



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE FITOSANIDAD**

**FITOPATOLOGÍA**

**HONGOS ASOCIADOS A PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE  
SEMILLAS DE VARIEDADES DE TRIGO EN VALLES ALTOS CENTRALES DE  
MÉXICO**

**ERIK ACUAYTE VALDES**

**T E S I S**

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

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2017**

La presente tesis titulada: **HONGOS ASOCIADOS A PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLAS DE VARIEDADES DE TRIGO EN VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO**, realizada por el alumno: Erik Acuayte Valdes bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD - FITOPATOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



---

DR. JOSÉ SERGIO SANDOVAL ISLAS

ASESOR:



---

DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

ASESOR:



---

DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

ASESOR:



---

DR. SANTOS GERARDO LEYVA MIR

ASESOR:



---

DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios por todas sus bendiciones, amor y misericordia.**

**A todos los mexicanos que a través del CONACYT me apoyaron para realizar estudios de postgrado.**

**Al Dr. Sergio Sandoval por su dirección, tiempo, amistad, paciencia, consejos, confianza y las llamadas de atención para la mejora de mi formación profesional y personal, con toda sinceridad... mil gracias.**

**Al Dr. Aquiles Carballo por su amistad, confianza, enseñanza, esas pláticas amenas y el ejemplo de calidad humana.**

**Al Dr. Héctor Villaseñor por el material vegetal proporcionado, el apoyo, su valioso tiempo y orientación fundamental para este trabajo.**

**Al Dr. Gerardo Leyva por todo el apoyo durante mis estudios doctorales, por el tiempo y la buena disposición para el desarrollo de esta investigación.**

**Al Dr. Mateo Vargas por su paciencia, tiempo, ánimos, todo el apoyo y el mostrarme que la complejidad de la estadística depende mucho del facilitador.**

**A tod@s l@s doctor@s de Fitosanidad que de una forma u otra ayudaron a mi formación profesional o humana, en especial a los Doctores: Daniel Téliz, Carlos De León, Emma Zavaleta, Gustavo Mora, Cristian Nava y Antonio Mora, con su ejemplo me mostraron que con dedicación y pasión el éxito profesional llega, con honestidad...para mí fue una satisfacción conocerles.**

**A todo el personal de Fitosanidad y el Colegio de Postgraduados que ayudaron a ser mas grato mi paso por esta honorable institución, muy en especial a Hilda, Macrina, Juanito, Eduardo, Rosario, Emilia, Lucy, Carmen, y las personas que no mencione en estos momentos por falla de mi memoria.... G R A C I A S.**

## DEDICATORIA

A mis padres:

**Antonio Acuayte Najera**, que viviste el inicio de mi sueño y desafortunadamente no pudiste verlo concluir, pero que con tu cariño, esfuerzo y ejemplo siempre me enseñaste a seguir adelante y ser mejor persona.

**Lucila Valdés Gallardo**, por tu amor, paciencia, confianza y la constante motivación en todos mis proyectos de vida, gracias por hacer de mí un hombre de bien, te amo y gracias por no rendirte en la profesión mas difícil y quizá la menos remunerada...la de ser Mamá.

A mis hermanos: **Ángeles, Antonio, Consuelo y Guadalupe**

Gracias por su apoyo, los quiero y admiro.

A toda mi **familia** por los momentos que no pude estar con ustedes y han comprendido.

A mi esposa **Ely** por su apoyo y comprensión, a mi hijo **Erik** que con decirme papá mejora y alegra mi día, son mi mejor proyecto de vida...los Amo.

# CONTENIDO

Página

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>3</b>
Objetivos generales	4
Objetivos específicos	4
<b>Capítulo I. El trigo: aspectos ambientales y fitosanitarios que influyen en calidad y producción.</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Trigo</b>	<b>5</b>
1.1.1 Origen	5
1.1.2. Producción mundial.	6
1.1.3 Producción nacional.	7
1.1.4 Mejoramiento genético.	8
1.1.5 Climas para producción de trigo.	9
1.1.6 Semilla.	9
1.1.6.1 Estructura de la semilla de trigo.	10
1.1.6.2 Tipos de infección de una semilla.	11
1.1.7 El clima y la germinación de semilla.	11
<b>1.2 Relación huésped parásito.</b>	<b>12</b>
1.2.1 Importancia de los patógenos de semilla.	12
1.2.1.1 Acompañamiento.	13
1.2.1.2 Transporte externo.	13
1.2.1.3 Transporte interno.	13
1.2.2 Impacto del clima en la distribución de hongos en semillas.	14
1.2.3 Principales grupos de patógenos transmitidos vía semilla.	14
1.2.3.1 Hongos.	14
1.2.3.2 Bacterias.	16
1.2.3.3 Virus.	16
1.2.3.4 Bacteriófagos.	17
1.2.3.5 Micoplasmas.	18
1.2.3.6 Nemátodos.	18
1.2.4 Los patógenos que afectan la semilla.	19
<b>1.3 Calidad de semilla.</b>	<b>25</b>
1.3.1 Calidad genética.	26
1.3.2 Calidad fisiológica.	26
1.3.3. Calidad física.	27
1.3.4 Calidad sanitaria.	28
1.3.5 Centros para el análisis de la calidad de semilla.	29

1.4 Literatura citada.	31
<b>Capítulo II. Determinación y frecuencia de hongos presentes en semillas de trigo de temporal en Valles Altos Centrales de México.</b>	<b>38</b>
Resumen	38
Abstract	38
<b>2.1. Introducción</b>	<b>39</b>
2.2. Materiales y Métodos	40
2.3 Resultados y Discusión	43
2.4. Conclusiones	47
2.5 Literatura	48
<b>Capítulo III. Patógenos foliares y su efecto en el rendimiento.</b>	<b>51</b>
Resumen	51
Abstract	52
4.1 Introducción	53
3.2 Materiales y Métodos.	54
3.3 Resultados y Discusión	56
3.4 Conclusiones	75
3.5 Literatura	76
<b>Capítulo IV. Áreas para producción de semilla de trigo en Valles Altos Centrales de México.</b>	<b>79</b>
Resumen	79
Abstract	80
4.1 Introducción	80
4.2 Materiales y Métodos	82
4.3 Resultados y Discusión	84
4.4. Conclusiones	89
4.5 Literatura	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Capítulo I. El trigo: aspectos ambientales y fitosanitarios que influyen en calidad y producción.....</b>	
Figura 1. Centro de origen del trigo.....	6
Figura 2. Producción mundial de trigo.....	7
Figura 3. Anatomía de la semilla de trigo.....	10
Figura 4. Tipos de infección en semillas.....	11
<b>Capítulo II. Determinación y frecuencia de hongos presentes en semillas de trigo de temporal en Valles Altos Centrales de México.....</b>	
Figura 1. Semillas de trigo en caja con tapa para prueba de papel secante-congelación.....	42
Figura 2. Hongos en semilla de trigo obtenidos mediante la prueba de papel secante-congelación.....	42
Figura 3. Prueba entre papel realizada a semillas de catorce variedades de trigo de temporal de Valles Altos Centrales de México.....	43
Figura 4. Semillas de trigo de catorce variedades de temporal sometidas a la prueba de papel secante congelación.....	43
Figura 5. Frecuencia de especies de hongos en semillas de catorce variedades de trigo de temporal en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.....	45
<b>Capítulo IV. Áreas para producción de semilla de trigo en Valles Altos Centrales de México.....</b>	
Figura 1. Clasificación de áreas por requerimientos climáticos para el establecimiento del cultivo de trigo en Valles Altos Centrales de México.....	85
Figura 2. Clasificación en base al Índice Relativo de la Enfermedad (IRE) Fusariosis del trigo en Valles Altos Centrales de México.....	85
Figura 3. Zonificación de Valles Altos Centrales de México en base al requerimiento climático del cultivo del trigo y el IRE Fusariosis del trigo.....	86

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Capítulo II. Determinación y frecuencia de las especies de hongos asociadas y transmitidas en semilla de trigo de temporal en Valles Altos Centrales de México.....</b>	
Cuadro 1. Variedades de trigo establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México en el ciclo primavera – verano 2012.....	41
Cuadro 2. Especies de hongos fitopatógenos presentes en semillas de catorce variedades de trigo de temporal y porcentaje del total de hongos que se registro en cada una de las nueve localidades en que se sembraron en Valles Altos Centrales de México .....	44
Cuadro 3. Incidencia de hongos fitopatógenos en semillas de catorce variedades de trigo en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.....	46
Cuadro 4. Frecuencia de hongos fitopatógenos en semillas de catorce variedades de trigo de temporal en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México, en el ciclo 2012.....	47
<b>Capítulo III. Patógenos foliares y su efecto en el rendimiento.....</b>	
Cuadro 1. Variedades de trigo establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México en el ciclo primavera.....	55
Cuadro 2. Respuesta a Roya amarilla, Roya del tallo y Roya de la hoja de catorce variedades de trigo de temporal sembradas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México, en el ciclo primavera verano 2012.....	55
Cuadro 3. Patógenos contra los que está autorizado el fungicida Sportak en trigo, dosis y enfermedades para las cuales está recomendado.....	56
Cuadro 4. Análisis de varianza combinados a través de sitios y tratamientos de catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México; ciclo primavera verano 2012.....	57



Cuadro 5. Comparación de medias (Tukey) para catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México; ciclo primavera verano 2012.....	58
Cuadro 6 . Modelo AMMI test de Gollob para la variable rendimiento de catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.....	64
Cuadro 7. Modelo AMMI test de Gollob para la variable Severidad de enfermedades foliares en catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.....	65
<b>Capítulo IV. Áreas para producción de semilla de trigo en Valles Altos Centrales de México.....</b>	
Cuadro 1. Requerimientos climáticos del cultivo del trigo.....	83
Cuadro 2. Requerimientos climáticos del hongo <i>Fusarium graminearum</i> .....	83
Cuadro 3. Altitud, precipitación y temperatura media por estado de Valles Altos Centrales de México .....	84
Cuadro 4. Clasificación y estimación del área de Valles Altos Centrales de México de acuerdo al uso de suelo .....	87
Cuadro 5. Municipios de Valles Altos Centrales de México clasificados de acuerdo a condiciones ambientales para producción de trigo.....	87

# HONGOS ASOCIADOS A PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLAS DE VARIEDADES DE TRIGO EN VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO

Erik Acuayte Valdes, D. C  
Colegio de Postgraduados, 2017

## RESUMEN

La expansión geográfica del área de producción de trigo no ha considerado los requerimientos en cuanto a clima de la planta y de sus patógenos para asegurar una buena producción del cultivo. En México el 15% de la producción de trigo es empleado como semilla. El trigo de temporal se produce en el ciclo de verano, cuando se presentan enfermedades como royas, tizones y manchas foliares. La presencia de enfermedades ocasiona pérdidas económicas para los productores y encarecimiento del producto para el consumidor. Uno de los principales patógenos que afecta al trigo es *Fusarium* sp. que ocasiona daños en la salud humana y animal por la presencia de micotoxinas; demerita la vida útil de las variedades; y disminuye la calidad de la semilla. Se determinaron las pérdidas de rendimiento que causan los principales hongos foliares presentes en campo.

Las localidades con mayor incidencia de hongos encontrados en semilla fueron Terrenate, Chimalpa y Huamantla en contraste con la localidad Sta. Lucia que presentó el menor porcentaje de hongos fitopatógenos; *Bipolaris sorokiniana* fué el hongo que se presentó con mayor frecuencia en las semillas; *F. graminearum* y *F. moniliforme* fueron las especies de *Fusarium* en las que se registró un mayor porcentaje de semillas enfermas; *Bipolaris sorokiniana*, *F. graminearum* y *F. verticilliodes* se presentaron en todas las localidades con diferente frecuencia.

De acuerdo con la clasificación por condiciones climáticas y uso del suelo, la parte norte de la región de los Valles Altos Centrales de México es un área favorable para el desarrollo de *Fusarium graminearum* y marginalmente apta para el establecimiento del trigo; en contraste la parte central se clasifica con un bajo o nulo daño por tizón de la espiga pero apta para el establecimiento del cultivo, teniendo como resultado la mejor área para lograr mayor producción y obtener semilla de buena calidad.

**Palabras clave:** *Triticum* sp, calidad fisiológica, calidad fitosanitaria, enfermedades foliares.

# HONGOS ASOCIADOS A PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLAS DE VARIETADES DE TRIGO EN VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO

## ABSTRACT

The geographical expansion of the wheat production area has not taken into account the climate requirements of the plant and its pathogens to ensure a good production of the crop. In Mexico, 15% of wheat production is used as seed. Temporary wheat is produced in the summer cycle, when diseases such as rust, blight and leaf spots. The presence of diseases causes economic losses for the producers and increase of the product for the consumer. One of the main pathogens affecting wheat is *Fusarium* sp. which causes damage to human and animal health through the presence of mycotoxins; Demerits the useful life of the varieties; and decreases the quality of the seed. Losses of yield caused by the main foliar fungi present in the field were determined.

The localities with the highest incidence of fungi found in seed were Terrenate, Chimalpa and Huamantla in contrast to the locality S. Lucia that presented the lowest percentage of phytopathogenic fungi; *Bipolaris sorokiniana* was the most frequently presented fungus in the seeds; *F. graminearum* and *F. moniliforme* were *Fusarium* species in which a higher percentage of diseased seeds were recorded; *Bipolaris sorokiniana*, *F. graminearum* and *F. verticillioides* occurred in all localities with different frequency.

According to the classification by climatic conditions and land use, the northern part of the Central Highlands of Mexico region is favorable for the development of *Fusarium graminearum* and marginally suitable for the establishment of wheat; In contrast the central part is classified with low or no damage by spike blight but suitable for establishing the crop, resulting in the best area to achieve greater production and obtain good quality seed.

Key words: *Triticum* sp, physiological quality, phytosanitary quality, foliar diseases.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Desde hace 400 años el trigo de temporal se cultiva en México. A partir de 1950 se introdujo la siembra bajo condiciones de riego, la superficie sembrada de temporal disminuyó debido a que se desarrollaron obras de infraestructura hidráulica en las zonas agrícolas del país y se obtuvieron variedades de alto rendimiento apropiadas para el riego (Ireta, 1989). Posteriormente durante la década de 1990 se redujo el área irrigada a causa de escasez de agua, problemas fitopatológicos, y baja rentabilidad ocasionando la importación de grano para surtir la demanda nacional desde 1997 (Rodríguez *et al.*, 2008). Actualmente las siembras de temporal complementan la producción obtenida con riego, se oferta más barato que el trigo importado y su cultivo tiene ventajas agronómicas en áreas donde otros cultivos, como el maíz, tienen limitantes por precipitación o estación corta de crecimiento (Huerta y Singh, 2000).

La presencia de enfermedades ocasiona pérdidas económicas para los productores y encarecimiento del producto para el consumidor. El trigo de temporal se produce en el ciclo de verano, cuando se presentan enfermedades como royas, tizones y manchas foliares (Huerta y Singh, 2000). Uno de los principales patógenos que afecta al trigo es *Fusarium* sp. que ocasiona daños en la salud humana y animal por la presencia de micotoxinas; demerita la vida útil de las variedades; y disminuye la calidad física, fisiológica y sanitaria de la semilla.

Es necesario conocer la influencia de las prácticas agronómicas en el rendimiento y calidad de semilla de trigo; realizar programas de investigación que generen tecnología de producción y divulguen los resultados obtenidos en favor de los productores; determinar zonas libres de las principales enfermedades, y así conocer los lugares con potencial para realizar los incrementos iniciales de semilla de trigo de nuevas y actuales variedades.

## **Objetivos generales**

Determinar los hongos asociados a las semillas de trigo, y su efecto en el rendimiento en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.

Determinar los lugares con potencial para la producción de semilla y grano de trigo con calidad sanitaria en los Valles Altos Centrales de México.

## **Objetivos específicos**

Determinar la frecuencia y especies de hongos que afectan la calidad de semilla de trigo en nueve localidades en la región de Valles Altos Centrales de México.

Estimar la disminución en el rendimiento por el ataque de patógenos foliares en precosecha en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.

Identificar lugares con ambientes óptimos para el cultivo y desfavorables para *Fusarium* sp.

Clasificar de acuerdo al uso del suelo los Valles Altos Centrales de México e identificar lugares óptimos para la producción de grano e incremento de semilla.

## **Capítulo I. El trigo: aspectos ambientales y fitosanitarios que influyen en calidad y producción.**

Acuayte-Valdés, Erik<sup>1</sup>, Sandoval-Islas, Sergio<sup>1</sup>, Carballo-Carballo, Aquiles<sup>2</sup>, Villaseñor-Mir, Eduardo<sup>3</sup>, Leyva-Mir, Santos Gerardo<sup>4</sup>, Vargas-Hernández, Mateo<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitopatología, Montecillo, Méx,

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Posgrado en Producción de Semillas, Montecillo, Méx, <sup>3</sup> INIFAP – campo Experimental, <sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola,

<sup>5</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. [acuaytevaldez@gmail.com](mailto:acuaytevaldez@gmail.com)

### **1.1 Trigo**

Uno de los intereses generales que se tienen a nivel nacional, es lograr una mayor producción agrícola para satisfacer las necesidades alimenticias de nuestra población creciente, así como abastecer a la industria de las materias primas que requiera y de esta manera contribuir al incremento de la captación de divisas mediante la exportación de productos vegetales de buena calidad (Valadez, 1985).

Entre los diferentes tipos de granos producidos en el mundo los cereales son los mas importantes como fuente alimenticia del hombre; dentro de las gramíneas, el trigo ocupa un lugar primordial, y le siguen en orden de importancia el arroz, el centeno, la cebada, el maíz, el sorgo, el mijo y la avena (Flores, 2004).

Hoy en día, se elaboran mas alimentos a partir de las variedades modernas de trigo, que a partir de cualquier otro cereal (INIFAP, 2012).

#### **1.1.1 Origen**

Hace aproximadamente 10, 000 años esta hierba constituía la dieta básica de los grupos cazadores que habitaban Mesopotamia y las cuencas del Tigris y el Eufrates en Oriente Medio, área que se denomina comúnmente el Arco Fértil (Fig. 1). La cantidad de grano que la gente podía obtener de esta hierba les permitió formar aldeas sedentarias, marcando así el inicio de la agricultura moderna (INIFAP, 2012).



**Figura 1. Centro de origen del trigo. Fuente: CIMMYT, 2016.**

### **1.1.2. Producción mundial.**

El trigo es el segundo grano de mayor producción a nivel mundial después del maíz. Durante 2008-2010, la producción de trigo en EE.UU. superó la demanda de este grano lo que permitió un incremento en los inventarios y por ende una disminución en los precios del mismo. No obstante, a pesar de que en 2010 la producción de trigo se incrementó en EE.UU. respecto al ciclo anterior, la producción mundial presentó una caída importante derivado de las sequías en Rusia y a problemas climáticos en otros países, de esta manera, en 2010-2011 los inventarios de EE.UU. disminuyeron debido a que éstos se utilizaron para compensar la caída en la producción mundial (SAGARPA, 2011).

En diciembre 2016, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó que la producción mundial de trigo 2016/2017 será de 751.26 millones de toneladas, cerca de 6.54 millones de toneladas más de lo estimado el mes pasado, producción que un año antes fue de 735.49 millones de toneladas. Los 751.26 millones de toneladas estimados este año podrían significar un incremento de 15.77 millones de toneladas, equivalente a un 2.14 % en la producción de trigo alrededor del mundo. El principal productor en 2016 fue la Unión Europea (143, 974,000 t) seguida de China (128, 850,000 t), India (90,000,000 t) y Rusia (72,000,000 t) (Figura 2).

El USDA estimó una recomposición del mercado de trigo en el mundo debido al incremento en la producción y exportaciones de países del Medio Oriente. México se mantiene como exportador neto de trigo duro y como importador neto de trigo panificable. Del año 2008 al 2010, el 76 % de las importaciones mexicanas de trigo panificable provinieron de Estados Unidos, 24% de Canadá y el resto de otros países. Las exportaciones de México de trigo cristalino oscilan entre 500,000 y 1,5 millones de toneladas por año agrícola (SAGARPA, 2011).

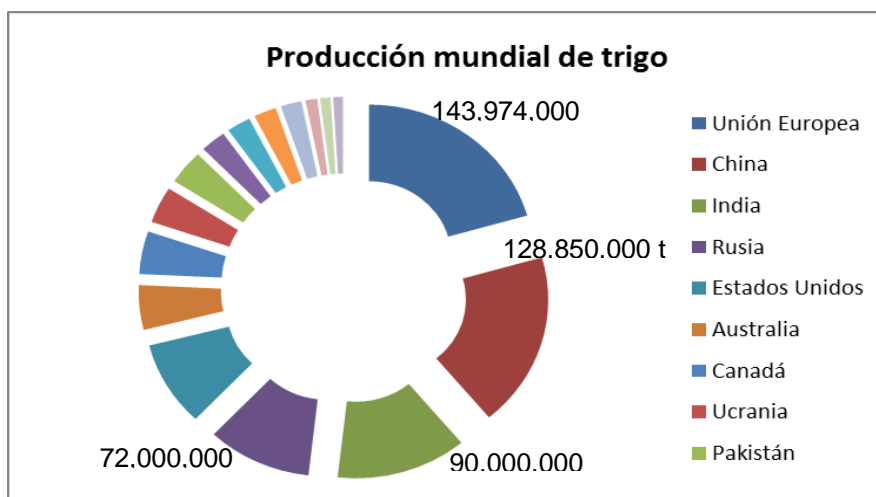


Figura 2. Producción mundial de trigo. Fuente: USDA 2015.

### 1.1.3 Producción nacional.

En México el trigo se cultiva principalmente en el ciclo OI, debido a que es altamente dependiente de condiciones climáticas templadas y necesita una gran disponibilidad de agua para su riego. Los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Zacatecas, Tlaxcala, Chihuahua y Michoacán aportan aproximadamente el 80% de la superficie cosechada de dicho grano. Más aún, Sonora produce aproximadamente el 50% de la producción nacional de este grano. El consumo nacional de trigo es de 6.6 mtm aproximadamente. Considerando una producción estimada de 4.2 mtm, se tiene que el 64% del trigo demandado es cubierto con producción nacional y el 36 % restante con importaciones. El aumento sostenido en la demanda sugiere que el trigo es un grano cada vez más usado y aceptado en la dieta de los mexicanos, además del maíz (SAGARPA, 2011).

El trigo de temporal que se produce a nivel nacional, alcanzó una cifra de 166 mil hectáreas con una producción de 242 mil toneladas, mientras que, en los estados



del Altiplano Central en los últimos años, la superficie sembrada con este cultivo ha alcanzado las 5 6 mil hectáreas en 2010 con una producción anual de 162 mil t y rendimiento promedio de 2.8 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2009).

Esta producción resulta atractiva ya que es obtenida cerca de los sitios de mayor consumo y de procesamiento de este cereal; por lo que es importante considerar que en el Altiplano Central existen condiciones de clima y suelo que permite producirlo en forma rentable en poco más de 300 mil hectáreas (Turrent *et al.*, 1992).

#### **1.1.4 Mejoramiento genético.**

El trigo de temporal es afectado por problemas bióticos que demeritan su rendimiento y, además, con el tiempo las variedades liberadas se vuelven susceptibles a enfermedades, principalmente a la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f sp. *tritici*) y de la hoja (*Puccinia triticina*); esto se debe a que estos patógenos presentan gran variabilidad de razas fisiológicas en México (Huerta y Singh, 2000), además de las nuevas razas que rompen la resistencia de las variedades (Singh *et al.*, 2004).

