se muestra que el hongo en campo se presentó de manera homogénea e intensa.

Diferencia en incidencia para las variedades de trigo con la aplicación del fungicida en relación a la no aplicación

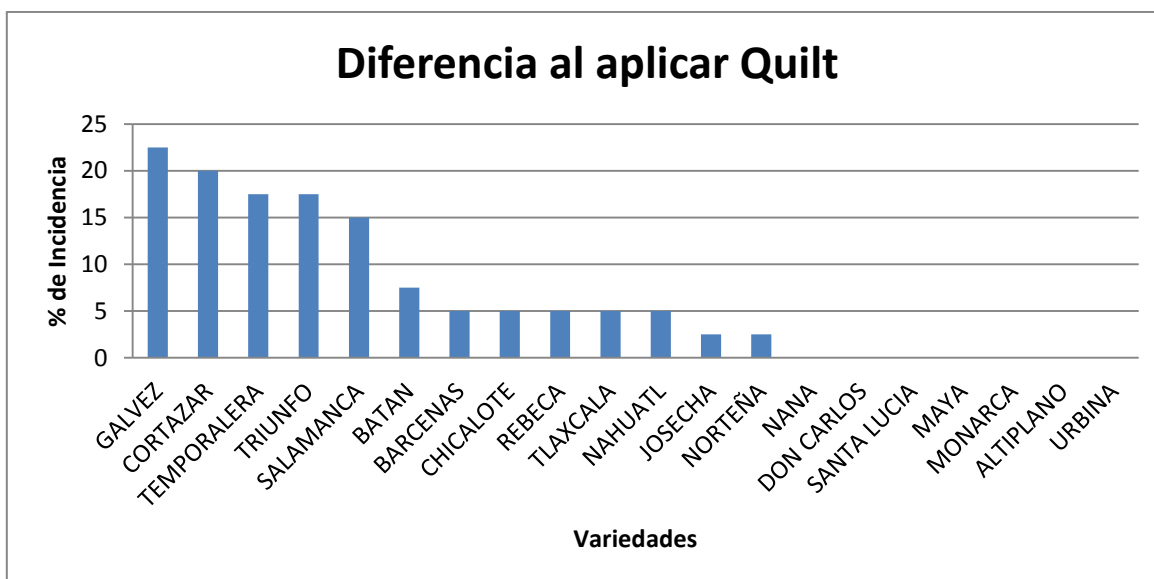


Figura 5.15. Diferencia en la Incidencia de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.

En el (cuadro F) se muestran las diferencias entre la incidencia de especies de Fusarium spp. presentes en las 20 variedades de trigos mexicanos tratados con y sin fungicida, donde las variedades que presentaron la mayor diferencia fueron GALVEZ, CORTAZAR y TEMPORALERA, con valores de diferencias entre el 17 y 22%, con lo que se comprueba que estos materiales reaccionaron a la aplicación del fungicida, aun cuando no hubo diferencia estadística significativa. En este parámetro los materiales que no presentaron ningún tipo de diferencia entre tratamiento químico y sin fungicida fueron 7 genotipos, de los cuales destacan NANA, DON CARLOS, MAYA, MONARCA, ALTIPLANO, y URBINA, las cuales para el caso de tratamiento con fungicida mostraron un porcentaje del 75 al 85% (cuadro D), mientras que sin fungicida mostraron incidencia del 100%. Se puede deducir con estos datos que la incidencia de la enfermedad fue muy alta. También se puede deducir de los resultados anteriores que esta enfermedad año con año está incrementando su frecuencia a nivel de campo y se muestra que para este problema aun no se encuentran genotipos resistentes en INIFAP (Villaseñor 2000).

Severidad de la enfermedad Caso de variedades sin aplicación de fungicida



Figura 5.16. Severidad de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.

El comportamiento para el caso de la severidad de la enfermedad manifestada por las variedades es completamente similar a los resultados mostrados anteriormente. Aun cuando los daños de Fusarium en relación se presentaron en un amplio rango del 12 al 60 % no se encontraron evidencias significativas, debidas principalmente a la presencia de una gran variabilidad en el comportamiento de las variedades en las dos repeticiones, lo cual genera un error experimental muy grande, teniéndose en consecuencia la no significancia estadística. Los materiales que presentaron los mayores valores, del 55 al 59% fueron las variedades NANA, JOSECHA, MONARCA, MAYA y CORTAZAR. Por otro lado, las que presentaron menor daño fueron ALTIPLANO, REBECA, DON CARLOS, TRIUNFO (cuadro 3). Aun cuando no se encontraron diferencias significativas, el amplio rango de

valores de severidad y los daños, son evidencia de que no existen variedades resistentes a la roña de la espiga *Fusarium* spp. (Villaseñor 2000)

Caso de variedades con aplicación de fungicida



Figura 5.17. Severidad de *Fusarium* spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades sin la aplicación de Quilt.