De acuerdo a Villaseñor y Espitia (2000), en los ambientes donde se cultiva trigo de temporal en nuestro país se presenta inconsistencia de resultados debido a los contrastes entre sitios y años, por ello entre las estrategias de evaluación de generaciones de segregantes y variedades mejoradas se contempla la determinación de los entornos de producción, lo que permite generar información aplicable a otros ambientes con condiciones similares. De aquí que es preciso establecer ensayos en la mayor gama de ambientes para valorar el potencial de rendimiento y la estabilidad fenotípica de las variedades (Crossa, 1990).

Para determinar la estabilidad de las variedades se han generado diferentes metodologías, entre las que destacan la de Lin *et al* (1986), quienes mencionan que un genotipo es estable cuando éste presenta mínima varianza entre ambientes, y que el cuadrado medio de las desviaciones de regresión del genotipo en cuestión sea pequeño característica que fue destacada por Shukla (1972). Por ello los productores de trigo necesitan variedades que tengan buena productividad, calidad industrial, estabilidad y adaptación.

### **1.1.5 Climas para producción de trigo.**

De acuerdo a Ecocrop (2015), las condiciones óptimas para el desarrollo del trigo son: Temperatura optima de 15 a 23 °C, precipitación de 750-900 mm. Las condiciones ambientales más importantes para la etapa de floración del cultivo de trigo son la temperatura y la humedad relativa, la presión atmosférica, la luz UV, la radiación solar y la lluvia (Gilbert y Tekauz, 2000). Al presentarse enfermedades, el trigo responde acelerando su desarrollo hacia la madurez, se acorta la duración del período de llenado de grano y se reduce el rendimiento (Egli, 2004). El tizón de la espiga del trigo causado por *Fusarium graminearum*, es una enfermedad que se presenta durante la floración en condiciones templado-húmedo y que reduce el rendimiento y afecta la calidad del grano por micotoxinas. Para la predicción de Fusariosis de la espiga (TEF), las variables mas relevantes son la duración de la lluvia 7 días antes de la antesis, el número de horas que la temperatura está en el rango de 15 a 30°C durante los 7 días anteriores a la antesis, y el numero de horas en que la temperatura está entre 15 y 30°C con humedad relativa igual o mayor a 90% (De Wolf *et al.*, 2003). Del Ponte *et al* (2005) utilizaron un modelo que estima el desarrollo del TEF con base a un índice de infección que utiliza factores de tipo meteorológico, fenológico, densidad del inóculo y frecuencia de infección; el factor meteorológico considerado para la ocurrencia de infección consiste en la combinación de registros diarios de lluvia, humedad relativa promedio y temperatura media, con las horas de duración de humedad en la espiga con ventana de dos días previos y las siguientes restricciones: 1) dos días antes con lluvia mayor de 0.3 mm y humedad relativa promedio de 80 % o más, 2) un día antes con lluvia mayor a 0.3 mm y humedad relativa promedio igual o mayor a 80 %, antecedido o precedido de un día no lluvioso con humedad relativa promedio igual o mayor a 85%.

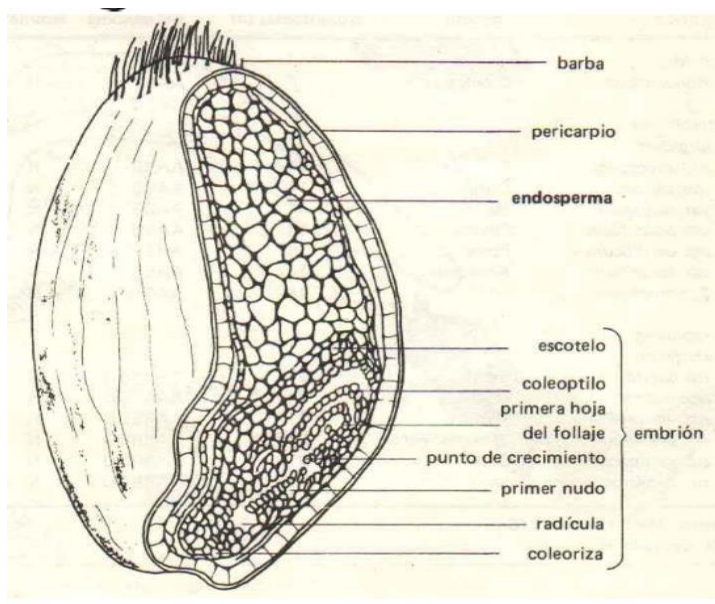
### **1.1.6 Semilla.**

Hay diferentes definiciones de semilla: ovulo maduro fecundado, estructura vegetal que da origen a una planta, unidad de diseminación de la especie, etc. Para efecto de la tecnología de semillas se considera como la unidad básica de vida. Un embrión o parte de la planta que dará origen a una planta de características superiores (mejorada), que proporcionará una ventaja adicional a las variedades existentes. La semilla como grano representa la mas importante fuente de alimento del hombre;

llega a tal grado su importancia que muchas naciones miden su riqueza de acuerdo al volumen de grano que poseen (Flores, 2004).

### 1.1.6.1 Estructura de la semilla de trigo.

El grano de los cereales es un fruto con una sola semilla, llamado cariósipide, en el cual el tegumento o testa del fruto se encuentra adherido a la semilla (Figura 3). Mientras el fruto madura, el pericarpio (paredes del fruto) se adhiere fuertemente al tegumento. El pericarpio, las envolturas del grano y las células de aleurona forman lo que industrialmente se conoce como salvado (Pasarella y Savin, 2003).



**Figura 3. Anatomía de la semilla de trigo.**

La fertilización del ovulo da lugar a dos tejidos diferentes, el embrión y el endospermo. El endospermo ocupa cerca del 80-90% del peso seco del grano en madurez y representa el principal tejido de almidón y proteína, en cambio, el embrión, representa un pequeño porcentaje del peso seco total del grano, menor al 2% (Egli, 1998). El embrión se diferencia en un eje embrionario (que posteriormente da lugar a la plántula) y un solo cotiledón (escutelo), que contiene algunas reservas, pero también funciona como una fuente de enzimas para la digestión del almidón y las proteínas del endospermo durante la germinación (Pasarella y Savin, 2003).

### 1.1.6.2 Tipos de infección de una semilla.

Existen tres tipos de infección. a) Indirecta: infección vía parte de la flor o del fruto hacia el ovario; b) Directa: invasión sistémica vía tejido de la planta madre hacia el embrión y, c) Indirecta: infección sistémica vía estigma hacia el embrión.

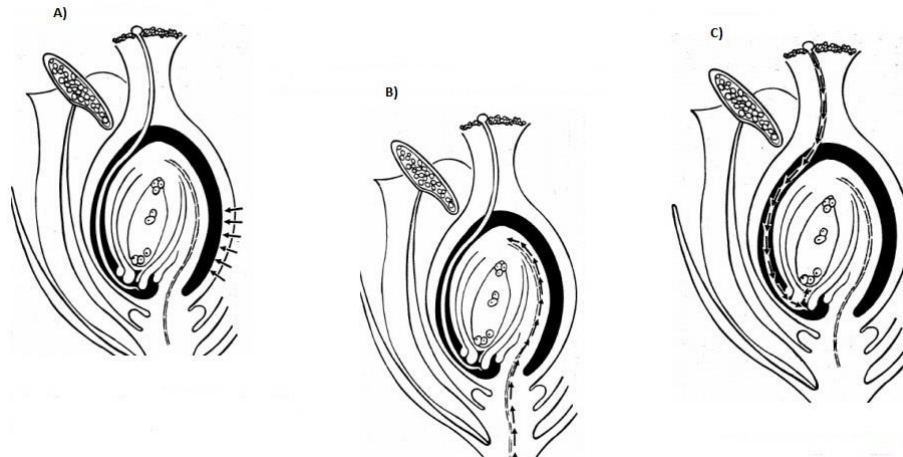


Figura 4. Tipos de infección en semillas, tomada de Maude, 1996.

### 1.1.7 El clima y la germinación de semilla.

De acuerdo a McDonald *et al* (1989), la obtención de buenas plantaciones es esencial para maximizar el potencial de rendimiento de los cultivos. Después de plantar semilla de alta calidad, muchos factores ambientales interactúan para determinar la capacidad de la semilla para germinar y emerger del suelo. Uno de los factores primarios es el acceso a la humedad para la semilla. Las semillas de diferentes especies tienen distintos rangos de temperatura dentro de los cuales germinan. La temperatura más deseable para la semilla alcanza su máximo porcentaje de germinación con el tiempo; esta es conocida como la temperatura óptima. Las temperaturas mínima y máxima de germinación son respectivamente las más bajas y más altas a las que todavía ocurre la germinación. Las semillas de algunas especies germinan mejor bajo condiciones de temperatura alterna diurna; por ejemplo, entre una temperatura baja y una temperatura elevada durante un periodo de 24 horas; aunque todavía no se sabe porque las temperaturas alternas superiores tienen mejor efecto para la germinación que algunas especies, se sugiere que la temperatura baja constante en algunas especies, la especulación sugiere que la baja temperatura puede estar creando cambios fisiológicos, como el

equilibrio del promotor inhibidor para favorecer al promotor. Muchos factores asociados con la temperatura influyen en la germinación, y por ello en cada especie es necesario determinar la temperatura media de germinación y examinar cómo las diferencias en el vigor de los cultivares y las semillas pueden modificar esta respuesta.

## **1.2 Relación huésped parasito.**

Valadez (1985) menciona que la relación del parasito con la planta puede ser de tipo sistémico o local; lo cual responde al tipo de infección que llega a ocasionar el patógeno. Cuando la infección es de tipo sistémico, el organismo vive en la planta durante toda su vida, ejemplo de éste tipo de infección lo representa la especie de *Ustilago* que causa el tizón suelto del trigo y de la cebada, y *Helminthosporium graminearum* que produce la roya de la cebada. En la infección de tipo sistémico; por ejemplo, las esporas *U. nuda*, que ataca a la cebada, viven primeramente en el escutelo de la semilla infectada, la que cuando se siembra y germina se reanuda también el desarrollo del micelio y este crece igual que los tejidos de crecimiento, produciendo eventualmente esporas en las partes florales antes de que se formen las espigas. La infección no sistémica, o sea la de tipo local se encuentra también representada en los cereales y gramíneas; en este caso la infección primaria de las semillas en desarrollo se produce en la etapa floral y al principio de la maduración de las semillas. La infección secundaria de las mismas, ocurre un poco mas tarde; las semillas infectadas son más o menos escamosas y esta característica se debe a los manojos de micelio que crecen en las cubiertas de la semilla. Las semillas más gravemente infectadas se contraen y cambian a un color café claro.

### **1.2.1 Importancia de los patógenos de semilla.**

De acuerdo a Basra (1995), las semillas que transportan agentes de enfermedades de las plantas son importantes en la agricultura porque: a) Las semillas infectadas pueden no germinar o ser de bajo vigor; de esta forma la disminución resultante en la población de plántulas puede conducir a menos plantas adultas con una reducción en el rendimiento del cultivo, b) La semilla infectada representa puede ser una fuente de inóculo que, en condiciones ambientales adecuadas, puede introducir la enfermedad en un cultivo sano y reducir así el rendimiento. c) Las semillas que llevan agentes patógenos pueden introducir estos agentes en áreas geográficas que

están libres de ellos y, d) Las semillas que están infectadas con hongos o bacterias, aunque hayan sido tratadas con un fungicida o bactericida, todavía pueden llevar microorganismos viables y causar uno o más de los resultados antes mencionados (Kulik y Schoen, 1977)

De acuerdo a Valadez (1985), la semilla representa el vehículo seguro y eficiente de transmisión en tiempo y espacio, en lo cual han observado tres tipos de asociación entre la semilla y los patógenos: acompañamiento, transporte externo, y transporte interno.

#### **1.2.1.1 Acompañamiento.**

El patógeno de una forma independiente acompaña a la semilla hospedante pero no la ataca; por ejemplo: *Sclerotinia sclerotiorum* y *Claviceps purpurea* en semillas de centeno; *Puccinia malvacearum* en malva hortense (*Altha rosea*); *Angina tritici* en trigo, *Ditylenchus dipsaci* en alfalfa; *Plasmodiophora brassicae* en semilla de nabo y Virus del Mosaico del Tabaco en diferentes hospedantes.

#### **1.2.1.2 Transporte externo.**

El patógeno es acarreado pasivamente sobre la semilla hospedante; por ejemplo: *Rhizoctonia solani* en pimienta; *Puccinia cartami* en cártamo; *Corynebacterium fascians* en chícharo; nematodos como *Ditylenchus dipsasi* en alfalfa y cebolla.

#### **1.2.1.3 Transporte interno.**

El patógeno es acarreado internamente, en forma de estructuras fructíferas embebido en el tejido de la semilla hospedante; como en la cubierta, cotiledones y embrión; por ejemplo: picnidios de *Septoria apiicela* en apio, y de *Phoma lingani* en col; oosporas de *Phytophthora phaseoli* en frijol, clamidiosporas de *Tilletia caries* en trigo; *Xanthomonas campestris* en col; larvas de nemátodo como *Anguina tritici* en trigo, *Ditylenchus dipsaci* en compuestas; virus del mosaico de la lechuga en lechuga, y semillas de frijol con Virus del Mosaico Común el frijol.

### **1.2.2 Impacto del clima en la distribución de hongos en semillas.**

Las plantas, así como las enfermedades infecciosas, son distribuidas generalmente de acuerdo a las condiciones climáticas. Las enfermedades que causan manchas de hojas, mildius vellosos, pudrición de tallo y pudrición de raíz prevalecen usualmente bajo condiciones de humedad. Las condiciones climáticas en campo favorables para el hongo patógeno de semilla usualmente resultan en un incremento del inoculo de la semilla. Pocos hongos patógenos de semillas están presentes en zonas áridas y semiáridas, mientras que están presentes en abundancia en regiones lluviosas. Mildius polvorientos predominan en áreas poco lluviosas y no están presentes cuando las lluvias son mayores. *Alternaría* y *Cercospora* prevalecen en partes lluviosas de un país, pero están ausentes en lugares de clima seco. Las manchas son menos dependientes de la humedad porque son sistémicas, y están bien protegidas dentro del hospedante. Esto ilustra que las infecciones sistémicas, incluyendo manchas de *Fusarium* y manchas de *Verticillium*, son comunes bajo condiciones de clima seco; por otra parte, las infecciones parenquimatosas requieren altos niveles de humedad, tales como manchas foliares y mildius vellosos.

### **1.2.3 Principales grupos de patógenos transmitidos vía semilla.**

Según Valadez (1985), los grupos patógenos que infectan e infestan semillas son hongos, bacterias, virus, bacteriófagos, micoplasmas y nemátodos:

#### **1.2.3.1 Hongos.**

Es el grupo de patógenos más estudiado. Pueden encontrarse presentes en forma vegetativa, como micelios dentro de la semilla, o en el exterior de la misma en forma de esporas. Algunos hongos que se transmiten interiormente en forma de micelios, producen enfermedades que se propagan por las semillas, tales como antracnosis del frijol, el ascochyta de los chicharos y la podredumbre de la raíz en maíz debida a *Diplodia*. La presencia de estos hongos en la semilla depende de su capacidad de supervivencia bajo las condiciones extremas a las que se enfrentan las propias semillas al ser transportadas de un lugar a otro. Algunos de estos hongos pueden vivir bajo condiciones de deshidratación dando lugar a dos grupos ecológicamente distintos: hongos hidrofílicos y hongos xerofílicos.

#### **1.2.3.1.1 Hongos hidrofílicos.**

De acuerdo a Neergaard (1977), están representados por los “mildius”, no pueden producir esporas de reposo, como oosporas y si lo hacen, ocurre escasamente, dependiendo así de una humedad constante en el ambiente para su dispersión. La sobrevivencia de estos depende de la longevidad del micelio y de como este puede ser protegido dentro de los tejidos de las semillas. Regularmente la transmisión de mildius en semillas puede ocurrir cuando oosporas tolerantes a la desecación son albergadas en o sobre la semilla, como ocurre en *Peronospora manshurica* en soya. Otros mildius pueden sobrevivir en residuos de plantas en las cuales las oosporas tienen mayor probabilidad de establecerse que en las semillas en desarrollo. Los residuos pueden ser mas o menos un vehículo efectivo cuando acompañan a la semilla, por ejemplo, *Sclerophthora macrospora* en pasto y avena. Otra posibilidad es el establecimiento de micelio semitolerante a la deshidratación o latente dentro de la semilla, como *Phytophthora parasítica* var. *sesami* en el embrión de *sesamum orientale*; donde el hongo sobrevive al menos por cuatro meses, tiempo suficiente para asegurar la transmisión. El micelio latente de mildius en semillas es una forma crítica de sobrevivencia principalmente por las bajas tasas de transmisión por este medio.

#### **1.2.3.1.2 Hongos xerofílicos.**

Según Neergaard (1977), estos hongos resisten a la desecación produciendo abundantes clamidiosporas, conidios resistentes a la sequía y estructuras latentes como micelios, esclerosios y microesclerosios, los cuales germinan inmediatamente al ser provistos de humedad; algunas de estas estructuras son comunes en cereales y pastos, como por ejemplo estructuras reproductoras de *Alternaria*, *Cercospora*, *Curvularia*, *Drechslera* y *Stemphylium*. La mayoría de los conidios tolerantes a la sequia entran en quiescencia si la humedad relativa permanece demasiado baja para la germinación, usualmente abajo del 80%. Las clamidiosporas son hifas con paredes gruesas que se forman bajo condiciones ambientales adversas y exceso de nutrientes. Los conidios, clamidiosporas, y micelio latente germinan inmediatamente cuando es provista de suficiente humedad. Un periodo de post-maduración no es necesario para su germinación. Las diferencias en la longevidad del hongo en semillas almacenadas dependen esencialmente de su capacidad para



soportar una larga desecación. El micelio latente alojado en los tejidos de semilla sobrevive más tiempo que los conidios de superficie.

### **1.2.3.2 Bacterias.**

En orden de importancia, el segundo grupo de patógenos transmitidos vía semilla son las bacterias. La ocurrencia de bacterias patógenas sobre, dentro o acompañando a la semilla, no aseguran su transmisión, ya que los ambientes variados y factores inherentes a la semilla pueden afectarlas; por ejemplo, el tiempo de supervivencia de las bacterias en la semilla puede ser variable, ya que algunas logran sobrevivir más tiempo que la viabilidad misma de la semilla; otras mueren antes y otras más sobreviven más allá de la germinación. Un ejemplo de estos lo constituye *Corinebacterium flaccumfaciens* que logra sobrevivir por 5 a 24 años en semillas de frijol y de otras legumbres, dependiendo de las condiciones ambientales del almacenamiento al que se encuentran sujetas las semillas; después de ese tiempo la bacteria puede perder patogenicidad, aunque no de forma generalizada. La temperatura es otro factor que influye en la conservación y supervivencia de las bacterias; por ejemplo *Xanthomonas phaseoli* y *Corinebacterium flaccumfaciens* que han permanecido en semilla de frijol conservadas durante 15 años a una temperatura de 20 a 35 °C, pero no en forma viable; los hospedantes que son perennes, por tener la capacidad de propagarse vegetativamente, facilitan que la bacteria sobreviva infectando los tejidos, como por ejemplo *Corinebacterium sepedonicum* en papa; sin embargo, en hospedantes anuales, la dispersión de la bacteria depende de la transmisión por semilla.

Algunas de las enfermedades más comunes ocasionadas por bacterias que se encuentran dentro de la semilla son la podredumbre negra de la col y los tizones bacterianos del frijol, mientras que la enfermedad bacteriana del chícharo es producida por bacterias adheridas exteriormente.

### **1.2.3.3 Virus.**

El tercer grupo de patógenos transmitido por semillas es el de los virus. Los virus son cuerpos ultramicroscópicos que se encuentran presentes en los jugos de las plantas y pueden transmitirse a plantas sanas a través de las semillas; por ejemplo,

los virus que ocasionan los mosaicos de la alfalfa, trébol rojo, trébol blanco, lechuga, pepino y frijol, principalmente; sin embargo, también tienen la capacidad de transmitirse por otras vías como son: transmisión simple por insectos, ácaros, nematodos, hongos, bacterias, fanerógamas parasitas y tejidos injertados. Todos estos mecanismos de transmisión viral pueden o no estar asociados directamente a la semilla, ya que algunos hongos como *Phytophthora* y *Olpidium brassicae* presentes en semillas de lechuga y chile, respectivamente, se han relacionado con la virosis de la lechuga y de la hoja china en Chile. Para el caso de las bacterias se ha observado que *Xanthomonas phaseoli* funciona como vector del virus del mosaico común en el frijol. Algunos nematodos formadores de agallas en las semillas son transmisores de una gran cantidad de virus que son diseminados en una gama considerable de hospedantes. La transmisión por insectos o ácaros se puede presentar directamente en el campo de producción, o bien, por medio de huevecillos o larvas asociadas a las semillas en esta etapa o durante el almacenamiento. Para los casos de las fanerógamas parasitas, como *Cúscuta* y el de tejidos injertados, se tiene reportado en el primer caso, el mosaico amarillo del trébol y el virus de la alfalfa, y para el segundo caso, el virus de la quemadura del aguacate y el de la Psorosis y Xilopsorosis de los cítricos. Finalmente, la transmisión simple involucra de forma general rompimientos en la planta o semilla hospedante ocasionada por mano de obra, implementos, ropa de campo, etc.

#### **1.2.3.4 Bacteriófagos.**

Otro grupo de organismos que se transmiten por semilla son los bacteriófagos; su ocurrencia en los hospedantes probablemente ocasiona un desarrollo de la epidermis semejante al causado por las bacterias ya que estas funcionan a la vez como vectores de los bacteriófagos. Se ha demostrado la presencia de bacteriófagos activos en semillas de frijol infectadas con *Xanthomonas phaseoli* y *Pseudomonas phaseolicola*; así mismo se han aislado fagos de *P. atrofaciens* en muestras de semilla de trigo, cebada, arroz, avena y otros cereales de origen canadiense. La asociación del bacteriófago con su bacteria hospedante en la semilla puede esperarse que tenga influencia en una etapa de la transmisión por medio de ésta, y una futura dispersión del patógeno. Las investigaciones realizadas al respecto indican que la transmisión de bacteriófagos se lleva a cabo a través de la semilla; sin embargo, no ha sido comprobado ni hay mucha información acerca de

la longevidad de estos en la semilla durante el almacenaje. Puede especularse que las partículas de los fagos están preservadas en las células bacterianas que infectan, pero en un momento dado también están sujetas a un rápido secado debido a cambios ambientales. Estos bacteriófagos pueden activarse simultáneamente con las bacterias cuando la semilla se siembra, ya que la bacteria se multiplica y por lo tanto los fagos también.

#### **1.2.3.5 Micoplasmas.**

Recientemente se ha descubierto una nueva categoría de patógenos de plantas en *Petunia*. Esta planta con síntomas de amarillamiento presentaba una gran cantidad de microorganismos en el floema que eran muy parecidos a los micoplasmas reportados en animales. Los micoplasmas vegetales se encuentran únicamente en el floema, aunque algunos han sido localizados intracelularmente; pueden llegar a las hojas y producir amarillamiento en dos semanas. Algunos de estos organismos son transmitidos por semilla, principalmente en el embrión, y es poco probable que sean transmitidos como contaminantes de la semilla de alguna otra forma.