A diferencia del caso de no aplicación de fungicida QUILT, ahora el rango de severidad se disminuyó, especialmente en los valores superiores, donde ahora el máximo es solo de 40%, mientras que sin la aplicación de fungicida el máximo valor encontrado de severidad fue de 60%. También ahora se encontró diferencia significativa al menos entre los valores extremos. Las variedades más dañadas siguen siendo MONARCA y MAYA, la variedad que si presentó diferencia significativa con el uso de fungicida fue CORTAZAR con una severidad de 8.7 a diferencia de la misma variedad de su homologo que tuvo la mayor severidad de 59.6%.

Diferencia en severidad para las variedades con aplicación y sin aplicación de fungicida

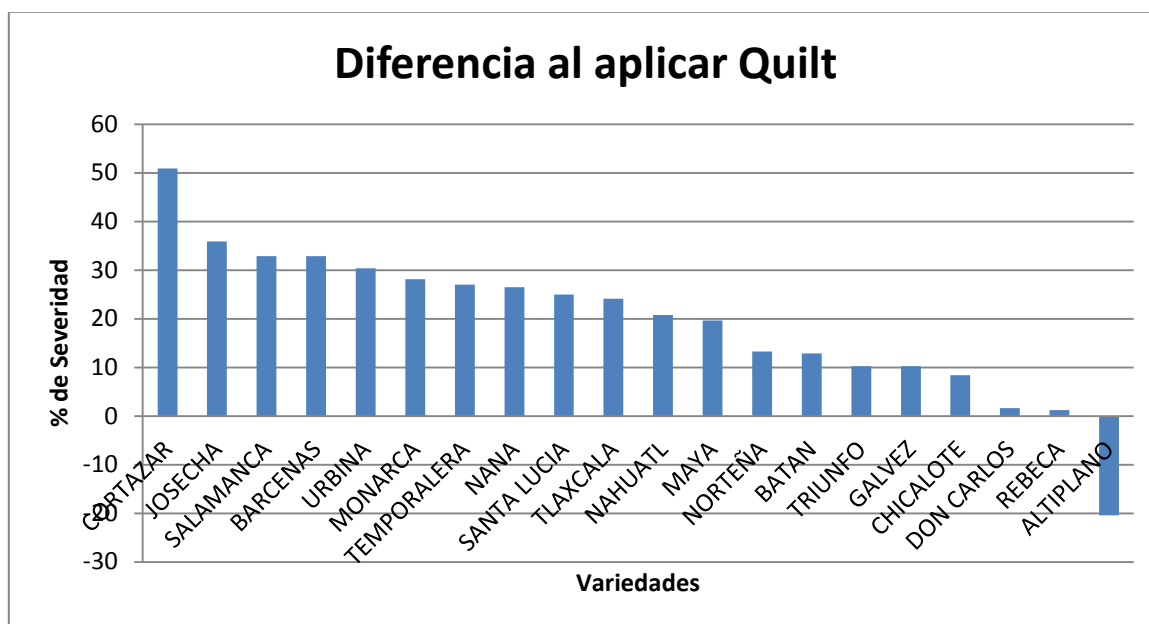


Figura 5.18. Diferencia en la severidad de Fusarium spp. en 1600 espigas de trigo de las 20 variedades con la aplicación de Quilt.

El comportamiento de las variedades para la diferencia entre aplicar y no aplicar fungicida fue similar al caso de la severidad con la aplicación, se encontraron diferencias significativas solo entre los valores extremos. Al ver la diferencia de severidad entre los tratamientos con y sin fungicida se demuestra que hay diferencia significativa de las variedades REBECA y DON CARLOS, que fueron las variedades que mostraron menor respuesta a la aplicación del fungicida, con el resto de los materiales que mostraron mayor diferencia de daño destacando SALAMANCA, JOSECHA Y CORTAZAR con una severidad que va del 32 al 58%. Lo anterior permite concluir que el fungicida baja la severidad de la roña en campo. (autor que hable de quilt). También se muestra que no existen en México variedades de trigo resistentes a esta enfermedad. (Villaseñor, 2000).

VI. CONCLUSIONES

Las especies *F. proliferatum*, *F. graminearum*, y *F. verticillioides* son las que se presentaron con mayor incidencia en Juchitepec, Estado de México, por lo que se pudo identificar que estas especies de *Fusarium* son las causantes de la fusariosis de la espiga de trigo. Asimismo, debido a que hubo una incidencia del 100% se comprobó que no existen materiales de trigo en México resistentes a este género de hongos.

Análisis de correlación

Para las variedades sin el tratamiento de fungicida

Para auxiliar en la interpretación de los datos se realizaron correlaciones entre las variables de lo cual se obtuvo lo siguiente:

Se observó correlación positiva entre las variables peso-volumen pero a niveles bajos de rendimiento. La acción del hongo afecta ambas variables, por lo que se presenta una disminución de peso. Un ejemplo claro del efecto del hongo, es entre las variables severidad con volumen, donde la correlación es más alta; esto afecta al peso y por esta razón fue una correlación positiva, las demás variables no presentaron correlación debido a que el hongo mermó el peso y el volumen del grano de trigo.

Tratamiento con fungicida

Las correlaciones entre los tratamientos con fungicida muestran una alta correlación entre volumen y peso de grano, esto debido a la acción del fungicida, el cual al presentar un control eficiente de la enfermedad se presenta un buen rendimiento de grano.

La incidencia y la severidad presentaron niveles bajos de correlación que corresponden a niveles bajos de severidad lo que corresponde a un buen control del fungicida sobre fusarium spp. en campo.

Los demás tipos de correlaciones son negativas puesto que el fungicida actuó sobre el hongo pero no lo suficiente para que las variedades expresaran un mayor rendimiento.

Diferencias entre variedades con y sin fungicida

Al observar las correlaciones de las diferencias entre las variables evaluadas se puede observar que existe una correlación positiva entre el volumen y el peso del grano evaluado. La correlación entre peso e incidencia es significativa debido a la acción del fungicida, pero se presentó de manera positiva y baja por lo que la severidad de la enfermedad afecta el peso del grano pero no así el volumen. La incidencia no es significativa, esta correlación ni con volumen de grano ni con severidad aun con la acción del fungicida.

VII. LITERATURA CITADA

- Booth, C. 1971. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey. 237p.
- Bottalico, A. 1998. *Fusarium* diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. J. Plant Pathol. 80:85–103.
- Brennan, J.M. Fagan, B. van Maanen, A. Cooke, B.M. and Doohan, F.M. 2003. Studies on *in vitro* growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology* 109: 577–587.
- Caballero, D. M. 2008. Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional. Informe. 256 pp.
- Chiarappa, L y Gambogi, P. (1986). Seed pathology and food production. FAO
- Doohan, F.M., Brennan, J. and Cooke, B.M. 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology* 109: 755–768.
- FAOSTAT | © FAO Dirección de Estadística 2011 | 07 enero 2014
- Leslie, J. F. y Summerell, B. A. 2006. The *Fusarium*. Laboratory manual. Ed. Blackwell Publishing, State Iowa, USA. 740 p.
- 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).
- Logrieco, A.; Rizzo, A.; Ferracane, R. and Ritieni, A. 2002. Occurrence of Beauvericin and Enniatins in Wheat Affected by *Fusarium avenaceum* Head Blight. *Appl. Environ. Microbiol*, 68(1):82-85.
- Magliano, A. T. and Kikot, G. E. 2010. Microscopy techniques to analyse plant-pathogen interaction: *Fusarium graminearum* as pathogen of wheat. *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education*.

- Marasas, W. F. O., Nelson, P. E., Toussoun, T. A. 1984. *Toxigenic Fusarium Species: Identity and Mycotoxicology*. Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania, USA. 328 p.
- Nelson PE, Tousson TA, Cook R, eds 1981. *Fusarium: Disease, Biology and Taxonomy*. Pennsylvania University Park, USA and London, UK: Pennsylvania State University Press.
- Nicholson, P.; Simpson, D.R.; Wilson, A.H.; Chandler E. and Thomsett, M. 2004. Detection and differentiation of trichothecene and enniatin-producing *Fusarium* species on small-grain cereals. *European Journal of Plant Pathology* 110: 503-514.
- Peña Bautista, R. J., Perez Herrera, P., Villaseñor Mir H. E., Gomez Valdez, M.M., Mendoza Lozano, M. A . 2008. CaUdad de fa cosecha de (riga en Mexico. Cicio primavera-verano 2006. Publicacion Especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajin No. 567, Col. Vertiz Narvarte, Delegacion Benito Juarez c.P. 03600 Mexico, D.F. 28p.
- Parry, D. W.; Jenkinson, P.; Mcleod L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals. *Plant Pathology* 44: 207-238.
- Pingali, P. L. 1999. CIMMIYT 1998-99 World Factors and Trends. *Global Wheat Research in a Changing World: challenges and Achievements*. México, D.F., México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 46 p.
- Prandini, A.; Sigolo S.; Filippi, L.; Battilani, P.; Piva G. 2009. Review of predictive models for *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology* 47:927–931
- SIAP| Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México-©-2012 |24 Junio 2013.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia R. E. 2000. *El Trigo de Temporal en México*. Libro Técnico No 1. Chapingo, Estado de México., México, SAGAR, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. 315 p.
- Warham, E.J., Butler L. y Sutton B. 1998. *Ensayos para la Semilla de Maíz*

y de Trigo. Manual de Laboratorio. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 64 p.

- Whitlow, L.W., Hagler, W.M., 2005. Mycotoxins in feeds. *Feedstuffs* 14, 69–79.
- Wiese, M.V. 1987. *Compendium of Wheat Diseases*. American Phytopathological Society APS Press, St Paul, Minesota, USA.124 p.
- Yoshida, M., and Nakajima, T. 2010. Deoxynivalenol and nivalenol accumulation in wheat infected with *Fusarium graminearum* during grain development. *Phytopathology* 100:763-773.
- Zyllinsky F., J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo. CIMMYT. México, D.F. 141p.