#### **1.2.3.6 Nemátodos.**

Los nematodos son organismos microscópicos que se reproducen por medio de huevos y pueden vivir dentro de las semillas, dando lugar a su transmisión por esta vía. En la familia Tylenchidea hay dos géneros que son transmitidos por la semilla: *Anguina* y *Ditylenchus*; en la familia Aphelenchoidea se encuentra *Aphelenchoides* y *Rhadinaphelenchus*, y en la familia Heteroderidae se encuentra a *Heterodera*, como ejemplos más comunes. Los nemátodos pueden ser transportados de tres maneras: a) en forma de larva en granos de cereales y pastos, en las cavidades más pequeñas de las semillas, en particular en la región del hilio (*Aphelenchoides* y *Ditylenchus*) o en lesiones de la semilla (*Ditylenchus*); b) pueden ser llevados con la semilla en residuos de plantas, cuando la planta madre ha sido afectada (*Ditylenchus*); c) la tercer forma es cuando los nematodos están mezclados con la semilla (*Anguina*) o en el suelo con la semilla (*Heterodera*).

## **1.2.4 Los patógenos que afectan la semilla.**

### **1.2.4.1 *Fusarium***

*Giberella zeae* (*Fusarium graminearum*) causa la roña o tizón de la espiga (TEF) (Wiese, 1977). TEF es un problema importante en la producción de trigo en zonas templadas y semitropicales (Gilchrist, 2000), por la reducción del peso de los granos y el rendimiento (Nicholson *et al.*, 2007), así como la contaminación en los granos, producida por la presencia de micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON) (Kock *et al.*, 2006). Los granos infectados están llenos de micelio y la superficie de las florecillas totalmente cubiertas por micelio blanco (Wiese, 1977). Los granos de las espigas enfermas con frecuencia son arrugados. El grano cosechado que tenga más del 5 % de granos infectados puede tener toxinas suficientes para ser nocivo al hombre y los animales (Prescott *et al.*, 1986). En las regiones semiáridas o menos húmedas se logra un menor porcentaje de infección o contaminación en los lotes de semilla. Frederiksen & Evans (1974) estudiaron enfermedades de sorgo y encontraron que la mayoría de las enfermedades de semilla ocurren en la misma frecuencia y severidad en regiones subtropicales y tierras bajas tropicales en verano. Esto indica, que quizá la humedad es más importante que la temperatura en determinar la distribución y severidad de estas enfermedades. La ocurrencia de patógenos en semilla producida en una región definida puede fluctuar considerablemente año con año, reflejando la variación anual de las condiciones climáticas. Semillas cosechadas en años húmedos son más frecuentemente y severamente infectados que aquella producida en años secos. La infección por *Fusarium graminearum* también es favorecida por un clima cálido (temperatura entre 10-28) y húmedo, durante y después de la formación de la espiga. La infección primaria se propaga de una florecilla a otra, mediante el desarrollo de micelio a través de la estructura de la espiga (Prescott *et al.*, 1986). Las florecillas, especialmente las glumas exteriores, se oscurecen poco tornándose aceitosas.

De acuerdo a Flores e Ireta (2000), *Fusarium graminearum* Schwabe se presenta cada ciclo de cultivo con un fuerte efecto reductivo sobre el rendimiento, por lo que es necesario identificar la naturaleza de la interacción hospedero-patógeno-ambiente para una mejor toma de decisiones en el manejo del cultivo. Bajo condiciones meteorológicas favorables en la etapa de floración, el hongo esporula y los conidios son dispersados por el viento o por el salpique de las gotas de lluvia

o insectos presentes en las plantas de trigo (Goswani y Kistler, 2004). El proceso de infección es más crítico durante la primera mitad del período de llenado de grano y disminuye después de la etapa de grano masoso, aunque las diferencias en susceptibilidad entre las etapas fenológicas probablemente sean debidas a la variedad, la temperatura del aire, humedad relativa, al desarrollo del inóculo o a las condiciones de la planta al momento de la penetración (Flores *et al.*, 2007). En el ciclo de vida de *F. graminearum* los residuos del cultivo tienen una función importante en su sobrevivencia, pues persiste en forma de micelio o formando peritecios sobre las espigas de trigo infectadas, en los residuos de maíz (*Zea mays* L.) o sobre los tallos de maíz o trigo (Champeil *et al.*, 2004).

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

Los síntomas aparecen en la espiga a temperaturas de 14, 20, 25 a 30°C con saturación de humedad. Los macroconidios en la espiga se presentan en 12, 5 y 3 días, respectivamente. En condiciones de humedad continua y prolongada se observa una masa rosada de esporas y los granos infectados se deforman y arrugan (Del Ponte *et al.*, 2004). La inoculación de *F. graminearum* en diferentes variedades, produjo los síntomas visuales más intensos a 16°C que a 20°C, aunque las mayores pérdidas de rendimiento se observaron a 20°C (Brennan *et al.*, 2005). La temperatura óptima para la producción de peritecios es en el rango de 15 a 28.5°C y la producción de ascosporas de 25 a 28°C. La descarga de ascosporas es entre las 16 horas y la media noche, en un rango de 600 a 9000 ascosporas m<sup>-3</sup>, en el rango de temperaturas de 11 a 30°C y valores de humedad relativa de 60 a 95%.

La temperatura óptima para la producción de macroconidios fue de 28 a 32°C, pero decreció abruptamente debajo de los 16°C y arriba de los 36°C (Gilbert y Tekauz, 2000). Neergaard (1977) menciona que en semillas es más frecuente encontrar hongos en su estado imperfecto y solo raramente se presenta su estado perfecto.

En México es limitada la disponibilidad de información meteorológica con la precisión requerida para predecir la incidencia del TEF. En la simulación del riesgo de infección de TEF en trigo, Del Ponte *et al* (2005) utilizaron el índice FHB (*Fusarium* head blight) producto del porcentaje de la incidencia y severidad de *Fusarium* en espigas de trigo. Este mismo índice fue utilizado por Moschini *et al* (2001) para predecir FBH en trigo en la región norte de las Pampas Argentinas, mientras que Moschini *et al* (2002) estimaron el progreso del FHB con base en información meteorológica utilizada en modelos empíricos.

Incidencias promedio de 46.6% de espigas afectadas y una severidad de 33% de espiguillas destruidas han ocasionado pérdidas en Argentina (Kohli, 1989). De acuerdo a Kohli (1989), las pérdidas fluctúan entre el 10 y el 100% en base a las prácticas culturales y condiciones climáticas. Las pérdidas en calidad de grano se correlacionan con la severidad de la enfermedad y estado de desarrollo de la planta (Prescott *et al.*, 1986).

Bayfidan combinado con Captafol y Direne son efectivos contra varios hongos entre ellos *F. graminearum* (Hombreher, 1986). También Prochloraz y Propiconazol controlan las enfermedades foliares del trigo e incrementan el rendimiento en 2.1 ton/ha con el Prochloraz y 0.7 tn/ha al aplicar Propiconazol en la variedad verano S91 (Leyva y Villaseñor, 1992).

#### **1.2.4.2 *Helminthosporium* sp.**

Cinco especies del genero *Helminthosporium* son patógenos importantes en el cultivo de cereales y están distribuidos ampliamente en todo el mundo. Estos hongos siguen en importancia a las royas por ser muy destructivos en los cultivos. Varios tipos de lesiones foliares, tales como tizones, rayados, manchas y decoloraciones son causados por la mayor parte de las especies. Algunas de ellas causan también tizón o marchitez de plántulas, así como tizones en la espiga. Las estructuras asexuales de fructificación se desarrollan sobre la superficie de los tejidos de las plantas a partir del micelio intracelular. Las especies dentro de este grupo pueden identificarse principalmente por las características de sus conidios, los cultivos que infectan y los síntomas que producen (Zillinsky, 1984).

El daño por *Helminthosporium* se presenta en zonas templadas, cuando hay periodos de al menos 18 horas de rocío o lluvias; las lesiones inician como pecas color café a bronceado que forman manchas lenticulares con bordes cloróticos, posteriormente coalescen secando de manera uniforme la hoja del ápice hacia la base, las manchas presentan un punto oscuro en el centro de la lesión (Prescott *et al.*, 1986).

Los granos se arrugan reduciendo el peso hectolítrico y con ello los rendimientos (Wiese, 1977). En Kenia en 1954, ha causado pérdidas por más del 75% en el rendimiento (Durrff, 1954). *H. tritici-repentinis* asociado con *Leptosphaeria avenaria* han causado pérdidas por reducción de producción de grano en un 12% en Estados Unidos (Hosfor y Buch, 1974).

Aplicaciones de thiofanato-metil más mancozeb a dosis de 2-2.5 kg/ha, thiofanato más Thiram redujo considerablemente la infección por *Helminthosporium* en Rumania (Dumitras y Bontea, 1982). El fungicida Prochloraz es recomendado cuando la infección es muy fuerte (Obst y Huber, 1988).

#### **1.2.4.3 Septoria.**

Hay cuatro especies pertenecientes al género *Septoria* que son patógenos importantes de los cereales de grano pequeño. Son la causa principal de varios tipos de manchas y necrosis foliares, dependiendo de la etapa de desarrollo del hospedante y de las condiciones ambientales, cualquier parte de la planta arriba de la superficie del suelo puede ser infectada. Las enfermedades causadas por *Septoria* sp. se presentan en todas las regiones productoras de cereales del mundo (Zillinsky, 1984).

*Septoria tritici* necesita temperaturas bajas para su desarrollo, su incidencia es fuerte durante el invierno. *Septoria nodorum* por su parte requiere temperaturas altas por lo que su mayor incidencia es en primavera (Alvarado, 1976). El clima fresco (10-15 °C), días nublados y húmedos favorecen el desarrollo de la enfermedad (Prescott *et al.*, 1986).

De acuerdo a Alvarado (1976), *Septoria tritici* afecta principalmente hojas, aparece en las primeras fases de desarrollo del trigo, comenzando a infectar las hojas inferiores, y posteriormente las hojas superiores e incluso espigas si el ataque es muy fuerte. En hojas los daños se manifiestan como manchas ovaladas color pardo rojizo desde los primeros estados de desarrollo del trigo. En el centro de las manchas se observan puntos negros llamados picnidios. *Septoria nodorum* produce lesiones en forma lenticular en las hojas y manchas rojizas en el ápice de las glumas.

Los daños que produce *Septoria* spp. dependen de su intensidad y de los órganos afectados. El ataque a las hojas puede llegar a producir la pérdida de las mismas, reduciendo la capacidad fotosintética (Mendoza y Pinto, 1985). Las semillas se deshidratan, disminuyendo el peso hectolítrico cuando la incidencia es alta (Prescott *et al.*, 1986).

*Septoria tritici* y *Septoria nodorum* son los factores que limitan la producción de trigo en Gran Bretaña (Jenkin y Morgan, 1969). En 1982. Se reportó en Inglaterra a *Septoria tritici* y *Septoria nodorum* con una incidencia de 31 y 53% respectivamente, causando en conjunto pérdidas por nueve millones de toneladas, equivalente a un millón de dólares (Eyal *et al.*, 1987). En estudios realizados entre la correlación de la incidencia y el rendimiento, se determinó que con un 50.9 % de incidencia, hay pérdidas de grano en un 16.1 % (Gheorghuies, 1976).

La transmisión de enfermedades por semilla está demostrada. En un estudio realizado en Pensilvania se aisló el hongo *Septoria* de semilla y este produjo picniosporas atípicas. Las plántulas en desarrollo de estas semillas infectadas mostraron una decoloración café en la base del coleoptilo (Halfon y Kulik, 1977).

El tratamiento a la semilla es efectivo cuando el inoculo o la primera infección provienen de la semilla, pero es inefectivo cuando el suelo está altamente infectado (Luke, 1985). Tratamientos con Thiram al 0.5% y oxiclورو de cobre al 0.5% aplicados a semilla de trigo no afectaron la germinación en pruebas realizadas en laboratorio en la India (Dhindsa, 1994).



Los ditiocarbamatos (Maneb, Mancozeb, Manzate y Zineb) aplicados con intervalo de 10 a 14 días, con 3 o 4 aplicaciones durante la temporada son eficientes para combatir las enfermedades causadas por *Septoria* spp. (Eyal *et al.*, 1987). Por otra parte, el fungicida Captafol, es el más utilizado para combatir el tizón de la gluma, aplicado en el espigamiento, cuando ha emergido el 75% o más de las espigas, además es recomendado para el tizón de la hoja (Mielke y Ahlf, 1985). *Septoria nodorum* es controlada eficazmente mediante Captafol aplicado con Triadimefon en las tres etapas sucesivas: antes de la aparición de la hoja bandera, en embuche y en el espigamiento; *Septoria tritici* se ha recomendado aplicarlo solo en dos etapas, cuando está emergiendo la espiga y en pleno espigamiento. Dichas aplicaciones incrementan el rendimiento en 47 y 68% respectivamente (Dannenberg y Evermeyer, 1989).

Los fungicidas sistémicos Benomyl, Prochloraz, Triadimefon y Propiconazol se han recomendado para el control de *Septoria nodorum* y *Septoria tritici* (Eyal *et al* 1987). Propiconazol aplicado en otoño, cuando ha emergido la hoja bandera y la espiga esta emergida reduce el daño por *Septoria tritici* (Sultom, 1985; Keltlewel, 1987). Se ha reportado resistencia al fungicida carbendazina por *Septoria tritici* y *Septoria nodorum* en Gran Bretaña en 1984 y 1985, por ello se recomienda la mezcla de fungicidas protectores y sistémicos (Sanderson, 1985).

#### **1.2.4.4 Alternaria.**

En todo el mundo se han establecido un gran número de especies del genero *Alternaria*. La mayor parte de las especies existen como saprofitos o patógenos de cultivos diferentes o patógenos de diferentes cultivos de cereales. Las colonias son de color gris oscuro a negras y se desarrollan a partir de micelio inmerso o parcialmente superficial. Las especies que causan manchas foliares desarrollan conidios solos o en cadenas grandes (Zillinsky, 1984).

#### **1.2.4.5 Tilletia**

Los carbones son ocasionados por *Tilletia caries* y *T. foetida*. Las esporas en estado de latencia en el suelo o sobre las semillas germinan e infectan las plántulas que emergen. La enfermedad se vuelve sistémica, con síntomas observables

después de la formación de espigas y puede producir pérdidas considerables del rendimiento cuando se cultivan variedades sensibles o no se emplean tratamientos químicos para las semillas (Prescott *et al.*, 1986).

*Tilletia indica* infecta durante la floración y causa el carbón parcial del trigo. El inoculo (teliosporas) que esta sobre el suelo o cerca de la superficie germina y produce esporidias que son transportadas por el viento a las estructuras de floración. Las esporidias germinan y penetran, y la infección se inicia cerca del embrión. El hongo se introduce en el grano recién formado y se desarrolla en el espacio intercelular entre el endospermo y el tegumento. Parte del endospermo es reemplazado por una masa de teliosporas negras y el pericarpio puede estar intacto o desgarrado (11). La enfermedad está incluida en la lista de cuarentena de muchos países (Zillinsky, 1984).

#### **1.2.4.6 *Ustilago tritici*.**

Las teliosporas que arrastra el viento caen sobre las flores de las plantas de trigo, germinan e infectan el embrión en desarrollo del grano. El micelio del carbón volador permanece en estado de latencia en los tejidos embrionarios del grano hasta que este comienza a germinar; entonces, el micelio se desarrolla paralelamente al meristemo de crecimiento de la planta y en la época de floración, reemplaza las partes florales de la espiga con masas de esporas negras (Zillinsky, 1984).

### **1.3 Calidad de semilla.**

Las características de calidad de semilla no pueden evaluarse examinando a simple vista un puñado de semillas, para ello muchos países han creado instituciones oficiales. La primera estación de ensayo de semillas del mundo fue creada en 1869 por Frnobbe, en Tharandt, Alemania. Por aquel entonces E. Möller-Holst, que ignoraba la existencia de este centro en Alemania creó una estación semejante en Copenhague-Dinamarca, la cual es considerada como la más antigua del mundo, aunque ambas comparten el honor de ser los padres del ensayo de semillas (FAO, 1961). Las características principales que determinan la calidad de una semilla son: Calidad genética, calidad física, calidad fisiológica y calidad sanitaria.

### **1.3.1 Calidad genética.**

Cuando empezó a desarrollarse el ensayo de semillas el término variedad era prácticamente desconocido y no se vendían las semillas más que bajo el nombre de la especie. Gracias a la fitogenética se han generado gran número de variedades mejoradas que ha hecho necesario el término de semilla de alta calidad (FAO, 1961). La calidad genética depende de su identidad y su pureza varietal. El resultado del trabajo del fitomejoramiento le confiere un valor agronómico a la variedad que se expresa en mayor rendimiento, mayor resistencia a plagas y enfermedades, mayor uniformidad, mayor rango de adaptación, y calidad específica en sus productos (Flores, 2004).

Los factores más importantes en el deterioro aparente y real de la calidad genética son: variaciones en el desarrollo, mezcla mecánica, mutaciones, cruzamiento natural, variaciones genéticas menores, influencia selectiva de enfermedades y la técnica del fitomejorador (Agrawal, 1980; Carballo 1993). De estos factores los más importantes son el cruzamiento natural, las mezclas mecánicas y la influencia de las enfermedades. La influencia selectiva de las enfermedades es cuando algunas variedades recientes resultan susceptibles a nuevas razas de enfermedades lo que obliga a eliminarlas de los programas de producción de semillas. En especies de reproducción vegetativa, ocurre un deterioro rápido por enfermedades causadas por virus, hongos o bacterias. De aquí la importancia de producir semilla libre de enfermedades (Carballo, 1993).

El componente genético en semillas se evalúa mediante pruebas de crecimiento en invernadero y campo, y mediante examen de características físicas y químicas (Flores, 2004).

### **1.3.2 Calidad fisiológica.**

Es lo que hace a una semilla ser una unidad biológica o unidad de reproducción, esto es, que sea viable, que tenga capacidad de germinación y eficiente establecimiento en campo (Flores, 2004).

Las condiciones de producción en campo referidas principalmente al medio ambiente y factores agronómicos utilizados afectan directamente al proceso de formación y desarrollo de la semilla, y por consecuencia su potencialidad fisiológica cuando es sembrada. Las pruebas utilizadas para evaluar el componente fisiológico en semillas son: *Germinación estándar*. Es el porcentaje por número de semilla pura que produce plántulas normales en el laboratorio e indica el potencial de un lote de semillas para establecer plántulas en condiciones favorables de campo. *Viabilidad*. Capacidad de la semilla para germinar y producir plantas normales. Se utiliza comúnmente para su determinación las sales de tetrasolium, que tienen la característica de reaccionar con tejido vivo (metabolismo activo) de la semilla. *Vigor*. Emergencia y establecimiento en campo bajo condiciones desfavorables. Evalúa el potencial de desarrollo y crecimiento de lotes de semillas en condición estándar de estrés recomendadas al cultivo; entre estas se tiene la prueba fría, de envejecimiento acelerado y otras, las que en ciertos casos estiman también el potencial de almacenamiento de semillas.

### **1.3.3. Calidad física.**

Este componente de calidad involucra diferentes características físicas que indican el grado de contaminación del lote, lo que refleja condiciones de producción en campo y la eficiencia de la cosecha. Muestra la efectividad de algunos procesos de acondicionamiento. Las características físicas que regularmente se determinan son:

**Pureza analítica o física.** Porcentaje de semilla intacta de la especie nombrada en la etiqueta. Libre de semilla de otra especie y de materia inerte.

*Pureza de especie.* Ausencia de semilla de otros cultivos, variedades o malezas. Indica grado de contaminación del lote.

*Ausencia de semillas de maleza.* Utiliza un tamaño de muestra diez veces mayor que el usado en pureza de especie. Indica condiciones de control de malezas en campo, mediante el grado en que el lote de semilla se encuentra libre de semilla de malezas.

**Contenido de humedad.** Es la cantidad de agua contenida libremente en la semilla y que se remueve por secado. Agua que puede evaporarse contribuyendo al deterioro del volumen de semillas confinado a un cargamento, almacén, o transporte.

**Tamaño de la semilla.** El tamaño real y uniforme está relacionado con la efectividad de las operaciones de acondicionamiento y el comportamiento posterior en campo, por ejemplo, en algunos trabajos se indica una correlación positiva entre el tamaño y vigor. El tamaño se refleja en la semilla chupada, de menor peso, menor dimensión y se asocia con deficiencias en la producción. El tamaño se determina por el peso volumétrico y peso de cien semillas. En la recepción de materia prima la semilla pequeña de la misma variedad puede entrar como impureza. El impacto que tiene controlar el tamaño como una característica de calidad es poder usar equipo de siembra de alta precisión, optimización de uso de semilla y densidad de plantación.

En general las pruebas recomendadas para evaluar las características indicativas de la calidad de una semilla están sujetas a normas, estándares y condiciones específicas establecidas por el ISSTA (International Seed Testing Association) o la AOSA (Association of Official Seed Analysis) que tratan de igualar los procesos de evaluación, buscando homogeneidad en metodologías para evitar que los resultados tengan desviación debido a factores no controlados.

#### **1.3.4 Calidad sanitaria.**

La finalidad de estos ensayos es determinar el estado sanitario de la semilla con relación a la presencia de microorganismos patógenos (hongos, bacterias, virus), los cuales pueden acompañar a la semilla (masas de esporas, cornezuelo en cereales), asociados a la superficie de la misma (capas de esporas de hongos de almacén) o portados internamente (*Ustilago nuda*). Las condiciones de producción en campo influyen en la sanidad de la semilla por lo que el control sobre elección de la región de producción y medidas preventivas contra el ataque de plagas y enfermedades debe practicarse desde el inicio de la programación del cultivo y conservarse en el proceso de acondicionamiento. La calidad sanitaria se detecta mediante la inspección de muestras, incubación de muestras, pruebas de

crecimiento, pruebas de inoculación y pruebas serológicas, principalmente. Con frecuencia se exige en las disposiciones fitosanitarias de los países importadores y es realizada por los servicios fitosanitarios o las estaciones de ensayo de semillas. La determinación del estado sanitario requiere un personal especializado dirigido por un fitopatólogo de experiencia acreditada, así como de un equipo especial. Sería muy conveniente que los laboratorios encargados de la determinación del estado sanitario trabajaran en coordinación con laboratorios que se dedican a otras determinaciones de la calidad para la certificación; esto debido a que hay patógenos que afectan el vigor o la viabilidad de las semillas (calidad fisiológica), y en general todos los tipos de calidad están ligados. El ISTA (International Seed Testing Association) creó un comité especializado para calidad fitosanitaria (FAO, 1961).

El análisis fitosanitario, con frecuencia se exige por los países importadores, y se requiere tomar en cuenta las disposiciones sanitarias correspondientes. Algunas enfermedades transmitidas por semillas tales como las ocasionadas por *Ustilago hordei* en cebada, *Polispora lini* en lino, *Tilletia* sp. en trigo, *Helminthosporium* sp. en avena, y otras muchas, son de gran peligro para la producción agrícola, por lo cual el ISTA ha elaborado algunos métodos para la detección de las semillas infectadas por las principales enfermedades de importancia agronómica (ISTA, 1976; Valadez, 1985).

### **1.3.5 Centros para el análisis de la calidad de semilla.**

El comercio internacional, que requiere la movilización de grandes volúmenes de semillas, evidencio la necesidad de una cooperación entre las estaciones de ensayo de semillas de los distintos países. Así, en 1924 fue creada la asociación internacional de ensayo de semillas (**ISTA**); en 1959 esta representaba 30 países del mundo, su lema es uniformidad en el ensayo de semillas. Para conseguirlo formuló unas reglas internacionales de análisis de semillas mismas que se aprobaron en 1931 y desde entonces se han revisado y modificado en base a los progresos alcanzados en la investigación y la tecnología de las semillas (FAO, 1961).

No es obligatorio que las estaciones oficiales de ensayos de semillas de los países miembros cumplan tales reglas, incluso aunque se trate de semillas destinadas al comercio internacional. Pero las estaciones que apliquen tales normas tienen derecho a expedir un certificado internacional de análisis de semillas. Las empresas semilleras han reconocido el valor de tales certificados que se emplean ahora en muchos países del mundo y cuyo uso aumenta año con año. Naturalmente cada país tiene sus propias normas nacionales para el ensayo de semillas, pero como se va generalizando el empleo del certificado internacional de análisis de semillas, muchos otros realizan sus ensayos de acuerdo a las reglas del ISTA (FAO, 1961).

En México, la dependencia encargada de normar y vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales en materia de semillas y variedades vegetales es el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (**SNICS**), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En coordinación con diversos organismos públicos y privados, instituciones de investigación y agricultores, las tres acciones estratégicas del SNICS contribuyen a salvaguardar y aumentar la producción y calidad de los productos agrícolas desde su origen, la semilla; estas son: 1. Verificar y certificar el origen y la calidad de las semillas. 2. Proteger legalmente los derechos de quien obtiene nuevas variedades de plantas, a través de un derecho de obtentor. 3. Coordinar acciones en materia de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (SNICS, 2016).

#### 1.4 Literatura citada.

Agrawal, R. L. 1980. Seed technology. Oxford & IBH. pp: 43-51.

Alvarado, C. M. 1976. Enfermedades del trigo. SARH. México.

Basra, A. S. 1995. Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press.

Brennan, J. M., Egan, D., Cooke, B. M., & Doohan, F. M. 2005. Effect of temperature head blight of wheat caused by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*. Plant Pathology. 54: 156-160.

Carballo, C. A. 1993. La calidad genética y su importancia en la producción de semillas. Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. SOMEFI. pp. 80-101.

Champeil, A., Doré, T., & Fourbet, J. F. 2004. *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of micotoxins by *Fusarium* in wheat grains. Plant Science. 166: 1389-1415.

Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. Advanee in Agronomy. 44: 55-85.

Dannenber, M. D. & Eversmeyer, M. G. 1989. Effect of timing of foliar fungicides on wheat disease control and yield increases. Plant disease. 73: 227-229.

De Wolf, E. D., Madden, L. V., & Lipps, P. E. 2003. Risk assessment models for wheat *Fusarium* head blight epidemics based on within-season weather data. Phytopathology. 93: 428-435.

Del Ponte, E. M., Fernández, J. M. C., & Pavan, W. 2005. A risk infection simulation model for *Fusarium* head blight of wheat. Fitopatología Brasileira. 30: 634-642.



Del Ponte, E. M., Fernandes, J. M. C., Pierobom, C. R., y Bergstrom, G. C. 2004. *Giberella* do trigo - Aspectos epidemiológicos e modelos de previsao. *Fitopatología Brasileira*. 29: 587-605.

Dhindsa, M. S., & Saini, H. K. 1994. Thiram protects sprouting wheat from house crows. *International Pest control*. 36(1): 10-12.

Dumitras, L. L., & Bontea, V. 1982. Data on the foliar parasite of wheat *Helminthosporium tritici-repentinis*. *Revista of Plant Pathology*. 61: 400.

Durff, A. D. S. 1954. A new disease in Kenia caused by species of *Pyrenophora*. *The East African Agricultural Journal*, 19(4): 225–229

Ecocrop. 2015. Ecocrop database. FAO, Rome, Italy.

Egli, D. B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB international, N. Y., USA. 178 p.

Egli, D. B. 2004. Seed-fill duration and yield of grain crops. *Advances in Agronomy* 83: 243-279.

Eyal, Z., Sharen, M. L., and Prescott, J. M. 1987. The *Septoria* diseases of wheat: concepts and methods os disease managent. Mexico, D. F: CIMMYT.

FAO 1961. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). Analítico: semillas agrícolas y hortícolas: producción, control y distribución. Estudios. pp 107-134.

Frederiksen, N., & Evans, F. R. 1974. Effects of models of creative performance on ability to formulate hypotheses. *Journal of Educational Psychology*. 66 (1), 67.

Flores, H. A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. Universidad autónoma Chapingo. pp 160.

Flores, L. H. E. e Ireta, M. J. 2000. Reducción del rendimiento en trigo de temporal por *Fusarium graminearum* Schw. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología A. C. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Resumen L-87.

Flores, L. H. E., Ireta, M. J., y Ruíz, C. J. A. 2007. Factores Meteorológicos Asociados al Tizón de la Espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en Trigo (*Triticum aestivum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología. 25 (2): 102-108.

Gheorghies, C. 1976. The economic importance and control of *Septoria tritici* Rob ex Desm on wheat. Lucrari Sfilintifice. 18/19 (23):33.

Gilbert, J., & Tekauz, A. 2000. Review: Recent developments in research on *Fusarium* head blight of wheat in Canada. Canadian Journal of Plant Pathology. 22: 1-8.

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.

Goswami, R. S. & Kistler, H. C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. Molecular Plant Pathology. 5: 515-525.

Halfon, M & Kulik. 1977. *Septoria nodorum* infection of wheat seeds produced in Pensilvania. Plant disease. Reporter. 61:867-869.

Hombreher, S. K. 1986. Progress in the control of cereal disease. Posnan Poland; Panstwowe wydawnictwo. 213-223.

Hosford, R. M. & Busch, R. H. 1974. Losses in wheat caused *Pyrenophora trichostoma* and *Leptosphaeria avenaria* f. sp. *Triticea*. Phytopathology. 64:184-187.

Huerta, E. J. y Singh, R. P. 2000. Las royas del trigo. In: el trigo de temporal en México. Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.) SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. 231-251 pp.

INIFAP, 2012. Liberación de variedades de trigo para el noroeste de México, 2012. Encontrado en <http://es.slideshare.net/CIMMYT/liberacin-de-variedades-noroeste-de-mxico>. Consultado 15 de enero 2017.

Jenkin, J. E. & Morgan E. W. 1969. The effect of *Septoria* disease on the yield of winter whet. *Plant Pathology*. 18: 152-156.

Kettlewell, P. S. 1987. Disease and grain quality of Avalon winter wheat in response to late-season applications of propiconazole fungicide. *Applied Biology*. 15: 403-411.

Kock, H. J., Pringas, C., & Maerlaender, B. 2006. Evaluation of environmental and management effects on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 24: 357-366.

Kohli, M. M. 1989. Taller sobre la fusariosis de la espiga en America del Sur (1987), Encarnación Paraguay. pag 4-5.

Kulik, M. M., & Schoen, J. F. 1977. Procedures for the routine detection of seed-borne pathogenic fungi in the seed-testing laboratory. *Journal of Seed Technology*.

Leyva, M. G. y Villaseñor, E. M. 1992. Evaluación de fungicidas para el control de enfermedades foliares en trigo en Juchitepec, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*.

Lin, C. S., Binns, M. R. & Lefkowitz, L. P. 1986. Stability analysis: where do we stand?. *Crop Science*. 26: 894-900.

Luke, H. H. 1985. Influence of soil infestation, Seed Infection, and Seed treatment on *Septoria nodorum*. Blotch of Wheat. *Plant Disease*. 69: 74-76.

Maude, R. B. 1996. Seedborne diseases and their control: principles and practice. CAB international.

Mendoza, Z. C. y Pinto C. B. 1985. Principios de fitopatología de enfermedades causadas por hongos. Chapingo, México.

Mielke, H. & Ahlf, M. 1985. Leaf spot of wheat information for integrated plant protection Pflanzenschutzdienstes. 37:143.

Ireta, M. J., Sosa, M. C., Romero, C. S., y Bekele, G. 1989. Estimación de las pérdidas en trigo (*Triticum* sp. L.) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). Agrocienca. 77: 89-102.

Moschini, R. C., Pioli, R., Carmona, M., & Sacchi, O. 2001. Empirical predictions of wheat head blight in the northern Argentinean pampas region. Crop Science. 41: 1541-1545.

Moschini, R. C., De Galic, M. T. V., Annone, J. G., y Polidoro, O. 2002. Enfoque fundamental-empírico para estimar la evolución del índice de *Fusarium* en trigo. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 31: 39-53.

McDonald, M. B., McDonald, L. O. M. B., & Copeland, L. O. 1989. Seed science and technology: laboratory manual.

Neergaard, P. 1977. Seed Pathology Vols. 1 The Mac Millan Press.

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

Obst, A. & Huber, G. 1988. Differences in efficacy profile of Desmel and Sportak against *Septoria* and *Helminthosporium* on cereal. Phytopathology. 40: 424-429.

Pasarella y Savin. 2003. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. UBA. pp 774.

Prescott, J. M., Burnett, P. A., Saari, E. E. *et al.*, 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D. F., México.

Rodríguez, C. M. E., Villaseñor, M. H. E., Leyva, M. G., Huerta, E. J., Sandoval, I. J. S., y De los Santos, P. H. M. 2008. Efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de trigo de temporal en ambientes lluviosos de los Valles Altos Centrales de México. *Agrociencia*. 42(4): 435-442.

SAGARPA. 2011. Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011-2020. Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios. Encontrado en [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios\\_economicos/escenario\\_base/perspectivalp\\_11-20.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenario_base/perspectivalp_11-20.pdf). Consultado 15 enero 2017.

Senasica 2013. Ficha técnica No. 24. Carbón parcial del trigo. Encontrado en: <http://www.cesaveson.com/files/8e9e55a8e29fbd650ee56b8a63f49334.pdf>  
Consultado 16 de enero 2017.

Sanderson, F. R. 1985. Diseases and pest. Effect of leaf spot *Septoria tritici* in autumn sown wheat crops N. Z. *Revista Applied Mycology*. 44: 183.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Anuario Estadístico de la producción Agrícola 2009. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). (consultado marzo, 2011).

Shukla, G. K. 1972. Some Statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity*. 29(2): 237-245.

Singh, R. P., Huerta, E. J., Figueroa, P. L. and Pfeiffer, W. 2004. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in the Northwestern Mexico during 2001-2002. *Plant Disease*. 87: 230-236.

SNICS, 2016. Encontrado en: <http://snics.sagarpa.gob.mx/somos/Paginas/quienes-somos.aspx>. Consultado el 15 de enero del 2017.

Sultom, J. C. 1985. Effectiveness of fungicides for managing foliar diseases and promoting yields of Ontario winter wheat. *Phytoprotection*. 66: 141-152.

Turrent, F. A., Moreno, G. R., Villaseñor, M. H. E., Alemán, F., Moreno, R. D., Aveldaño, R., y Salazar, A. 1992. Manual de diagnóstico y recomendación para el cultivo de trigo en el Estado de México. Chapingo, Estado de México. México, SARH, INIFAP, CEVAMEX. (Publicación especial Núm. 5). 136 p.

Valadez, M. E. 1985. Aspectos generales sobre patología de semillas. Memoria de la reunión nacional sobre la producción de semillas en México. SOMEFI. pp. 115-126.

Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. *In: el trigo de temporal en México*.

Wiese, L. 1977. Compendium of wheat diseases. The American Phytopathology Society. Pag. 112-113.

Zillinsky, F. J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño.

## Capítulo II. Determinación y frecuencia de hongos presentes en semillas de trigo de temporal en Valles Altos Centrales de México.

Acuayte-Valdés, Erik<sup>1</sup>, Sandoval-Islas, Sergio<sup>1</sup>, Carballo-Carballo, Aquiles<sup>2</sup>, Villaseñor-Mir, Eduardo<sup>3</sup>, Leyva-Mir, Santos Gerardo<sup>4</sup>, Vargas-Hernández, Mateo<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitopatología, Montecillo, Méx, <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Posgrado en Producción de Semillas, Montecillo, Méx, <sup>3</sup>INIFAP – campo Experimental..., <sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola, <sup>5</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. [acuaytevaldez@gmail.com](mailto:acuaytevaldez@gmail.com)

### Resumen

La Fusariosis del trigo afecta el rendimiento en la producción de semillas y granos, al disminuir la población inicial de plantas de trigo, y reducir el número de espigas por metro cuadrado. Se determinó la frecuencia y especies de hongos presentes en la semilla de trigo en cada una de las 14 variedades de temporal bajo estudio, establecidas en 9 localidades de la región de los Valles Altos Centrales de México. *Bipolais sorokiniana* fue el hongo que se presentó con mayor frecuencia en semillas. Las localidades Terrenate, Chimalpa y Huamantla presentaron mayor incidencia de hongos en semilla. Santa Lucia fue la localidad con el menor porcentaje de hongos fitopatógenos. *F. graminearum* y *F. moniliforme* fueron las especies de *Fusarium* en las que se registró un mayor porcentaje de semillas enfermas. *Bipolaris sorokiniana*, *F. graminearum* y *F. verticillioides* se presentaron en todas las localidades y con diferente frecuencia.

Palabras clave: calidad sanitaria de semilla, tizón de la espiga, hongos fitopatógenos.

### Abstract

Fusarium wheat affects yields in seed and grain production by lowering the initial population of wheat plants and reducing the number of ears per square meter. The frequency and species of fungi present in the wheat seed were determined in each of the 14 temporary varieties under study, established in 9 localities in the Central Highlands of Mexico. *Bipolais sorokiniana* was the most frequently presented fungus in seeds. The localities Terrenate, Chimalpa and Huamantla presented higher incidence of fungi in seed. Santa Lucia was the locality with the lowest percentage of phytopathogenic fungi. *F. graminearum* and *F. moniliforme* were *Fusarium* species with a higher percentage of diseased seeds. *Bipolaris sorokiniana*, *F.*

*graminearum* and *F. verticillioides* were present in all localities and with different frequency.

Key words: sanitary quality of seed, ear blight, phytopathogenic fungi.

## **2.1. Introducción**

Los cereales siguen siendo con gran diferencia la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto para el consumo humano directo como, de una manera indirecta, para los insumos de la producción pecuaria, por tanto, lo que ocurra en el sector de los cereales será crucial para los suministros mundiales de alimentos (FAO, 2015). El trigo común *T. aestivum*, el trigo duro *T. durum* y el trigo basto *T. compactum* cubren aproximadamente el 90% de la superficie cultivada en el mundo (SARH, 1992). El trigo es el cultivo del cereal más importante del mundo; representó el 31 por ciento del consumo mundial de cereales en 1997-99. El consumo de trigo per cápita en los países en desarrollo, en su inmensa mayoría para alimentos, ha seguido creciendo y la mayoría de estos países dependen cada vez más de las importaciones. Entre los importadores netos se encuentran algunos de los principales productores de trigo como el Brasil, Egipto, Irán y México. En varios de los países consumidores de arroz, los aumentos en el consumo de trigo van de la mano con el del arroz, constante o en disminución. (FAO, 2015).

El cultivo de trigo en México alcanza un valor de 12 mil mdp, cifra que le coloca como el 10<sup>o</sup> cultivo más importante, al contribuir con el 2.9% del valor de la producción agrícola (FND, 2014). El mejoramiento genético de trigo en México vivió una etapa de desarrollo y consolidación entre 1945 y 1980, gracias al apoyo económico y técnico incondicional que se brindó (González, 1992) y que lo convirtió en una actividad altamente rentable (Hanson *et al.*, 1982). Desde mediados de los 40's del siglo pasado, México ha trabajado el mejoramiento genético de trigo en dos ciclos agrícolas al año y en ambientes ampliamente contrastados (CONACYT, 2012).

La producción de semillas y granos de trigo son afectados por diversos factores, entre ellos los fitosanitarios. La Fusariosis en la emergencia es transmisible por semilla; puede causar importantes reducciones en la población inicial de plantas de



trigo; y reducción en el número de espigas por metro cuadrado. Las enfermedades conocidas como carbones ocasionan que las espigas infectadas no produzcan granos comercialmente útiles (INIA, 2015). El hongo *Tilletia caries* se conserva adherida a las semillas, aunque también puede encontrarse en el suelo, procedente de la cosecha anterior. Al sembrar, y si las condiciones son favorables, se produce la infección en la plántula. Cuando llega el espigado, el hongo inicia un período de gran actividad y aparecen los granos parcialmente destruidos y su interior lleno de esporas. Estos granos, al romperse pueden contaminar a otros granos sanos, aunque la mayor contaminación se produce al cosechar, ya que un grano de aspecto normal puede contener hasta 5.000 esporas. Una sola espiga con caries puede producir 150 millones de esporas, suficiente para contaminar tres millones de semillas (Agrios, 1998).

Muchos patógenos de semillas se activan tras la siembra, lo que puede dar lugar a la podredumbre de la propia semilla o bien puede causar el conjunto de enfermedades específicas de plántula. Las semillas también pueden ser infectadas por patógenos cuando entran en contacto con el suelo, o bien durante su transporte y almacenamiento (Chelkowski, 1991). La identificación de hongos en semilla de trigo es de gran importancia, estos pueden dispersarse y causar daños considerables, tanto por reducir el rendimiento, como por afectar la germinación y el desarrollo de plántulas que logran germinar.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la frecuencia y especies de hongos presentes en la semilla de trigo en cada una de las 14 variedades de temporal y 9 localidades de la región de los Valles Altos Centrales de México.

## **2.2. Materiales y Métodos**

El estudio se realizó en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Laboratorio de Fitosanidad- Fitopatología, laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas y el laboratorio de Micología Agrícola del Departamento de Parasitología Agrícola - UACH en el Estado de México.

El material genético fue proporcionado por el Programa Nacional de Trigo del INIFAP, Campo Experimental Valle de México, el cual consistió en 14 variedades de trigo (con aspersión y sin aspersión de fungicida) que fueron sembradas bajo diseño experimental en 9 localidades en el año 2012 (Cuadro 1).

Cuadro1. Variedades de trigo establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México en el ciclo primavera – verano 2012.

Estado	Mpio.	Localidad	Variedades
Tlaxcala	Huamantla	Huamantla	Temporalera
	Xaloztoc	Velazco	Bárcenas
	Calpulalpan	Sultepec	Tlaxcala
	Nanacamilpa	Nanacamilpa	Nahuatl
	Terrenate	Terrenate	Rebeca
Hgo	Apan	Chimalpa	Triunfo
Edo. Méx	Texcoco	Sta. Lucia	Gálvez
	Tenango	Tenango	Cortazar
	Juchitepec	Juchitepec	Maya Urbina Nanacamilpa Altiplano Don Carlos Salamanca

**Diseño y unidad experimental.** En el laboratorio se utilizó un diseño de bloques al azar; cada unidad experimental fue de ocho semillas por variedad, 224 por localidad. Para la prueba Entre Papel se utilizaron 100 semillas por variedad, siendo en total 2800 semillas por localidad.

**Métodos de identificación.** Para determinar los hongos y la frecuencia de los mismos en los tratamientos asperjados y no asperjados con fungicida en campo, se analizaron en el laboratorio muestras de semillas cosechadas por parcela y se realizó el análisis mediante las pruebas que a continuación se describen:

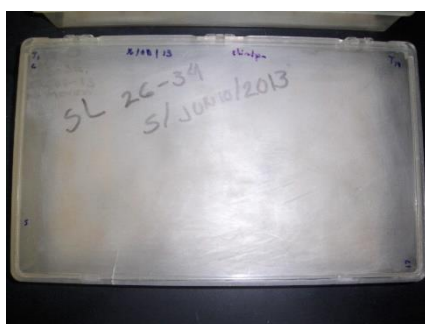
### **Freezing blotter (Neergard, 1977, citado por Warham, *et al.*, 1998).**

Las semillas se remojaron durante 3 minutos en una solución al 3% de hipoclorito de sodio y se enjuagaron con agua destilada.

Procedimiento: Las semillas se colocaron separadas por espacios uniformes sobre 2 capas de papel secante húmedas en una caja transparente de plástico, esta se selló con parafilm (Figura 1), se incubó la caja a 25° durante 48h (12 h con luz blanca fría o cercana a la luz UV y 12 h de oscuridad cada día). Después se puso la caja en el congelador a una temperatura de 4°C durante un día. Por último, se dejó la caja en la incubadora a 25°C durante 11 días (12 h con luz blanca fría o cercana a la luz UV y 12 h de oscuridad cada día). El periodo de congelación mata las semillas y de ese modo, se obtiene un sustrato para el desarrollo de los hongos.

### **Identificación de los hongos en laboratorio.**

Una vez que los hongos esporularon (Figura 2), se observaron las características de la colonia y morfología de conidios con el microscopio estereoscópico y mediante preparaciones temporales con lactofenol al 10%, mismas que se observaron al microscopio compuesto. Fueron comparadas de acuerdo a las descripciones hechas por Warham *et al* (1998).



**Figura 1. Semillas de trigo en caja con tapa para prueba de papel secante-congelación.**



**Figura 2. Hongos en semilla de trigo obtenidos mediante la prueba de papel secante-congelación.**

### **Prueba de germinación estándar.**

La prueba de germinación estándar se realizó para evaluar la frecuencia y calidad fisiológica de la semilla. 100 semillas de cada tratamiento se desinfectaron y se utilizaron para tener cuatro repeticiones de 25 semillas.

Procedimiento. Dos toallas humedecidas con agua destilada se extendieron sobre una superficie plana, y se colocaron 25 semillas distribuidas de manera uniforme (Figura 3); posteriormente se cubrieron con otras dos toallas húmedas, se enrollaron y se acomodaron en forma vertical dentro de bolsas de plástico; por último, estas bolsas se colocaron dentro del cuarto de germinación en el cual el nivel de humedad y temperatura (25 °C) era constante. Se realizó un solo conteo a los 7 días.



**Figura 3. Prueba entre papel realizada a semillas de trigo de temporal de Valles Altos Centrales de México.**



**Figura 4. Semillas de trigo de catorce variedades de temporal sometidas a la prueba de papel secante-congelación.**

### **2.3 Resultados y Discusión**

La diversidad de hongos encontrados en las diferentes localidades se muestra en los Cuadros 2 a 4, y en la Figura 5. Solo se consideraron los de importancia fitopatológica.

**Cuadro 2. Especies de hongos fitopatógenos presentes en semillas de catorce variedades de trigo de temporal y porcentaje del total de hongos que se registro en cada una de las nueve localidades en que se sembraron en Valles Altos Centrales de México.**

Localidad	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Fusarium Equiseti</i>	<i>Fusarium verticilliodes</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium</i> Sp	%
Terrenate	+	+	+	+	+	+	-	14.91
Chimalpa	+	-	+	+	+	-	+	12.02
Huamantla	+	-	+	+	+	-	-	11.70
Velasco	+	+	+	+	+	-	-	11.25
Soltepec	+	+	+	+	+	+	+	10.59
Nanacamilpa	+	-	+	+	+	-	-	10.57
Tenango	+	+	+	+	+	-	-	10.36
Juchitepec	+	+	+	+	+	-	-	9.93
Sta. Lucia	+	-	+	+	+	-	-	8.67

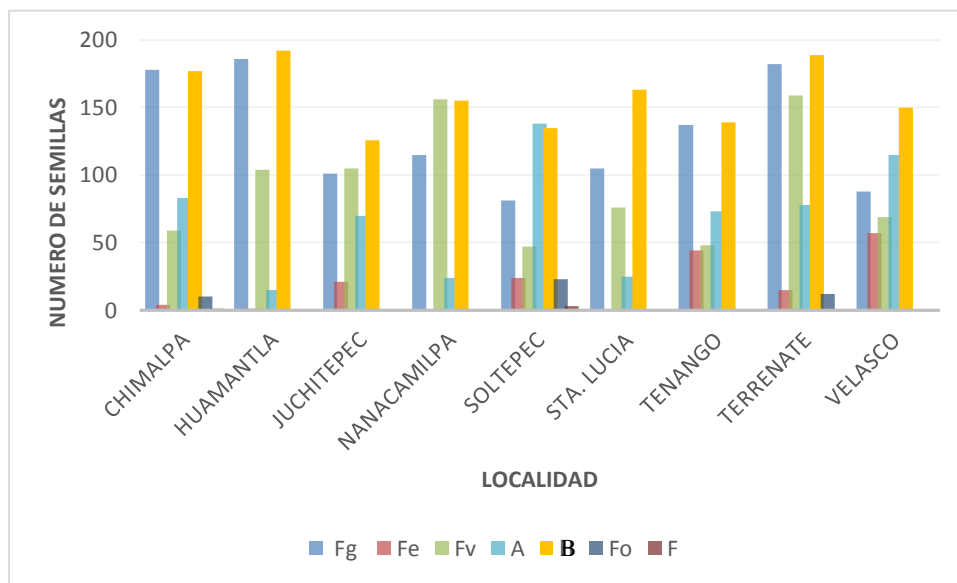
+ presente; -: ausente.

Los hongos encontrados en las muestras analizadas coinciden con las especies más comunes en trigo, reportadas por Weise (1987); Warham *et al* (1998); Bautista *et al* (2011); y Sandoval *et al* (2012). Por otra parte, Neergaard (1977) menciona que los seis grupos importantes de patógenos transmitidos por semilla son: *Ustilago* sp., *Tilletia* sp., *Fusarium* sp., *Drechslera* sp., *Septoria* sp., y nematodos. Dentro del género *Fusarium* las cuatro especies de mayor importancia como patógenos son: *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* y *F. nivale*; estos pueden causar muerte de plántulas en pre o pos emergencia. *Fusarium graminearum* causa la enfermedad roña de la espiga, que es una de las enfermedades más importantes del trigo en áreas húmedas y cálidas, reduce significativamente el rendimiento, así como la calidad de las semillas (Kheiri *et al.*, 2016). En el presente estudio se registraron *F. graminearum*, *F. equiseti*, *F. verticilliodes*, *F. oxysporum*, *Fusarium* sp., *Bipolaris sorokiniana* y *Alternaria* sp.

Los hongos que se encuentran en la semilla pueden ocasionar diferentes tipos de daño, que afectan y disminuyen el vigor; si la infección es severa puede provocar la muerte del embrión (Moreno, 1993; Lozano *et al.*, 2006). Las especies como *Helminthosporium* sp. y *Fusarium* sp. pueden disminuir la viabilidad de la semilla (Prescott, 1986).

Es importante conocer la calidad sanitaria de las semillas, ya que, al utilizar semillas libres de patógenos, se pueden prevenir problemas en campo (Thompson, 1979). Cuando el grano tiene el síntoma de punta negras las pérdidas son principalmente por los precios inferiores que se pagan por el grano decolorado (Prescott, 1986). En este trabajo *B. sorokiniana* fue el fitopatógeno que registró la mayor frecuencia y estuvo presente en todas las localidades.

La frecuencia y las especies de hongos identificados en cada localidad se muestran en la Figura 5, y Cuadro 3.



Fg= *Fusarium graminearum*, Fe= *Fusarium equiseti*, Fv= *Fusarium verticillioides*, A= *Alternaria* sp, F= *Fusarium oxysporum* F= *Fusarium* sp, y B= *Bipolaris sorokiniana*

**Figura 5. Frecuencia de especies de hongos en semillas de catorce variedades de trigo de temporal en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.**

**Cuadro 3. Incidencia de hongos fitopatógenos en semillas de catorce variedades de trigo en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.**

Patógeno	Terrenate	Chimalpa	Huamantla	Velasco	Soltepec	Nanacamilpa	Tenango	Juchitepec	Sta. Lucia
(%)									
<i>Helminthosporium sorakiriana</i>	29.76	34.57	38.55	31.32	29.93	34.44	31.52	29.79	44.17
<i>Fusarium graminearum</i>	28.66	34.77	37.35	18.37	17.96	25.56	31.07	23.88	28.46
<i>Fusarium verticillioides</i>	25.04	11.52	20.88	14.41	10.42	34.67	10.88	24.82	20.60
<i>Alternaria</i>	12.28	16.21	3.01	24.01	30.60	5.33	16.55	16.55	6.78
<i>Fusarium equiseti</i>	2.36	0.78	0.20	11.90	5.32	0.00	9.98	4.96	0.00
<i>Fusarium oxysporum</i>	1.89	1.95	0.00	0.00	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Fusarium sp</i>	0.00	0.20	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00

Las especies y frecuencias de hongos encontradas fueron diferentes en cada localidad, encontrándose con mayor frecuencia en Terrenate, Chimalpa y Huamantla. Aunque la presencia de los patógenos en las semillas varía de un año a otro y en una misma región como consecuencia de la variación en la humedad del ambiente (Neergaard, 1977, Leyva *et al.*, 2014).

Al realizar el análisis de regresión por etapas fenológicas de *Fusarium spp.*, la infección de semillas de cereales aumentó significativamente con la precipitación en los días anteriores a la madurez, y temperaturas mínimas relativamente altas en los días siguientes (Castonguay & Couture, 1983; McGee, 1995). Por lo anterior, la infección puede estar fuertemente influenciada por el medio ambiente, como ocurrió en el presente estudio.

Villaseñor y Espitia (2000) mencionan que la etapa fenológica de la planta, la cantidad y la distribución de la precipitación durante todo el año están relacionadas directamente con la incidencia de los hongos que se transmiten por semilla.

**Cuadro 4. Frecuencia de hongos fitopatógenos en semillas de catorce variedades de trigo de temporal en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México, en el ciclo 2012.**

<b>Especie</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje del total de semillas</b>	<b>Porcentaje de las semillas enfermas</b>
<i>B. sorokiniana</i>	1426	5.66	33.49
<i>F. graminearum</i>	1173	4.65	27.55
<i>F. moniliforme</i>	823	3.27	19.33
<i>Alternaria</i> sp.	621	2.46	14.58
<i>F. equiseti</i>	166	0.66	3.90
<i>F. oxysporum</i>	45	0.18	1.06
<i>Fusarium</i> sp	4	0.02	0.09
SANA	19,327	83.10	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>25,200.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

#### **2.4. Conclusiones**

El hongo que se presentó con mayor frecuencia en semillas fue *Bipolaris sorokiniana*.

Las localidades con mayor incidencia de hongos encontrados en semilla fueron Terrenate, Chimalpa y Huamantla. La localidad con menor porcentaje de hongos fitopatógenos fue Sta Lucia.

Las especies de *Fusarium* en las que se registró un mayor porcentaje de semillas enfermas fueron *F. graminearum* y *F. moniliforme*.

*Bipolaris sorokiniana*, *F. graminearum* y *F. verticilliodes* se presentaron en todas las localidades y con diferente frecuencia.



## 2.5 Literatura

Agrios, G. 1998. Fitopatología, 3ª edición. Editorial Limusa, México.

Bautista, E. M. E., Mir, L. G. S., Villaseñor, M. H. E., Huerta, E. J., y Mariscal, A. L. A. 2011. Hongos asociados al grano de trigo sembrado en áreas del centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29(2), 175-177.

Castonguay, Y., & Couture, L. 1983. Épidémiologie de la contamination des grains de céréales par les *Fusarium* spp. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 5(4): 222-228.

CONACYT, 2012. Mejoramiento genético de trigo para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México. Encontrado en: <http://www.conacyt.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/sagarpa-conacyt>. Consultado 23 febrero 2017.

González, E. A. 1992. Aspectos económicos de la investigación agrícola en el cultivo de trigo en México. In: I Conferencia Nacional de Trigo, 88. SARH, INIFAP, CIFAP-SON. Cd. Obregón, Son. pp. 530-550.

Hanson, H., Borlaug, N. E., Anderson, R. B. 1982. Trigo en el Tercer Mundo. CIMMYT, México. CIMMYT, México. 66 p.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2015. Enfermedades del trigo de origen fungoso: hongos que llegan con la semilla. Encontrado en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/07/FICHA-04-CARILLANCA.pdf>  
Consultado 20 enero 2017.

International Seed Testing Association (ISTA). 1976. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*. 4: 3-177.

Chelkowski, J. 1991. Cereal grain mycotoxins, fungi and quality in drying and storage. In *developments in food science*. Elsevier. 441-476.

FAO, 2015. Perspectivas por sectores principales. Producción de cultivos. **Encontrado en:** <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s08.htm>  
Consultado: 19 enero 2017.

FND, 2014. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. **Encontrado en:**  
<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Trigo.pdf>. Consultado 20 enero del 2017.

Kheiri, A., Jorf, S. M., Malhipour, A., Saremi, H., & Nikkhah, M. 2016. Application of chitosan and chitosan nanoparticles for the control of *Fusarium* head blight of wheat (*Fusarium graminearum*) in vitro and greenhouse. International Journal of Biological Macromolecules. 93: 1261-1272.

Leyva, M. S. G., Cervantes, G. M. A., Villaseñor, M. H. E., Rodríguez, G. M. F., García, L. E., y Tovar, P. J. M. 2014. Diversidad de hongos en semilla de avena del Valle Central de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 1379-1385.

Lozano, R. N., Mezzalama, M., Carballo, C. A., y Hernández, L. A. 2006. Efectos de fungicidas en la calidad fisiológica de la semilla de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y su eficacia en el control de *Fusarium graminearum* Schwabe [*Gibberella zeae* (Schwein.) Petch.] y *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker [*Cochliobolus sativus* S. Ito y Kurib.]. Revista Mexicana de Fitopatología. 24(2).

McGee, D. C. 1995. Epidemiological approach to disease management through seed technology. Annual Review of Phytopathology. 33(1): 445-466.

Moreno, M. E. 1993. Tratamiento químico de las semillas para el combate de los hongos. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México, DF.

Moreno, V. M., Yáñez, M. M. J., Rojas, M. R. I., Zavaleta, M. E., Trinidad, S. A., y Arellano, V. J. L. 2005. Diversidad de hongos en semilla de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) y su caracterización molecular. Revista Mexicana de Fitopatología. 23(2): 111-118.

Neergaard, P. 1977. Seed Pathology. Volume 1. Macmillan Press. Surrey, UK. 1:839 p.

Prescott, J. M. 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT.

SARH. 1992. Sistemas de producción. Producto trigo. México, Méx.

Sandoval, M. E., Leyva, M. G. S., Villaseñor, M. H. E., Rodríguez, G. M. F., y Mariscal, A. L. A. 2012. Diversidad de Hongos en Semilla de Trigo de Temporal. Revista Mexicana de Fitopatología. 30(2): 145-149.

Thompson, J. R. 1979. Introducción a la tecnología de semillas. *Acribia. España*. 301 p.

Villaseñor, M. H. E., y Espitia, R. E. 2000. El trigo de temporal en México. *INIFAP. Libro Técnico (1)*, 25-83.

Warham, E. J., Butler, L. D., y Sutton, B. C. 1998. Ensayos para la semilla de maíz y de trigo: Manual de laboratorio. CIMMYT.

Wiese, M. V. 1987. Compendium of wheat diseases. American Phytopathological Society.

### Capítulo III. Patógenos foliares y su efecto en el rendimiento.

Acuayte-Valdés, Erik<sup>1</sup>, Sandoval-Islas, Sergio<sup>1</sup>, Carballo-Carballo, Aquiles<sup>2</sup>, Villaseñor-Mir, Eduardo<sup>3</sup>, Leyva-Mir, Santos Gerardo<sup>4</sup>, Vargas-Hernández, Mateo<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitopatología, Montecillo, Méx,

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Posgrado en Producción de Semillas, Montecillo, Méx, <sup>3</sup> INIFAP – campo Experimental..., <sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola, <sup>5</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. [acuaytevaldez@gmail.com](mailto:acuaytevaldez@gmail.com)

#### Resumen

Síntomas naturales se registraron en plantas de catorce variedades de trigo establecidas en condiciones de temporal en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México, para estimar las pérdidas en rendimiento causadas por sus principales hongos fitopatógenos. Se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas. Las variables evaluadas fueron: días a floración, días a madurez, altura de planta, rendimiento de grano, severidad de las enfermedades fungosas (*Helminthosporium tritici-repentinis*, *Septoria tritici*, y *Fusarium graminearum*), porcentaje de plántulas normales, porcentaje de plántulas anormales, y porcentaje de semillas sin germinar. En los resultados se encontró: 1. con la aplicación del fungicida Quilt®, se obtuvo un mayor rendimiento de grano bajo condiciones naturales de incidencia de patógenos en campo, siendo las mejores variedades Nanacamilpa (4255.30 kg), Altiplano (4105.40 kg) y Don Carlos (3731.40 kg); La presencia de hongos redujo el rendimiento de 14-36%; 2. En la prueba de germinación de plántulas normales en laboratorio destacaron las localidades Tenango (86.03), Huamantla (85.82) y Juchitepec (85.21). Las variedades con el valor más alto de germinación fueron Temporalera (73.38), Cortazar (73.05) y Tlaxcala (72.72); y en invernadero las localidades con mayor porcentaje de plántulas normales fueron Tenango (91.17), Nanacamilpa (80.75) y Velasco (75.42). Las variedades con mayor porcentaje de germinación de plántulas normales en invernadero fueron Urbina (70.39), Nahuatl (68.61) y Temporalera (66.55); 3. Los genotipos más estables fueron Altiplano, Nanacamilpa y Don Carlos 4. En invernadero hubo mayor cantidad de semilla sin germinar con fungicida que sin fungicida.

**Palabras clave:** trigo de temporal, hongos foliares, resistencia, susceptibilidad.

## **Abstract**

Natural symptoms were recorded in plants of fourteen varieties of wheat established under temporary conditions in nine localities of Central Highlands of Mexico, to estimate yield losses caused by their main phytopathogenic fungi. An experimental design was used in divided plots. The variables evaluated were: days at flowering, days at maturity, plant height, grain yield, severity of fungal diseases (*Helminthosporium tritici-repentinis*, *Septoria tritici*, and *Fusarium graminearum*), percentage of normal seedlings, percentage of abnormal seedlings, and Percentage of seeds without germinating. In the results we found: 1. with the application of the Sportak fungicide at a dose of 150 ml of commercial product per 100 kg of seed, a higher yield of grain was obtained under natural conditions of incidence of pathogens in the field, being the best varieties Nanacamilpa (4255.30 kg), Altiplano (4105.40 kg) and Don Carlos (3731.40 kg); The presence of fungi reduced yield by 14-36%. Dhjkfsa showed the highest yield with and without fungicide, followed by jkasldlkad and hdlads; 2. In the germination test of normal seedlings in the laboratory, the localities Tenango (86.03), Huamantla (85.82) and Juchitepec (85.21) stood out. The varieties with the highest germination value were Temporalera (73.38), Cortazar (73.05) and Tlaxcala (72.72); And in greenhouses the localities with the highest percentage of normal seedlings were Tenango (91.17), Nanacamilpa (80.75) and Velasco (75.42). The varieties with the highest germination percentage of normal seedlings in the greenhouse were Urbina (70.39), Nahuatl (68.61) and Temporalera (66.55); 3. The most stable genotypes Nanacamilpa, Altiplano and Doncarlos. 4. In greenhouse there was more seed without germinating with fungicide than without fungicide.

**Key words:** temporal wheat, foliar fungi, resistance, susceptibility.

## 4.1 Introducción

El desarrollo de una epidemia se traduce en pérdidas económicas en la producción del cultivo de trigo, afectando tanto el rendimiento como la calidad de la semilla y grano (Díaz, 1996). Las enfermedades son responsables de pérdidas anuales de cerca de 20% en el rendimiento potencial de trigo (Wiese, 1987). A esto se agregan las pérdidas en la calidad del producto (Agrios, 1986). Las enfermedades pueden disminuir la calidad física e industrial del grano y el valor de la cosecha de semilla (Kiesling, 1985; Shaner, 1987).

Entre los hongos fitopatógenos existe una gama de modalidades nutricionales, desde patógenos del suelo altamente inespecíficos y con alta capacidad de competencia saprofítica como *Pythium* y *Rhizoctonia*; hongos necrotróficos más especializados que matan los tejidos vegetales para luego nutrirse de ellos como *Septoria* y *Helminthosporium*; hasta los hongos biotróficos altamente especializados que se nutren de las células vivas de su hospedante por medio de haustorios como los hongos que causan royas y oídios (Díaz, 1996).

Las enfermedades foliares disminuyen la producción y la calidad (Díaz, 1996). Los parámetros para definir una buena calidad de semilla son: pureza, sanidad, germinación y tamaño de semilla (Lafond and Baker, 1986 (citado por Villaseñor en 1984)).

Gran variedad de patógenos puede afectar directamente al grano de trigo, repercutiendo sobre la calidad de semilla. Entre estos se tiene a los hongos que atacan al grano directamente como los géneros: *Tilletia*, *Ustilago*, *Claviceps*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Sclerophthora*, y además un nematodo que ataca a la semilla (*Anguina tritici*); otros patógenos se presentan también en granos almacenados como los géneros de hongos *Aspergillus* y *Penicillium*.

Los efectos de los hongos que afectan la semilla pueden presentarse en la misma o bien hasta que germina y continúan durante su crecimiento, pudiendo causar pudrición de plántula, manchas en hojas o tallos, y otras enfermedades (Vargas, 1965, citado por García en 1993). Sin embargo, los principales daños fitopatológicos en el cultivo del trigo son ocasionados por *Fusarium graminearum*

que causa el tizón del trigo y produce micotoxinas. El uso de variedades susceptibles y con ello la presencia de enfermedades disminuye el rendimiento del trigo. La presente investigación se realizó con el objetivo de estimar las pérdidas en rendimiento por efecto de las enfermedades foliares causadas por hongos en variedades de temporal, en Valles Altos Centrales de México.

### **3.2 Materiales y Métodos.**

El trabajo de laboratorio se realizó en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Laboratorio de Fitosanidad- Fitopatología, laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas y el laboratorio de Micología Agrícola del Departamento de Parasitología Agrícola - UACH en el Estado de México.

El material genético fue proporcionado por el Programa Nacional de Trigo del INIFAP, Campo Experimental Valle de México, el cual consistió en 14 variedades de trigo sembradas en condiciones de temporal en 9 localidades (Cuadro 1), bajo los tratamientos: con aspersión y sin aspersión de fungicida, en el ciclo primavera verano 2012. Las características de resistencia o susceptibilidad de las diferentes variedades se presentan en el cuadro 2. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, con dos repeticiones. Cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de tres metros de longitud y 30 centímetros de ancho. La densidad de siembra fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>.

Cuadro1. Variedades de trigo establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México en el ciclo primavera – verano 2012.

Estado	Mpio.	Localidad	Variedades
Tlaxcala	Huamantla	Huamantla	Temporalera
	Xaloztoc	Velazco	Bárcenas
	Calpulalpan	Sultepec	Tlaxcala
	Nanacamilpa	Nanacamilpa	Nahuatl
	Terrenate	Terrenate	Rebeca
Hgo	Apan	Chimalpa	Triunfo
Edo. Mèx	Texcoco	Sta. Lucia	Gálvez
	Tenango	Tenango	Cortazar
	Juchitepec	Juchitepec	Maya
			Urbina
			Nanacamilpa
			Altiplano
		Don Carlos	
		Salamanca	

Cuadro 2. Respuesta a Roya amarilla, Roya del tallo y Roya de la hoja de catorce variedades de trigo de temporal sembradas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México, en el ciclo primavera verano 2012.

Variedad	Ciclo	Acame	Roya amarilla	Roya del tallo	Roya de la hoja	Enfermedades foliares
Temporalera	T	MR	S	R	S	To
Salamanca	I - P		R	S	S	
Gálvez	P	R				
Cortázar	I	MR	MS	R	MR	
Bárcenas	I		R	MR	MR	
Tlaxcala	I - P		MR	MR	MR	To
Náhuatl	P	MR	MR MS	MR	R	MS
Rebeca	I	R	---	---	MR	MR
Triunfo	I	R	MR	---	MR	MT <sub>o</sub>
Maya	P	MR			MR	
Urbina	I	MR			R	
Nana	P	To	MR		MR	
Altiplano	I - T	To	MR	MR	MR	To
Don Carlos		MR	R	R	R	To

P=Precoz, I=Intermedio, T=Tardío, MR=Moderadamente resistente, MS=Moderadamente susceptible, R=Resistente, S=susceptible, To= Tolerante, M=Moderado, A=Alto, B=Bajo, - = Inmune.



La severidad de las enfermedades se evaluó de acuerdo a la escala relativa a enfermedades foliares de Saari y Prescott (1975 citado por García, 1993).

El manejo agronómico se realizó de acuerdo a lo establecido en el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP. A las variedades que se manejaron con tratamiento se les aplicó el fungicida comercial Quilt (Azoxystrobin + Propiconazol) en etapa de floración y 15 días después. Quilt es un fungicida sistémico, de acción preventiva y curativa, es absorbido por las hojas y tallos, y transportado de forma ascendente asegurando la distribución del producto dentro de toda la planta. Combina la acción preventiva y antiesporulante de Azoxistrobin, con el efecto erradicante de propiconazol. La mezcla bloquea el proceso respiratorio de los hongos (SINGENTA, 2016).

**Cuadro 3.** Patógenos contra los que está autorizado el fungicida Quilt en trigo, dosis y enfermedades para las cuales está recomendado.

Enfermedad	Patógeno	Dosis
Mancha foliar	<i>Septoria tritici</i>	800-1000 mL/ha
Roya anaranjada	<i>Puccinia recondita</i>	Aplicar al aparecer los primeros
Mancha amarilla	<i>Drechslera tritici</i>	Síntomas.

Se cosechó cuando la semilla obtuvo la madurez fisiológica (octubre). Se trilló en el mes de noviembre la semilla tenía aproximadamente 20% de humedad. La semilla se limpió mediante frotamiento y para eliminar las impurezas se realizó con una sopladora.

### 3.3 Resultados y Discusión

Los hongos foliares que frecuentemente inciden en las regiones trigueras de los Valles Altos Centrales de México son *Septoria tritici*, *Helminthosporium tritici-repentinis* y *Fusarium graminearum* (García, 1993; Barrera, 1994). Lo anterior coincide con los patógenos foliares identificados en el presente estudio.

Para el control de *Septoria nodorum*, se han utilizado los fungicidas Bravo 500 (clorotalonil), Tilt (propiconazol) y Sportak (Prochloraz), aplicados en pleno espigamiento, dando buen resultado en Australia (Zwatz, 1986). El fungicida Prochloraz es recomendado cuando la infección por *Helminthosporium* es muy

fuerte (Obst y Huber, 1988). Prochloraz y Propiconazol controlan las enfermedades foliares e incrementan el rendimiento en 2.1 ton/ha con el Prochloraz y 0.7 tn/ha para el Propiconazol en la variedad verano S91 (Leyva y Villaseñor, 1992). Lo cual coincidió con el presente estudio donde se aplicó el fungicida Sportak en floración y hubo un buen control de *Septoria* sp, *Helminthosporium* y en general de los hongos foliares.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de varianza y comparación de medias para los datos obtenidos, donde se muestra que existen diferencias entre variedades y localidades para las variables evaluadas en campo: espigamiento, altura de planta, madurez, rendimiento, y severidad. Así como para las variables evaluadas en laboratorio e invernadero: porcentaje de plantas normales, porcentaje de plántulas anormales y porcentaje de germinación de plantas.

Cuadro 4. Análisis de varianza combinados a través de sitios y tratamientos de catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México; ciclo primavera verano 2012, con un alpha de 0.05.

Termino	espigamiento	madurez	altura	rendimiento	sev 3		
sitio	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001		
trat	0.2132	0.0001	0.0364	0.0001	0.0001		
var	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		
sitio*trat	0.8176	0.0178	0.325	0.0098	0.0001		
sitio*var	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		
var*trat	0.1058	0.0142	0.6545	0.0007	0.0001		
	PPNL	PPANL	PSSG	PPNi	PPANi	PSSGi	
sitio	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
trat	0.3932	0.4957	0.0409	0.0278	0.5092	0.0033	
var	0.0001	0.0037	0.0001	0.0001	0.0008	0.0001	
sitio*trat	0.0001	0.0001	0.0001	0.0152	0.444	0.0466	
sitio*var	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0028	0.0001	
var*trat	0.0004	0.0655	0.0002	0.3601	0.659	0.0097	

Cuadro 5. Comparación de medias (Tukey) para catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México; ciclo primavera verano 2012.

Termino	niveles	espigamiento	madurez	altura	rendimiento	sev 3
sitio						
	Sta. Lucia	61.4 D	109.4 D	88.7 D	3316.8 CD	29.0 A
	Tenango	59.0 E	108.8 D	94.6 BC	4746.0 A	25.6 A
	DMS	71.7 B	130.1 B	97.9 B	4414.2 AB	19.8 B
	Chimalpa	72.1 B	126.7 C	105.6 A	3602.4 BCD	20.8 B
	Soltepec	71.6 B	134.9 A	104.3 A	2568.9 DE	17.4 B
	Nanacamilpa	80.2 A	134.0 A	97.7 B	3563.1 BCD	29.0 A
	Velasco	70.4 B	126.1 C	90.8 CD	3094.8 CDE	27.5 A
	Terrenate	63.9 C	128.9 B	81.5 E	2189.5 E	27.3 A
	Huamantla	63.5 C	126.1 C	78.8 E	3765.2 ABC	28.3 A
	DMS	2.07	1.71	4.1	1045.8	3.52
trat						
	SF	68.1 A	123.3 B	92.9 B	3034.9 B	36.5 A
	CF	68.4 A	126.6 A	93.7 A	3912.0 A	13.4 B
	DMS	0.49	0.53	0.81	122.3	1.08
var						
1	Temporalera	71.0 C	127.0 CD	99.3 BC	3715.4 BC	27.9 C
2	Gálvez	65.0 GH	122.8 GHI	92.1 EF	3330.1 CDEF	34.2 A
3	Salamanca	66.9 F	122.0 I	86.0 HG	3010.5 EF	35.3 A
4	Cortazar	65.6 G	123.5 FGH	87.2 G	3253.9 DEFG	27.3 CD
6	Barcnas	65.0 GH	122.7 GHI	82.8 H	2848.0 G	32.5 AB
7	Tlaxcala	69.0 D	125.1 EF	92.2 EF	3574.1 CD	21.3 E
8	Nahuatl	68.5 DE	123.9 FG	97.3 BC	3424.2 CDE	29.0 BC
9	Rebeca	76.4 A	132.3 A	96.7 CD	3480.1 CD	23.7 DE
10	Triunfo	71.8 CB	127.7 C	93.4 DE	3568.6 CD	21.1 E
14	Maya	64.1 H	122.1 HI	86.2 HG	3055.0 EFG	30.0 BC
15	Urbina	64.5 GH	121.6 I	88.7 FG	3275.9 DEF	28.7 BC
16	Nanacamilpa	67.1 F	123.7 FG	100.6 B	4255.3 A	12.0 F
17	Altiplano	73.0 B	129.6 B	104.3 A	4105.4 AB	12.7 F
19	Don Carlos	67.3 EF	125.5 DE	99.9 BC	3731.4 BC	13.4 F
	DMS	1.33	1.55	3.57	411.9	4.1

Para la variable espigamiento los resultados del análisis muestran que las localidades con mayor número de días a floración fueron Nanacamila, Chimalpa y Juchitepec con 80.23, 72.14 y 71.78 respectivamente. Las localidades con menor número de días fueron Tenango (59.00), Santa Lucia (61.41) y Huamantla (63.5). Las variedades que mostraron mayor número de días fueron Rebeca, Temporalera y Triunfo con más de 70 días, las variedades Maya, Urbina y Barcenás llegaron a la etapa de espigamiento en 64 días. La aplicación del fungicida no tuvo efecto para esta variable ya que se aplicó posteriormente a esta etapa fenológica.

La variable días a madurez, donde se observa que el ciclo fue más tardío cuando las diferentes variedades se establecieron en Soltepec (134.92), Nanacamilpa (133.98) y Juchitepec (130.07). Las localidades con menor número de días, es decir con ciclo más corto fueron Tenango (108.78), Santa Lucia (109.35) y Huamantla (126.05). Para esta variable sí se muestra que hay diferencia entre las plantas a las que se les aplicó el fungicida ya que tardan más días para llegar a madurez. Las variedades más tardías fueron Rebeca, Altiplano y Triunfo, las más precoces son Urbina, Salamanca y Maya, variando el ciclo de madurez de las variedades restantes de acuerdo a su genética para un lento o rápido llenado de grano y la susceptibilidad a los patógenos que pueden reducir los días a madurez. Esto último difiere de los resultados obtenidos por García (1993), donde no encontró diferencia significativa entre variedades para la variable días a madurez.

La variable altura de planta se ha relacionado con mayor o menor incidencia de patógenos (Ortega, 1997). Las variedades establecidas en las localidades Chimalpa, Soltepec y Juchitepec alcanzaron mayor altura de planta (105.60, 104.30 y 97.91), mientras que donde tuvieron menor porte fue en Huamantla, Terrenate y Santa Lucia.

Las variedades con mayor altura son Altiplano, Nanacamilpa y Don Carlos; las de menor tamaño fueron Barcenás, Salamanca y Maya. Esto coincide con lo reportado por García (1993), que hubo diferencia estadística entre variedades para altura de

planta. En general las plantas con tratamiento de fungicida mostraron menor tamaño.

Las variedades más tolerantes al complejo de enfermedades foliares presentan más baja incidencia de enfermedades, menor severidad de enfermedades, mayor rendimiento y un menor ataque de hongos transmitidos por semilla. Por lo tanto, se espera una mayor germinación, plantas vigorosas y con mayor capacidad competitiva que se refleje en el rendimiento (Delouche y Candwell, 1962 citado por Villaseñor, 1984). Aunque en el presente estudio se encontró que de las localidades con menor severidad Soltepec (17.41), Juchitepec (19.82) y Chimalpa (20.80), solo Juchitepec coincidió con las de más altos rendimientos: Tenango (4746.00), Juchitepec (4414.20) y Huamantla (3765.20). Entre las localidades de menores rendimientos se tuvieron a Terrenate (2189.50) y Soltepec (2568.90), esta última con muy baja severidad de enfermedad (cuadro 8 y 14). En esta variable rendimiento de grano si hubo diferencia en las plantas tratadas con fungicida, ya que se observa un mayor rendimiento.

Existen diferencias altamente significativas entre variedades para la variable rendimiento de grano (cuadro 7), lo cual coincide con García, 1993, en una evaluación hecha con algunas variedades de trigo aquí utilizadas; y difiere de los resultados obtenidos por Ortega (1997), quien no encontró diferencias significativas para esta variable al realizar un trabajo en dos sitios y algunas de las variedades evaluadas en el presente estudio. Se obtuvo mayor rendimiento en las variedades Nanacamilpa (4255.30), Altiplano (4105.40) y Don Carlos (3731.40); por el contrario, se registraron los más bajos rendimientos en Bárcenas (2848.00), Salamanca (3010.50) y Maya (3055.00).

La variable severidad 1 fue mayor en las localidades Sta. Lucía (11.96), Huamantla (9.21) y Chimalpa (8.92). La severidad menor fue en Soltepec (5.98) y Juchitepec (6.60). Hubo menor severidad en las plantas tratadas con fungicida. Las variedades con mayor severidad fueron Galvez (10.55), Salamanca (10.41) y Bárcenas (10.46); las que tuvieron menor severidad fueron Altiplano (5.16), Nanacamilpa (5.41) y Don Carlos (5.58).

La severidad 2 (segunda fecha de toma de datos de esta variable) fue mayor en las localidades Huamantla (19.73), Sta. Lucia (17.23) y Velasco (16.96); fue menor en las localidades Soltepec (9.91), Juchitepec (12.50). Las variedades que presentaron mayor severidad fueron Gálvez (21.52), Salamanca (21.11) y Barcenas (18.33). La severidad fue mayor en las plantas que no se les aplico fungicida.

Es común la presencia de enfermedades en Valles Altos Centrales de México, debido a que la etapa de llenado de grano coincide con los periodos lluviosos que proporcionan alta humedad relativa lo cual es uno de los factores que se requiere para la germinación y desarrollo de inóculo de hongos (Ortega, 1997). Las localidades con mayor severidad fueron Sta. Lucia (29.01), Nanacamilpa (29.01) y Humantla (28.30); en contraste con las localidades de menor severidad que fueron Soltepec (17.41), Juchitepec (19.82) y Chimalpa (20.80) (cuadro 14).

En un estudio realizado por García (1993) en dos localidades y algunas de las variedades aquí utilizadas, se encontró diferencia significativa entre variedades para la variable severidad, lo cual coincidió con los resultados obtenidos en este trabajo, donde las variedades que presentaron un ataque severo al complejo de enfermedades foliares, fueron Salamanca (35.27), Gálvez (34.16) y Barcenas (32.50).

De acuerdo a Ortega (1997) las enfermedades foliares causan una disminución considerable en el rendimiento. Barrera (1994) reporto diferencias estadísticas significativas entre variedades susceptibles y tolerantes, para las variables severidad de enfermedades y rendimiento de grano. Ortega (1997) al realizar un trabajo en Toluca y Juchitepec y algunas variedades entre ellas Temporalera, encontró diferencia altamente significativa entre variedades para la variable días a madurez, altura de planta, severidad y rendimiento, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

De acuerdo a Ortega *et al* (1997), no necesariamente las variedades mas susceptibles son las menos productivas; Es recomendable estimar el potencial productivo de los genotipos (protección total contra patógenos) y cuantificar su respuesta bajo incidencia severa de los patógenos (inoculación artificial) para estar

en posibilidades de conocer que tan tolerantes o susceptibles son las variedades y que tanto se está afectando el rendimiento.

En el presente estudio la severidad fue menor en las plantas tratadas con fungicida. La aplicación de fungicida fue relevante, ya que manifestó efecto sobre las variables en estudio, excepto espigamiento, esto debido a que la aplicación del plaguicida se realizó en floración, es decir posterior al espigamiento.

Las localidades donde se tuvieron mayor porcentaje de plántulas normales en laboratorio fueron Tenango (86.03), Huamantla (85.82) y Juchitepec (85.21); en comparación con las localidades que presentaron menor número de plántulas normales: Soltepec (35.28), Chimalpa (49.85) y Terrenate (62.60). Las variedades con el valor más alto de germinación fueron Temporalera (73.38), Cortazar (73.05) y Tlaxcala (72.72). En contraste con las que obtuvieron el menor porcentaje: Rebeca (61.38), Altiplano (65.27) y Triunfo (68.16). Estadísticamente no mostró diferencia al aplicarse el fungicida.

Resultados similares fueron obtenidos por Hernández (1993), quien evaluó media de germinación en condiciones de laboratorio obteniendo valores muy altos de 96 a 98 de 100 semillas. Al respecto Moreno (1993) afirma que no es posible reproducir los resultados de germinación en condiciones controladas a condiciones de campo. Rodríguez (1991) obtuvo porcentajes de germinación del 100% muy difícil de reproducir en campo, ya que la profundidad de siembra es un factor limitante debido a que representa un obstáculo para que la plántula llegue a emerger.

Las localidades donde se obtuvieron el mayor porcentaje de plántulas anormales fueron Soltepec (20.14), Terrenate (18.92) y Chimalpa (16.32); las localidades con menor porcentaje fueron Nanacamilpa (8.07), Huamantla (9.25) y Tenango (9.46). Las variedades con mayor porcentaje de plántulas anormales fueron Altiplano (17.11), Gálvez (14.72) y Nahuatl (14.61); y las variedades con menor porcentaje fueron Tlaxcala (11.61), Salamanca (11.66) y Cortázar (12.05). Estadísticamente no se mostró diferencia al aplicarse el fungicida.

Las localidades con mayor porcentaje de semillas sin germinar fueron Soltepec (44.57), Chimalpa (33.82) y Nanacamilpa (18.67); y las localidades que presentaron menor porcentaje: Tenango (4.50), Sta. Lucía (4.50) y Huamantla (4.92). Las

variedades con mayor porcentaje de semillas sin germinar fueron Rebeca (24.16), Salamanca (29.16) y Triunfo (17.94); las variedades que presentaron menor porcentaje de germinación fueron Nahuatl (12.83), Temporalera (13.77) y Don Carlos (14.83). Las plantas a las que no se les aplicó el fungicida en campo mostraron menor porcentaje de semillas sin germinar.

Es importante contar con excelente semilla desde todos los aspectos de calidad y en particular con un alto porcentaje de germinación para un adecuado establecimiento en campo (Santiago, 1994). Las localidades con mayor porcentaje de plántulas normales en invernadero fueron Tenango (91.17), Nanacamilpa (80.75) y Velasco (75.42). Los sitios que tuvieron menor porcentaje de plántulas normales fueron Soltepec (31.14), Juchitepec (53.07) y Santa Lucía (58.78). Las variedades con mayor porcentaje de plántulas normales en invernadero fueron Urbina (70.39), Nahuatl (68.61) y Temporalera (66.55); las variedades con menor porcentaje de plántulas normales fueron Triunfo (55.11), Rebeca (56.00) y Altiplano (58.94). Las plantas tratadas con fungicida tuvieron mayor porcentaje de plántulas normales.

Las localidades con mayor porcentaje de plántulas anormales en invernadero fueron Juchitepec (35.67), Sta. Lucía (33.96) y Soltepec (33.85); los sitios con menor porcentaje de plántulas anormales fueron Tenango (2.60), Nanacamilpa (4.10) y Velasco (10.78). Las variedades con mayor porcentaje de plántulas anormales fueron Triunfo (26.00), Don Carlos (22.22) y Temporalera (21.61); las que tuvieron menor porcentaje de germinación fueron Urbina (17.33), Maya (18.55) y Nahuatl (19.44).



Las localidades con mayor porcentaje de semillas sin germinar fueron Soltepec (35.00), Chimalpa (20.35) y Terrenate (18.03); los sitios con menor porcentaje de germinación fueron Tenango (6.21), Sta. Lucia (7.28) y Juchitepec (11.25). Las variedades con menor porcentaje de semillas sin germinar fueron Temporalera (11.83), Nahuatl (11.94) y Urbina (12.27); las variedades con mayor porcentaje fueron Rebeca (23.77), Altiplano (21.55) y Triunfo (18.88). Se presentó mayor porcentaje de semillas sin germinar en las que provenían de plantas sin aplicación de fungicida.

A continuación se presentan los resultados de acuerdo al modelo AMMI, para la variable rendimiento y severidad de las enfermedades foliares registradas al establecer catorce variedades en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.

Cuadro 6 . Modelo AMMI test de Gollobs para la variable rendimiento de catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.

	SS	PORCENT	PORCENAC	DF	MS	F	PROBF
ENV	272455383	60.48461	60.48461	8	34056922.8	50.83096	0
GEN	74102919.7	16.45072	76.93533	13	5700224.59	8.50775	0
ENV*GEN	103895744	23.06467	100	104	998997.536	1.49103	0.00378
PC1	30102969.2	57.65196	57.65196	20	1505148.46	2.30343	0.00129
PC2	8130313.61	15.57084	73.2228	18	451684.089	0.69124	0.82042
PC3	4742842.73	9.0833	82.3061	16	296427.671	0.45364	0.96654
PC4	3876058.45	7.42327	89.72937	14	276861.318	0.4237	0.96702
PC5	2532664.52	4.85045	94.57982	12	211055.377	0.32299	0.98506
PC6	1522153.42	2.91517	97.49499	10	152215.342	0.23294	0.99293
PC7	1146010.92	2.19479	99.68978	8	143251.365	0.21923	0.98742
PC8	160599.306	0.30757	99.99735	6	26766.5511	0.04096	0.99971
PC9	1382.28197	0.00265	100	4	345.57049	0.00053	1
Residuals	253261318	0	0	378	670003.486	NA	NA

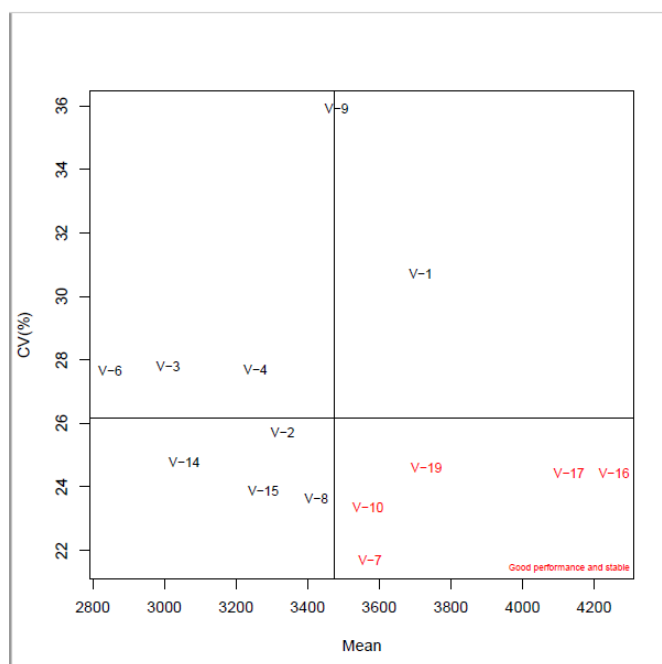


Figura1. Grafica de estabilidad para la variable rendimiento. V-1= Temporalera, V-2= Galvez, V-3= Salamanca, V-4= Cortazar, V-6= Barcenas, V-7= Tlaxcala, V8= Nahuatl, V-9= Reveca, V-10= Triunfo, V-14= Maya, V-15= Urbina, V-16= Nanacamilpa, V17= Altiplano y V19= Don Carlos.

En la figura 1 se observa que las variedades más estables de acuerdo a su rendimiento en los sitios estudiados fueron la variedad Nanacamilpa, Altiplano y Don Carlos; las menos estables son Barcenas, Salamanca y Cortazar.

Cuadro 29. Modelo AMMI test de Gollob para la variable Severidad de enfermedades foliares en catorce variedades de trigo de temporal establecidas en nueve localidades de Valles Altos Centrales de México.

	SS	PORCENT	PORCENAC	DF	MS	F	PROBF
ENV	8760.54298	17.94704	17.94704	8	1095.06787	3.99508	0.00015
GEN	28592.0128	58.57422	76.52126	13	2199.3856	8.02391	0
ENV*GEN	11460.7478	23.47874	100	104	110.1995	0.40204	1
PC1	2000.72143	34.86362	34.86362	20	100.03607	0.36399	0.99523
PC2	1644.06187	28.64864	63.51227	18	91.33677	0.33234	0.99595
PC3	854.16162	14.88422	78.39648	16	53.3851	0.19425	0.99976
PC4	647.47979	11.28268	89.67916	14	46.24856	0.16828	0.99976
PC5	301.38943	5.25187	94.93103	12	25.11579	0.09139	0.99997
PC6	218.90608	3.81455	98.74558	10	21.89061	0.07965	0.99994
PC7	44.1157	0.76874	99.51432	8	5.51446	0.02006	1
PC8	27.86185	0.48551	99.99983	6	4.64364	0.0169	0.99998
PC9	0.00995	0.00017	100	4	0.00249	0.00001	1
Residuals	103611.25	0	0	378	274.10384	NA	NA

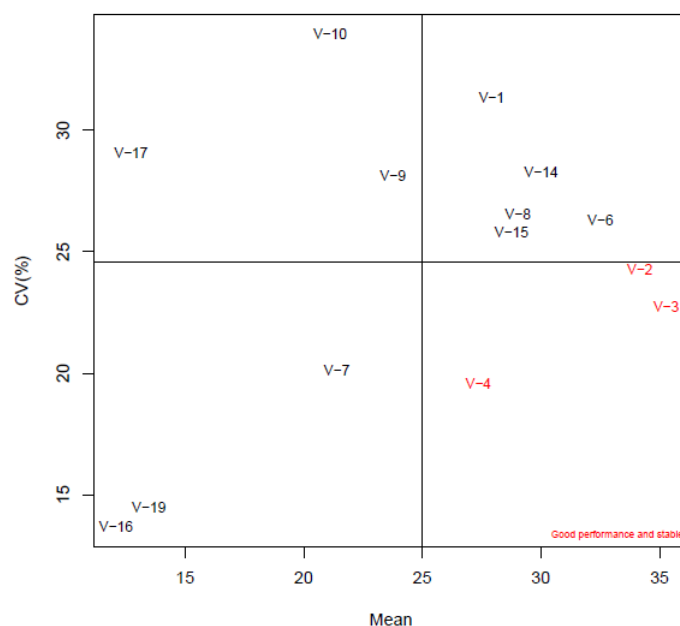


Figura 2. Grafica de estabilidad para la variable severidad. V-1= Temporalera, V-2= Galvez, V-3= Salamanca, V-4= Cortazar, V-6= Barcenas, V-7= Tlaxcala, V-8= Nahuatl, V-9= Reveca, V-10= Triunfo, V-14= Maya, V-15= Urbina, V-16= Nanacamilpa, V-17= Altiplano y V-19= Don Carlos.

Las variedades con severidad más alta fueron Gálvez, Salamanca y Cortazar, en contraste con las que obtuvieron menor severidad: Altiplano, Nanacamipa y Don Carlos (Figura 2).

Por otra parte, al realizarse el análisis de varianza y comparación de medias de combinados a través de tratamientos (con fungicida y sin fungicida) para cada sitio se encontró lo siguiente:

**Chimalpa:** La variable rendimiento (t/ha) no mostró diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida. Las variedades con mayor rendimiento fueron: Galvez (4152.5), Urbina (4037.8) y Salamanca (3889.0); y las variedades con menor rendimiento fueron Rebeca (2698.3), Don Carlos (3371.5) y Nanacamilpa (3387.3). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) si hubo diferencia entre plantas tratadas con fungicida (11.60) y no tratadas (30.0). Presentaron una mayor severidad las variedades: Bárcenas (27.5), Cortázar (27.5), Urbina (27.5).

**Humantla:** para la variable rendimiento (t/ha) no se encontró diferencia entre plantas tratadas con fungicida y no tratadas. Altiplano (5170.5), Rebeca (4573.5) y Temporalera (4269.8) presentaron los mayores rendimientos; en contraste con Salamanca (2647.3), Gálvez (2750.3) y Bárcenas (3185.8) que tuvieron los menores rendimientos. Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) si hubo diferencia entre plantas tratadas (13.21) y no tratadas con fungicida (43.39). Las variedades más afectadas fueron Gálvez (45.0), Salamanca (40.0) y Temporalera (38.7); Altiplano (8.75), Nanacamilpa (11.25) y Don Carlos (11.25) fueron las menos afectadas.

**Juchitepec:** la variable rendimiento (t/ha) no mostró diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida, las variedades con mayor rendimiento fueron Nanacamilpa (5345.8), Altiplano (5124.3) y Rebeca (4920.3); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (3843.0), Náhuatl (3870.3) y Maya (3889.5). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) si se encontró diferencia entre plantas tratadas (13.39) y no tratadas con fungicida (26.25). Las variedades más dañadas fueron Salamanca (27.5), Cortázar (27.5) y Bárcenas (25.0); las menos afectadas fueron Altiplano (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Don Carlos (15.0).

**Nanacamilpa:** la variable rendimiento (t/ha) mostró diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida, las variedades con mayor rendimiento fueron Nanacamilpa (5649.0), Altiplano (4954.8) y Temporalera (4920.8); las variedades con menor rendimiento fueron Salamanca (2129.8), Bárcenas (2466.0) y Cortázar (2850.0). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) si hubo diferencia entre plantas tratadas (13.21) y no tratadas con fungicida (44.82). Las variedades más afectadas fueron Bárcenas (40.0), Gálvez (38.7) y Salamanca (37.5); las menos afectadas fueron Nanacamilpa (12.5), Don Carlos (17.5) y Altiplano (20.0).

**Soltepec:** la variable rendimiento (t/ha) no mostró diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida, las variedades con mayor rendimiento fueron Nanacamilpa (3280.3), Don Carlos (2980.0) y Náhuatl (2907.0); las variedades con menor rendimiento fueron Rebeca (1738.8), Temporalera (2095.5) y Maya (2278.8).

Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) no hubo diferencia entre plantas tratadas (11.42) y no tratadas con fungicida (23.39). Las variedades más afectadas fueron Gálvez (26.25), Salamanca (23.7) y Maya (20.0); las menos afectadas fueron Nanacamilpa (10.0), Don Carlos (11.2) y Rebeca (13.7).

**Sta. Lucía:** la variable rendimiento (t/ha) mostro diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida. Las variedades Nanacamilpa (4290.3), Tlaxcala (3752.8) y Salamanca (3526.3) presentaron el mayor rendimiento; las variedades Rebeca (2434.5), Temporalera (3062.8) y Don Carlos (3083.3) tuvieron los menores rendimientos. Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) hubo diferencia entre plantas tratadas (11.67) y no tratadas con fungicida (45.35). Las variedades más afectadas fueron Salamanca (47.5), Gálvez (43.7) y Temporalera (43.7); Altiplano (12.5), Don Carlos (12.5) y Triunfo (15.0) fueron las menos afectadas.

**Tenango:** la variable rendimiento (t/ha) no mostró diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida. Las variedades con mayor rendimiento fueron Altiplano (6196.0), Nanacamilpa (5569.8) y Temporalera (5526.0); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (3033.0), Maya (3568.5) y Salamanca (3978.8). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) hubo diferencia entre plantas tratadas (17.67) y no tratadas con fungicida (33.57). Las variedades más afectadas fueron Bárcenas (42.5), Urbina (40.0) y Salamanca (37.5); las menos afectadas fueron Altiplano (12.5), Nanacamilpa (12.5) y Don Carlos (13.7).

**Terrenate:** la variable rendimiento (t/ha) no mostró diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida, las variedades con mayor rendimiento fueron Nanacamilpa (2935.8), Tlaxcala (2723.5) y Gálvez (2377.3); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (1402.8), Maya (1699.0) y Salamanca (1778.3). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) hubo diferencia entre plantas tratadas (13.75) y no tratadas con fungicida (40.71). Las variedades más afectadas fueron Maya (46.2), Gálvez (40.0) y Salamanca (40.0); las menos afectadas fueron Altiplano (12.5), Nanacamilpa (12.5) y Don Carlos (13.7).

**Velasco:** la variable rendimiento (t/ha) no mostro diferencia entre plantas tratadas y no tratadas con fungicida. Las variedades Altiplano (4083.0), Rebeca (3868.3) y Triunfo (3769.3) tuvieron los rendimientos más altos; las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (2071.8), Cortazar (2425.8) y Maya (2430.5). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) no hubo diferencia entre plantas tratadas (13.92) y no tratadas con fungicida (41.07). Las variedades más afectadas fueron Barcenas (41.2), Salamanca (38.7) y Urbina (36.2); las menos dañadas fueron Altiplano (12.5), Don Carlos (12.5) y Nanacamilpa (13.7).

En cuanto al análisis de varianza y comparación de medias de combinados a través de todos los sitios, para cada tratamiento, se encontró lo siguiente:

**Con fungicida:** las localidades con una mayor media de rendimiento (t/ha) fueron Tenango (5211.2), Juchitepec (5066.3) y Nanacamilpa (4296.1) y las localidades que tuvieron las menores medias fueron Terrenate (2407.2), Soltepec (2714.1) y Velasco (3553.3). Con las variedades Nanacamilpa (4459.2), Altiplano (4367.3) y Temporalera (4140.5) se logró mayor producción; en contraste con Barcenas (3410.0), Maya (3553.3) y Cortazar (3695.4) que tuvieron los menores rendimientos.

Las localidades con mayor severidad final (sev3 = % de área total dañada) fueron Tenango (17.6), Velasco (13.92) y Terrenate (13.7); en contraste con Soltepec (11.4), Chimalpa (11.6) y Sta. Lucia (12.6) que tuvieron las medias menores. Las variedades con mayor área afectada fueron Maya (16.9), Salamanca (16.6) y Barcenas (16.3); las variedades con menor daño fueron Altiplano (9.1), Nanacamilpa (9.4) y Don Carlos (10.5).

**Sin fungicida:** Las localidades en que se registró mayor rendimiento (t/ha) fueron Tenango (4280.8), Juchitepec (3762.1) y Chimalpa (3278.4); en comparación con las de menor producción: Terrenate (1971.8), Soltepec (2423.8) y Velasco (2636.2). Las variedades con las que se obtuvieron mayores rendimientos fueron Nanacamilpa (4051.4), Altiplano (3843.6) y Don Carlos (3477.9); Salamanca (2270.3), Bárcenas (2285.9) y Maya (2556.7) presentaron las medias mas bajas.

Para la variable severidad final ( $sev3 = \% \text{ de \u00e1rea total da\u00f1ada}$ ) las localidades con mayor da\u00f1o fueron Sta. Lucia (45.3), Nanacamilpa (44.8) y Humantla (43.3); las localidades con menor \u00e1rea afectada Soltepec (23.3), Juchitepec (26.2) y Chimalpa (30.0). Las variedades con mayor severidad fueron Salamanca (53.8), G\u00e1lvez (52.7) y Barcen\u00e1s (48.6); las variedades que presentaron menor \u00e1rea da\u00f1ada fueron Nanacamilpa (14.7), Altiplano (16.3) y Don Carlos (16.3).

De acuerdo al an\u00e1lisis de varianza y comparaci\u00f3n de medias individuales por localidad y tratamiento, se observ\u00f3 lo siguiente:

#### *Localidad Chimalpa*

**Con fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor media fueron G\u00e1lvez (4988.5), Salamanca (4660.0) y Urbina (4357.0); Rebeca (2811.0), Nanacamilpa (3484.0) y Triunfo (3599.0) tuvieron la menor producci\u00f3n. Las variedades con mayor severidad final ( $sev3 = \% \text{ de \u00e1rea total da\u00f1ada}$ ) fueron Temporalera (15.0), Cort\u00e1zar (15.0) y B\u00e1rcenas (15.0); las variedades con menor porcentaje de \u00e1rea afectada fueron Altiplano (5.0), Nanacamilpa (7.5) y Tlaxcala (10.0).

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Urbina (3718.5), Maya (3636.0) y N\u00e1huatl (3581.5); las variedades con menor media fueron Rebeca (2585.5), Don Carlos (2976.0) y Cort\u00e1zar (2991.0). Para la variable severidad final ( $sev3 = \% \text{ de \u00e1rea total da\u00f1ada}$ ) las variedades con mayor severidad fueron B\u00e1rcenas (40.0), Cort\u00e1zar (40.0) y Urbina (40.0); las variedades con menor \u00e1rea da\u00f1ada fueron Altiplano (15.0), Nanacamilpa (15.0) y Don Carlos (17.5).

#### *Localidad Huamantla*

**Con fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor producci\u00f3n fueron Altiplano (5274.5), Rebeca (5017.0) y Cort\u00e1zar (4657.0); las variedades con menor rendimiento fueron G\u00e1lvez (3190.5), Salamanca (3723.0) y B\u00e1rcenas (3775.5). Para la variable severidad final ( $sev3 = \% \text{ de \u00e1rea total da\u00f1ada}$ )

las variedades con mayor daño fueron Salamanca (20.0), Temporalera (17.5) y Urbina (15.0); las variedades con menor área afectada fueron Altiplano (7.5), Don Carlos (7.5) y Cortázar (10.0).

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor media fueron Altiplano (5066.5), Rebeca (4130.0) y Temporalera (3941.0); las variedades con menor rendimiento fueron Salamanca (1571.5), Gálvez (2310.0) y Urbina (2538.5). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) las variedades con mayor media fueron Gálvez (75.0), Temporalera (60.0) y Náhuatl (60.0); las variedades con menor daño fueron Altiplano (10.0), Nanacamilpa (12.5) y Don Carlos (15.0).

#### *Localidad Juchitepec*

**Con fungicida:** Las variedades con mayor rendimiento fueron Rebeca (5775.0), Nanacamilpa (5661.5) y Triunfo (5355.0); Tlaxcala (4543.0), Náhuatl (4559.0) y Temporalera (4705.5) presentaron la menor producción. Las variedades con mayor severidad fueron Temporalera (17.5), Salamanca (17.5) y Gálvez (15.0); las variedades con menor porcentaje de área afectada fueron Rebeca (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Urbina (10.0).

**Sin fungicida:** Nanacamilpa (5030.0), Altiplano (4943.5) y Don Carlos (4395.0) tuvieron el mayor rendimiento; las variedades con menor producción fueron Bárcenas (2838.0), Salamanca (2859.0) y Maya (3027.5). Las variedades con mayor severidad fueron Cortázar (42.5), Salamanca (37.5) y Bárcenas (35.0); las variedades con menor porcentaje de área dañada fueron Altiplano (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Don Carlos (15.0).

#### *Localidad Nanacamilpa*

**Con fungicida:** Nanacamilpa (5760.0), Altiplano (5645.5) y Temporalera (5578.5) fueron las variedades con mayor rendimiento; en contraste con las variedades de menor producción Salamanca (3133.5), Barcenas (3300.5) y Cortázar (3483.5). Para la variable severidad final las variedades con mayor media fueron Temporalera



(15.0), Cortázar (15.0) y Maya (15.0); las variedades Tlaxcala (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Don Carlos (10.0) tuvieron la menor severidad.

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor producción fueron Nanacamilpa (5538.0), Altiplano (4264.0) y Temporalera (4263.0); las variedades con menor rendimiento fueron Salamanca (1126.0), Barcenas (1631.5) y Nahuatl (1795.5). La severidad 3 = % de área final dañada fué mayor en las variedades Bárcenas (65.0), Gálvez (65.0) y Salamanca (60.0); las variedades con menor severidad fueron Nanacamilpa (15.0), Don Carlos (25.0) y Altiplano (27.5).

#### *Localidad Soltepec*

**Con fungicida:** las variedades con mayor media de rendimiento (t/ha) fueron Nanacamilpa (3392.0), Náhuatl (3184.0) y Don Carlos (3050.0); las variedades con una media menor fueron Rebeca (1798.0), Temporalera (2203.0) y Maya (2430.5). Para la variable severidad final las variedades con mayor severidad final fueron Cortázar (17.5), Gálvez (17.5) y Maya (15.0); las variedades con menor área total dañada fueron Altiplano (7.5), Nanacamilpa (7.5) y Don Carlos (7.5).

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Nanacamilpa (3168.5), Don Carlos (2910.0) y Urbina (2724.0); las variedades con menor rendimiento fueron Rebeca (1679.5), Temporalera (1988.0) y Altiplano (2075.5). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) las variedades con mayor severidad fueron Salamanca (35.0), Gálvez (35.0) y Temporalera (30.0); las variedades con menor severidad fueron Nanacamilpa (12.5), Don Carlos (15.0) y Rebeca (17.5).

#### *Localidad Sta. Lucía*

**Con fungicida:** Salamanca (4693.0), Nanacamilpa (4351.5) y Tlaxcala (4190.5) presentaron mayor rendimiento; las variedades con menor rendimiento fueron Rebeca (2933.0), Don Carlos (3268.5) y Triunfo (3447.5). Para la variable severidad final las variedades con mayor media fueron Gálvez (17.5), Salamanca (15.0) y

Maya (15.0); las variedades con menor daño fueron Rebeca (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Tlaxcala (10.0).

**Sin fungicida:** se observó mayor rendimiento con las variedades Nanacamilpa (4229.0), Tlaxcala (3315.0) y Triunfo (3252.0); las menores medias de producción fueron Rebeca (1936.0), Temporalera (2017.0) y Salamanca (2359.5). Al evaluar área total dañada las variedades con mayor daño fueron Salamanca (80.0), Temporalera (75.0) y Gálvez (70.0); las variedades con menor media fueron Altiplano (15.0), Don Carlos (15.0) y Triunfo (20.0).

#### *Localidad Tenango*

**Con fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Altiplano (6481.0), Rebeca (6022.5) y Nanacamilpa (5981.5); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (3716.5), Maya (4138.0) y Urbina (4575.5). Para la variable severidad final (sev3 = % de área total dañada) las variedades con mayor severidad fueron Maya (25.0), Urbina (25.0) y Barcenas (25.0); las variedades con menor severidad fueron Altiplano (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Rebeca (12.5).

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Altiplano (5911.0), Temporalera (5184.5) y Don Carlos (5170.0); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (2349.5), Maya (2999.0) y Salamanca (3248.0). Para la variable severidad las variedades con mayor severidad fueron Barcenas (60.0), Urbina (55.0) y Salamanca (52.5); las variedades con menor severidad total fueron Altiplano (15.0), Nanacamilpa (15.0) y Don Carlos (15.0).

#### *Localidad Terrenate*

**Con fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Nanacamilpa (2855.5), Tlaxcala (2498.5) y Don Carlos (2277.5); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (1191.5), Maya (1344.5) y Salamanca (1364.5). Para la variable severidad total las variedades con mayor

severidad fueron Maya (70.0), Gálvez (65.0) y Salamanca (65.0); las variedades con menor severidad fueron Altiplano (15.0), Nanacamilpa (15.0) y Don Carlos (15.0).

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Altiplano (5911.0), Temporalera (5184.5) y Don Carlos (5170.0); las variedades con menor rendimiento fueron Bárcenas (2349.5), Maya (2999.0) y Salamanca (3248.0). Para la variable severidad final las variedades con mayor severidad fueron Barcenás (60.0), Urbina (55.0) y Salamanca (52.5); las variedades con menor porcentaje de daño fueron Altiplano (15.0), Nanacamilpa (15.0) y Don Carlos (15.0).

#### *Localidad Velasco*

**Con fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Altiplano (4476.5), Rebeca (4418.0) y Triunfo (4272.0); las variedades con menor media fueron Salamanca (2776.5), Cortázar (2871.5) y Maya (3002.0). Para la variable severidad total las variedades con mayor severidad fueron Salamanca (17.5), Urbina (17.5) y Maya (17.5); Altiplano (10.0), Nanacamilpa (10.0) y Don Carlos (10.0) fueron las variedades con menor severidad.

**Sin fungicida:** para la variable rendimiento (t/ha) las variedades con mayor rendimiento fueron Altiplano (3689.5), Don Carlos (3564.0) y Nanacamilpa (3483.5); en comparación con las variedades Bárcenas (1079.5), Gálvez (1740.5) y Maya (1859.0) que presentaron un menor rendimiento. Para la variable severidad final (área total dañada) las variedades con mayor severidad fueron Barcenás (65.0), Salamanca (60.0) y Cortázar (55.0); las variedades con menor severidad fueron Altiplano (15.0), Don Carlos (15.0) y Nanacamilpa (15.0).

### **3.4 Conclusiones**

En la presente investigación se logró detectar variabilidad genética para:

- Tolerancia a enfermedades foliares, destacando las localidades que presentaron la menor severidad: Soltepec, Juchitepec y Chimalpa.
- Alto potencial de rendimiento bajo condiciones naturales de incidencia de patógenos en campo, sobresaliendo las localidades donde se obtuvieron los mas altos rendimientos: Tenango, Juchitepec y Huamantla.
- De acuerdo con las variables de rendimiento de grano destacaron las variedades donde se obtuvo mayor rendimiento: Nanacamilpa, Altiplano y Don Carlos; como los genotipos más aptos para siembras en los temporales de las 9 localidades de Valles Altos Centrales donde se evaluaron catorce variedades de temporal.

### 3.5 Literatura

Agrios, G. N. 1986. Fitopatología. Editorial Limusa, México. 756 pp.

Barrera, G. E. 1994. Influencia de las enfermedades foliares en la germinación y vigor de trigo (*Triticum aestivum* L.) e identificación de la micoflora asociada en forma natural. Tesis de maestría en ciencias. C. P. Programa interdisciplinario de producción de semillas. Montecillos, México.

Delouche, J. C., & Caldwell, W. P. 1962. Seed vigor and vigor test. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts. 50: 124-129.

Díaz, M. 1996. Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas. INIA La Estanzuela. Serie técnica No. 74.

García, S. G. 1993. Efecto de fertilizantes foliares y fungicidas sobre la incidencia del complejo de enfermedades foliares en dos variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en Juchitepec, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo Estado de México, México.

Hernández, R. R. 1993. Identificación y cuantificación de patógenos asociados a la semilla de trigo (*Triticum aestivum* L) asperjado con fungicidas en campo en Juchitepec, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México.

Kiesling, R. L. 1985. The diseases of barley. pp. 269-312. In: Rasmusson, D. C. (ed.). Barley. Agronomy Monograph. 26. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

Lafond, G. P & Baker, R. J. 1986. Effects of genotype and seed size on speed of emergence and seedling vigor in Nine Spring wheat cultivars. Crop Science. 26: 341-345.

Leyva, M. G. y Villaseñor, E. M. 1992. Evaluación de fungicidas para el control de enfermedades foliares en trigo en Juchitepec, México. Revista Mexicana de Fitopatología.

Moreno, M. E. 1993. Tratamiento químico de las semillas para el combate de los hongos. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México, DF.

Obst, A. & Huber, G. 1988. Differences in efficacy profile of Desmel and Sportak against *Septoria* and *Helminthosporium* on cereal. *Phytopathology*. 40: 424-429.

Ortega, R. G. 1997. Efecto de las enfermedades foliares en diez variedades de trigo harinero y su repercusión en el rendimiento de grano y calidad de semilla. Tesis UACH. Chapingo, México.

Prescott, J. M., Burnett, P. A., Saari, E. E. *et al.*, 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D. F., México.

Rodríguez, C. E. 1991. Incidencia de la roña de la espiga (*Fusarium graminearum* Schw) en trigo (*Triticum aestivum* L.) y su combate químico en Juchitepec, Méx. Tesis UACH. Chapingo, México.

Santiago, J. G. 1994. Germinación y vigor en semilla de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con el establecimiento en campo. Tesis. Depto de Fitotecnia. Chapingo, México.

Shaner, G. 1987. Wheat diseases. p. 508-624. In: E. G. Heyne (ed.). *Wheat and wheat improvement*. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy Monograph. 13. ASA, CSSA, CSSA, Madison, WI.

Vargas, V. R. 1965. Presencia de hongos en semilla de arroz, patogenicidad y aspectos fisiológicos de *Helminthosporium oryzae* y *Fusarium nivale*. Edit. Limusa, México. 83 pp.

Villaseñor, M. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de maestría en ciencias. C. P. Chapingo, México.

Wiese, 1987. Compendium of wheat diseases. APS Press, St. Paul, MN. 112 pp.  
ISBN: 9974-38-062-6.

Zwatz, B. 1986. Gleme blotch control during ripening of Pflanzenschutz 6: 5-6.

Saari, E. E., & Prescott, J. M. 1975. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. Plant Disease Reporter. 59: 377-380.

## Capítulo IV. Áreas para producción de semilla de trigo en Valles Altos Centrales de México.

### Areas of seed of wheat production in the Mexican Central Highlands.

Acuayte-Valdés, Erik<sup>1</sup>, Sandoval-Islas, Sergio<sup>1</sup>, Carballo-Carballo, Aquiles<sup>1</sup>, Villaseñor-Mir, Eduardo<sup>2</sup>, Leyva-Mir, Santos Gerardo<sup>3</sup>, Vargas-Hernández, Mateo<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillos, Texcoco, Coahuila. C. P. 56230, Estado de México. ([acuaytevaldez@gmail.com](mailto:acuaytevaldez@gmail.com); [aquiles.carballo@gmail.com](mailto:aquiles.carballo@gmail.com); §Autor para correspondencia: [sandoval@colpos.mx](mailto:sandoval@colpos.mx)).

<sup>2</sup> Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Texcoco, Coahuila, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. [villasenor.hector@inifap.gob.mx](mailto:villasenor.hector@inifap.gob.mx).

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Texcoco. C. P. 56230, Estado de México. ([lsantos@correo.chapingo.mx](mailto:lsantos@correo.chapingo.mx); [vargas\\_mateo@hotmail.com](mailto:vargas_mateo@hotmail.com)).

### Resumen

La zonificación agro-ecológica permitió definir localidades con aptitud para el establecimiento del cultivo de trigo, así como las áreas que presentan condiciones no favorables para el desarrollo de la enfermedad tizón de la espiga por *Fusarium* sp. (TEF) la cual ocasiona reducción del peso en los granos y contaminación por micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON). En general, la producción agrícola es determinada por las combinaciones de clima y características del suelo. Para el trigo se consideró como temperatura óptima 15 a 23 °C, precipitación 750 a 900mm; TEF depende principalmente de la interacción de los factores climáticos y genotipo. Los umbrales climáticos considerados fueron los reportados para intensificar el Índice Relativo de la Enfermedad: temperatura mínima mayor de 11° C, temperatura media mayor de 16. 5° C, oscilación térmica menor a 13.4° C y precipitación pluvial mayor de 30 mm. Se delimitaron geográfica y cuantitativamente áreas potenciales tomando en cuenta los criterios que definen lugares y superficies climáticamente aptas para el cultivo del trigo de temporal (mayo a octubre) y no aptas para la TEF haciendo una discriminación de las zonas urbanas y de otro uso que no sea el agrícola, por lo tanto el mapa generado se puede utilizar como herramienta de planeación para el establecimiento del cultivo del trigo, extensión de áreas y renovación de plantaciones para la producción de semilla en los Valles Altos Centrales de México.

**Palabras clave:** Agrometeorología, zonificación, tizón de la espiga, *Fusarium* sp, deoxinivalenol.



## Abstract

The agro-ecological zoning allowed defining places with conditions for the establishment of wheat, as well as areas that did not have favorable conditions for the development of disease *Fusarium* sp. head blight of wheat (TEF) which causes weight reduction in grains and mycotoxin contamination including deoxynivalenol. Agricultural production is determined by the combinations of climate and soil characteristics. For wheat was considered optimal temperature 15-23 ° C, precipitation 750 to 900 mm; TEF mainly depends on the interaction of climatic factors and genotype. Climatic thresholds reported to intensify the Relative Index Disease considered were: minimum temperature higher than 11° C, higher average temperature of 16.5° C, and thermal oscillation less than 13.4° C and highest rainfall of 30 mm. They are geographically delimited and quantitatively potential areas taking into account the criteria that define places and climatically suitable areas for growing rained wheat (May to October) and unfit for TEF making discrimination in urban areas and other use not agriculture is therefore generated map can be used as a planning tool for the wheat crop establishment, extension and renewal of plantations areas for production and seed increase in Hight Valleys of Mexico.

**Keywords:** Agrometeorology, zoning, head blight, *Fusarium* sp, deoxinivalenol.

## 4.1 Introducción

Los cereales siguen siendo la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto para el consumo humano directo como, de una manera indirecta, para los insumos de la producción pecuaria. La tarea de producción que tiene ante sí la agricultura mundial es impresionante; para el año 2030, se necesitarán mil millones de toneladas más de cereales cada año (FAO, 2016). 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; tanto el cultivo como su procesamiento y consumo, generan una importante derrama económica y un gran número de empleos (Peña *et al.*, 2008).

Las primeras plantaciones de trigo en México se establecieron en 1865 en los Valles de Atlixco y San Martín, Toluca y el Valle de México, el Bajío de Guanajuato y Morelia (Fernández y Fernández, 1934), los cuales actualmente cubren una

superficie total de 1, 598 ha (SIAP, 2014). La expansión geográfica de las áreas de producción no ha considerado los requerimientos de la planta en cuanto a clima y suelo para asegurar el éxito del cultivo; en Valles Altos Centrales de México éstas se ubican en estratos altitudinales que oscilan entre los 2,200 y 2,600 msnm, rango que incluye diversos tipos de clima, que se refleja en una heterogeneidad en el comportamiento fenológico, en la producción y en la condición de riesgo a que se somete el cultivo. México obtuvo una producción mayor a 3´669,000 toneladas en condiciones de riego y temporal, la mayor proporción de trigo de temporal que se cultiva en el ciclo de verano se concentra en cinco de veinte estados. En el ciclo 2014 los estados de Tlaxcala, Zacatecas, Nuevo León, Guanajuato y Estado de México produjeron aproximadamente 191 mil ton, equivalentes al 80% del volumen cosechado en este ciclo (SIAP, 2014).

El rendimiento potencial de trigo está condicionado principalmente por las variaciones climáticas, específicamente por la radiación incidente y la temperatura media durante el periodo previo a la floración (Magrin y Travasso 1997). Debido al carbón parcial del trigo (*Tilletia indica*) (Brennan *et al.*, 1990), la producción de semilla ha tenido serias restricciones, sin embargo existe otra enfermedad importante en las zonas templadas y semitropicales (Ireta *et al.*, 1989) como es el caso del tizón de la espiga por *Fusarium* sp. (TEF), causando la reducción del peso en los granos y por consecuencia disminuyendo el rendimiento (Goswami y Kisler, 2004, Nicholson *et al.*, 2007), y propiciando contaminación en los granos por la presencia de micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON) (Miller *et al.*, 2001; Sip *et al.*, 2007). El desarrollo del TEF depende principalmente de la interacción de las condiciones climáticas y factores como genotipo, fertilización, fecha de siembra, entre otros (Velázquez, *et al.*, 2012). De acuerdo a Flores *et al.*, (2007), las variables de temperatura mínima, temperatura media, oscilación térmica y precipitación pluvial mostraron una alta correlación con el índice relativo de la enfermedad (IRE), en el periodo de emergencia de la espiga hasta la floración a la base de la espiga, o estados de desarrollo fenológico del 59 al 83 de acuerdo a la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974). Los valores críticos de los elementos del clima para intensificar el IRE fueron: temperatura mínima mayor de 11° C, temperatura media mayor de 16. 5° C, oscilación térmica menor a 13.4° C y precipitación pluvial mayor de 30 mm.

La zonificación agro-ecológica (ZAE) define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas similares relacionadas con la aptitud de tierras, la producción potencial y el impacto ambiental. La suma de otras capas de información, tales como la tenencia y disponibilidad de la tierra, los requisitos nutricionales de las poblaciones humana y ganadera, las infraestructuras, costos y precios, ha hecho posible el desarrollo de aplicaciones más avanzadas en el análisis de los recursos naturales y la planificación de usos de tierras (FAO, 1994).

Un estudio realizado por CIMMYT (2008) delimitó las zonas potenciales para la producción de trigo en México, sin embargo, no considera las características climáticas que favorecen el TEF, ni el uso del suelo. El objetivo del presente trabajo fue delimitar geográfica y cuantitativamente áreas potenciales tomando en cuenta los criterios que definen lugares y superficies climáticamente aptas para el cultivo del trigo de temporal (mayo – octubre) y no aptas para el TEF, haciendo una discriminación de las zonas urbanas y de otro uso que no sea el agrícola; por lo tanto, el mapa generado se puede utilizar como herramienta de planeación para el establecimiento del cultivo del trigo, extensión de áreas y renovación de plantaciones para la producción e incremento de semilla en Valles Altos Centrales de México.

## **4.2 Materiales y Métodos**

Con los requerimientos climáticos del cultivo de trigo (*Triticum durum*) se cartografió las zonas óptimas para su establecimiento, zonas para incrementar y producir semillas de calidad considerando las condiciones climáticas requeridas para el desarrollo del patógeno (*Fusarium*) en la región de Valles Altos Centrales de México comprendida en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala; presenta elevaciones entre 90 a 4,200 msnm, con una precipitación del mes de mayo a octubre de 260 – 2,500 mm y una temperatura media de 5 a 28 °C; con una superficie de 81, 612.95 km<sup>2</sup>. Las variables evaluadas son: temperatura promedio y precipitación acumulada del mes de mayo a octubre y altitud de la región.

De acuerdo a FAO (1997) la producción agrícola es determinada por las combinaciones similares de clima y características del suelo; en el Cuadro 1 se indican las condiciones climáticas apropiadas para el establecimiento y obtención

de un rendimiento óptimo del trigo. Existen factores bióticos o abióticos que reducen el rendimiento y calidad del grano, como es el caso de la enfermedad Tizón de la espiga ocasionado por *Fusarium graminearum* que se presenta durante el periodo de floración en unas condiciones templado húmedo (Flores *et al.*, 2007). Los requerimientos para que se presente la enfermedad se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Requerimientos climáticos del cultivo del trigo.

Condición	Optima	Absoluta
Temperatura (°C)	15 – 23	5 – 27
Precipitación (mm)	750 – 900	300 – 1600
Altitud (msnm)	----	4500

Fuente: Ecocrop, 2015.

Cuadro 2. Requerimientos climáticos del hongo *Fusarium graminearum*.

Condición	Optima
Temperatura mínima (°C)	11
Temperatura media (°C)	16.5
Oscilación térmica (°C)	750 – 900
Precipitación (mm)	30

Fuente: Flores *et al.*, 2007.

Para la cartografía se utilizó la base de datos obtenida del ERIC III (Extractor Rápido de Información Climática, IMTA 2009) de 531 estaciones ubicadas dentro del área de estudio y 66 estaciones alrededor de la zona de estudio. Las variables analizadas fueron: precipitación y temperatura media durante el periodo de mayo a octubre; además de considerar la altitud de la región. En el Cuadro 3 se presentan los rangos de la altitud, precipitación y temperatura media por entidad federativa.

Cuadro 3. Altitud, precipitación y temperatura media por estado de Valles Altos Centrales de México.

Estado	Número de estaciones	Altitud (msnm)		Precipitación (mm)		Temperatura media (°C)	
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Hidalgo	112	130	2 916	262	2 065	12	28
México	242	580	4 283	405	4 487	5	28
Puebla	136	91	3 393	281	2 911	9	28
Tlaxcala	41	2 215	2 907	379	978	11	18

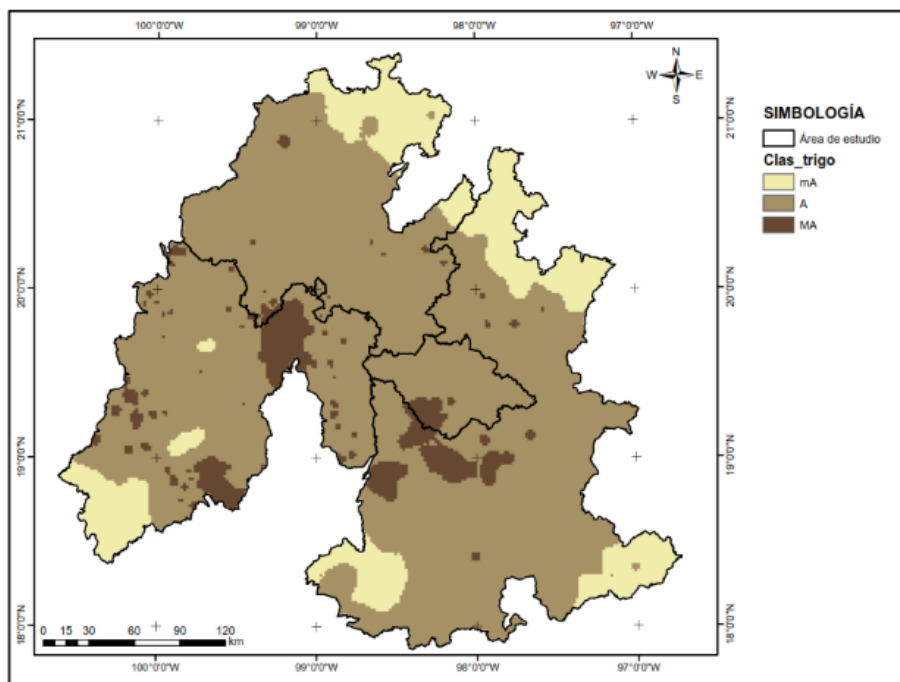
Fuente: ERICIII.

Para la elaboración de la cartografía se empleó el programa ArcMap GIS 10.2 (sistema que permite recopilar, organizar, analizar y distribuir información geográfica) con el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting: método de distancia inversa) el cual es empleado en la representación de variables con continuidad espacial ya que no cambia el rango de los valores en los puntos de muestra (Siabato y Yudego, 2004; Pineda y Suárez, 2014).

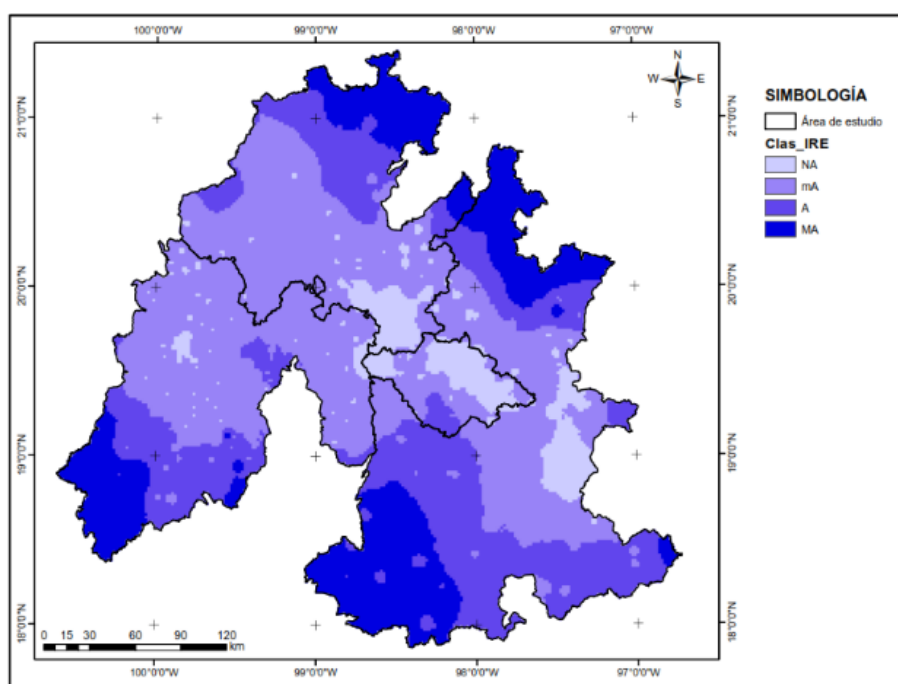
En la determinación del intervalo y número de clases de cada una de los mapas, se utilizó el método propuesto por Law *et al* (2009), el cual consiste en tomar en cuenta la media y desviación estándar de los valores del mapa para determinar las clases.

### 4.3 Resultados y Discusión

Del mapa elaborado se obtuvo como resultado que en el área de estudio las condiciones que se encuentran para el establecimiento del cultivo son: marginalmente apto (mA), apto (A) y muy apto (MA), (Figura 1). En lo que respecta a la clasificación del índice relativo de la enfermedad (IRE) en presentación cartográfica, se obtuvo que las condiciones climáticas del área de estudio lo dividen en: No apta (NA), mA, A y MA, (Figura 2).



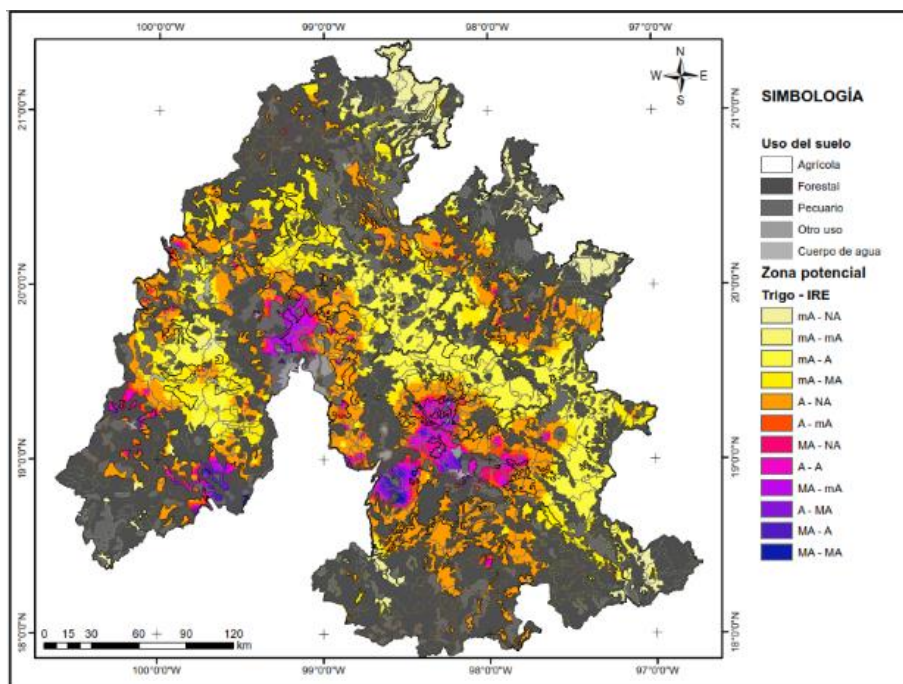
**Figura 1. Clasificación de áreas por requerimientos climáticos para el establecimiento del cultivo de trigo en Valles Altos Centrales de México.**



**Figura 2. Clasificación en base al Índice Relativo de la Enfermedad (IRE) fusariosis del trigo en Valles Altos Centrales de México.**

La combinación de los mapas de clasificación del trigo y del IRE permitió identificar las zonas potenciales para el incremento de la producción de semilla de calidad (genética, física, fisiológica y sanitaria) del cultivo; (Figura 3).

Es necesario considerar que las variedades para siembras de temporal son un componente tecnológico importante para el productor, ya que estas deben reunir ciertas características agronómicas y fitopatológicas que les permitan lograr una buena cosecha, ante una problemática biótica y abiótica (Villaseñor y Moreno, 1998).



**Figura 3. Zonificación de Valles Altos Centrales de México en base al requerimiento climático del trigo y el IRE.**

Las mejores zonas son aquellas que son muy aptas para el cultivo y que no tienen un IRE alto, como es el caso de Tepetitla, Nativitas, Santa Isabel y Tepeyanco. El mapa final fue generado para condiciones de temporal, con la temperatura media promedio y precipitación acumulada durante los meses de mayo a octubre obtenidas de las normales climatológicas. Se estimó el área para cada tipo de uso del suelo en la región de los Valles Altos Centrales de México (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Clasificación y estimación del área de Valles Altos Centrales de México de acuerdo al uso de suelo.**

<b>Uso de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Agrícola	37,370.03
Cuerpo de agua	35,429.01
Forestal	8,074.87
Otro uso	565.40
Pecuario	173.64
<b>Total</b>	<b>81,612.95</b>

El Cuadro 5 muestra los municipios y la clasificación asignada de acuerdo a las condiciones ambientales óptimas o no aptas, para el cultivo y el patógeno.

**Cuadro 5. Municipios de Valles Altos Centrales de México clasificados de acuerdo a condiciones ambientales para producción de trigo.**

<b>Municipio</b>	<b>Clasificación Trigo/IRE</b>	<b>Área (ha)</b>
Huejutla de reyes (Hgo)	mA - A	31,868.28
San Felipe Orizatlan (Hgo)	mA - A	24,318.59
Atlapexco (Hgo)	mA - A	14,629.86
Chiautla (Pue)	mA - A	12,801.10
Ayotoxco de Guerrero (Pue)	mA - A	11,332.94
Francisco Z. Mena (Pue)	mA - A	11,236.79
Hueytamalco (Pue)	mA - A	11,228.10
Tepehuacan de Guerrero (Hgo)	mA- mA	4,939.44
Jocotitlan (Mex)	mA- mA	3,830.49
Chiautla (Pue)	mA- mA	3,453.51
Calnali (Hgo)	mA- mA	2,694.66
Zinacatepec (Pue)	mA- mA	2,336.00



Tianguistengo (Hgo)	mA- mA	2,090.08
Huehuetla (Hgo)	mA- mA	1,871.16
Tlaxco (Tla)	mA - A	46,380.32
Chalchicomula de Sesma (Pue)	mA - A	32,996.45
Apan (Hgo)	mA - A	27,183.59
Chignahuapan (Pue)	mA - A	24,954.17
Palmar de Bravo (Pue)	mA - A	24,634.55
Tepeyahualco (Pue)	mA - A	24,106.27
Huamantla (Tla)	mA - A	23,758.41
Atizapan de Zaragoza (Mex)	MA - A	230.10
Acuamanala de Miguel Hidalgo (Tla)	MA - A	47.70
Tochimilco (Pue)	MA - A	4,346.12
Villa guerrero (Mex)	MA - A	4,087.69
Atzitzihuacan (Pue)	MA - A	3,526.71
Atlixco (Pue)	MA - A	3,127.63
Puebla (Pue)	MA - A	2,786.03
Huaquechula (Pue)	MA - MA	1,708.76
Malinalco (Mex)	MA - MA	634.20
Zumpahuacan (Mex)	MA - MA	15.32
Hueyotlipan (Tla)	A - NA	3,822.59
Muñoz de Domingo Arenas (Tla)	A - NA	1,445.18
San Lucas Tecopilco (Tla)	A - NA	482.32
Españita (Tla)	A - NA	6,004.71
Apizaco (Tla)	A - NA	1,449.91
Xaltocan (Tla)	A - NA	7,454.25
Yauhquemehcan (Tla)	A - NA	3,035.39
Apizaco (Tla)	A - mA	157.21
Xaltocan (Tla)	A - mA	45.33
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Tla)	A - mA	3,003.06

Panotla (Tla)	A - mA	1,171.66
Santa Cruz Tlaxcala (Tla)	A - mA	157.84
Apetatitlan de Antonio Carvajal (Tla)	A - mA	529.48
Tlaxcala (Tla)	A - mA	363.21
Tepetitla de Lardizabal (Tla)	MA - NA	522.35
Nativitas (Tla)	MA - NA	697.40
Santa Isabel Xiloxotla (Tla)	MA - NA	108.55
Tepeyanco (Tla)	MA - NA	185.04
Teolocholco (Tla)	MA - NA	3.21
Acuamanala de Miguel Hidalgo (Tla)	MA - NA	306.81
Santa Cruz Quilehtla (Tla)	MA - NA	97.65

---

De acuerdo a la figura 3, el estado con mejores características para producción del cultivo y producción de semilla es Tlaxcala en los municipios de Nativitas, Tepetitla y Acuamanala. Los municipios menos apropiados son: Huejutla, Francisco Z. Mena y Hueytamalco. Es importante mencionar que algunos municipios pueden tener más de una clasificación esto debido a sus características fisiográficas y climáticas.

#### 4.4. Conclusiones

Los sistemas de información geográfica (SIG), permitieron determinar las zonas óptimas de producción para el trigo e incremento de semilla, con el menor daño potencial por tizón de la espiga, considerando los usos del suelo.

De acuerdo con la zonificación, la parte norte de la región de los Valles Altos Centrales de México es un área favorable para el desarrollo de *Fusarium* spa y marginalmente apta para el establecimiento del trigo; en contraste la parte central es marginalmente apta para el desarrollo de *Fusarium* sp. pero apta para el establecimiento del cultivo, teniendo como resultado la mejor área para lograr mayor producción y obtener semilla de buena calidad.

#### 4.5 Literatura

Brennan, J. P., Warham, E. J., Hernández, J., Byerlee, D., y Coronel, F. 1990. Pérdidas económicas ocasionadas por el carbón parcial del trigo en México. CIMMYT: México, D.F.: México. 56 pp.

CIMMYT (laboratorio de sistemas de Información Geográfica). 2008. Zonas potenciales de cultivo de trigo. [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)

Ecocrop, 2015. Ecocrop database. FAO, Rome, Italy.

FAO. 1994. AEZ in Asia. Proceedings of the regional workshop on Agro-Ecological Zones Methodology and Applications. Bangkok, Thailand, 17-23 November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome, FAO.

FAO. 1997. Zonificación agro-ecológica (guía general). Boletín de suelos de la FAO no. 73.

FAO. 2016. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Encontrado en: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s08.htm#TopOfPage> consultado febrero 2017

Fernández, R. y Fernández. 1934. La historia del trigo. Revista Crisol.

Flores, L. H. E., Ireta, M. J., y Ruíz, C. J. A. 2007. Factores Meteorológicos Asociados al Tizón de la Espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en Trigo (*Triticum aestivum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología. 25: 2.

Goswami, R. S., & Kistler, H. C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. Molecular Plant Pathology 5: 515-525.

IMTA 2009. Extractor Rápido de information Climatológica versión 3.

Ireta, M. J., Sosa, M. C., Romero, C. S., y Bekele, G. 1989. Estimación de las pérdidas en trigo (*Triticum* sp. L.) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). *Agrociencia*. 77: 89-102.

Law, M. C., Balasundram, S. K., Husni, M. H., Ahmed, O. H., y Harun, M. H. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in oil palm. *International Journal of Soil Science* 4:93-103.

Magrin, G. y Travasso, M. I. 1997. Potencial de producción del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la región pampeana argentina. pp. 34-45. En memorias de la Reunión de Planificación Estratégica de Trigo INTA-CIMMYT. Mar de Plata.

Miller, J. D., Simon, J. W., Blackwell, B. A., Greenhalgh, R., and Taylor, A. 2001. Deoxynivalenol: A 25 years' perspective on a trichothecene of agricultural importance. In: Summerell, B. E., Leslie, J. F., Backhouse, D., Bryden, W. L., & Burgess, L. W. *Fusarium: Paul E. Nelson Memorial Symposium*. APS Press. St. Paul, MN, USA. 392 p.

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

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

Pineda, S. D. L. y Suárez H. J. E. 2014. Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Ingeniería Agrícola*. ISSN-2326-1545, RNPS-0622. Vol. 4 Núm. 3 pp 28-32.

Rodríguez, C. M. E., Villaseñor, M. H. E., Leyva, M. G., Huerta, E. J., Sandoval, I. J. S., y De los Santos, P. H. M. 2008. Efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de

trigo de temporal en ambientes lluviosos de los Valles Altos Centrales de México. *Agrociencia*. 42(4): 435-442.

Siabato, W. y Yudego, C. 2004. *Geoestadística y Medio Ambiente. Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica. Aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles) y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia*. Conesa, C. y Martínez, J. B. Eds. Murcia, 2004. pp.11-25.

SIAP 2014. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>

Sip, V., Chrpova, J., Leisova, L., Sykorova, S., Lucera, L., and Ovesna, J. 2007. Implications for *Fusarium* head blight control from study of factors determining pathogen and DON content in grain of wheat cultivars. pp. 281-287. In: Buck, H. T., Nisi, J. E. & Salomon N. (eds.). *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.

Velázquez, P. D., Formento, A. N., Velázquez, J. C., Schutt, L. S., Velazquez, R. D., Figoni, G. J., Melchiori, R. J. 2012. Asociación entre Fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.), genotipos de trigo y diferentes dosis de nitrógeno. Campaña 2011, Paraná, Entre Ríos. XVI Jornadas Fitosanitarias Argentinas, Potrero de Los Funes, San Luis. 3 al 5 de octubre de 2012.

Villaseñor, H. E., Moreno G. R. 1998. Batán F-96 Nueva variedad de trigo para siembras de temporal. Folleto técnico No. 8. Inifap.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421.

---