



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRIA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES DE N EN LA INCIDENCIA DE
HONGOS FITOPATÓGENOS EN GRANO DE TRIGO (*Triticum
aestivum* L.), BAJO SIEMBRA EN CAMAS PERMANENTES EN
VALLES ALTOS DE MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL

PRESENTA:

EDITH ANGÉLICA GUTIÉRREZ TLAHQUE



DIRECCION GENERAL ACADEMICA/
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, MÉXICO, JUNIO DE 2012



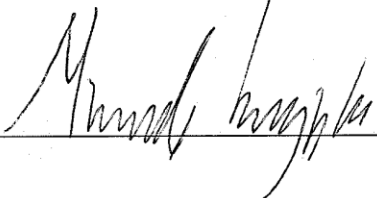
EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES DE N EN LA INCIDENCIA DE HONGOS
FITOPATÓGENOS EN GRANO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.), BAJO
SIEMBRA EN CAMAS PERMANENTES EN VALLES ALTOS DE MÉXICO

Tesis realizada por Edith Angélica Gutiérrez Tlahque bajo la dirección del
comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

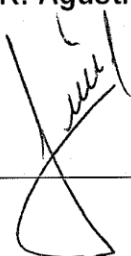
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

COMITÉ

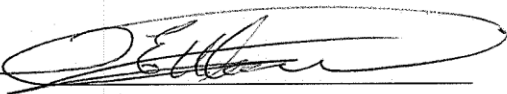
DIRECTOR: Santos Gerardo Leyva Mir

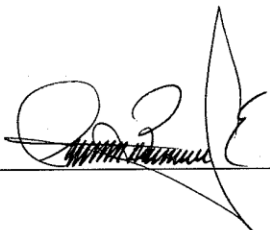


CO-DIRECTOR: Agustín Limón Ortega



ASESOR: Eduardo Villaseñor Mir ASESOR: Andrés Bolaños Espinoza





Chapingo, México, Junio 2014

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por ser mi alma mater, por haberme brindado la oportunidad de estudiar y llegar hasta este punto de mi vida.

Al Dr. Santos Gerardo Leyva Mir por brindarme su apoyo en la realización de esta investigación. Por los conocimientos adquiridos gracias por su amistad y confianza.

Al Dr. Agustín Limón Ortega por las asesorías brindadas durante el experimento de esta tesis, gracias por su apoyo y amistad.

Al Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir por su apoyo y por el material proporcionado para la realización de mi trabajo de investigación.

Al Dr. Andrés Bolaños Espinoza por su valiosa aportación en la revisión del presente trabajo.

A Marianita y al Sr. Juanito del Laboratorio de Micología del Departamento de Parasitología Agrícola por brindarme el material necesario para mi experimento de tesis.

Se reconoce el apoyo financiero brindado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT a través de proyecto intitulado: SISTEMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA GENERAR VARIEDADES RESISTENTES A ROYAS, DE ALTO RENDIMIENTO Y ALTA CALIDAD PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE TRIGO EN MÉXICO, No. 146788

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales:

Nombre: Edith Angélica Gutiérrez Tlahque

Fecha de nacimiento: 22 de Febrero de 1987.

Lugar de origen: México. D.F.

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola.

Formación académica

Preparatoria: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2002-2006).

Licenciatura: Departamento de parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2006-

2010).

El tema del trabajo de investigación con el cual obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola fue “ Incidencia de hongos en semilla de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) bajo condiciones de riego en Valles Altos de México.”.

Maestría en Ciencias: Programa en Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2012-2013).

DEDICATORIAS

A mis padres:

La Sra. Remedios Tlahque Michimani y el Sr. Jorge Gutiérrez Contreras, por apoyarme a lo largo de todo este tiempo a pesar de todas las adversidades, por brindarme su confianza y amor, les dedico este logro.

A mi hermanito:

Ángel Gutiérrez Tlahque porque a pesar de que hace mucho tiempo no estamos juntos siempre has estado para escucharme te quiero.

A mi hermoso y pequeño Bryan Peralta Gutiérrez por ser la motivación más grande de mi vida, mi inspiración, la razón del querer superarme día a día , **TE AMO PEQUE.**

A mi lindo esposo Mario Zaragoza Vargas por su apoyo y comprensión, **TE AMO.**

A mi abuelita Reyes Michimani Ramírez por quererme comprenderme, escucharme y ser como una madre para mí, te amo, siempre estarás en mi mente y corazón

A mis amigos:

Jessica, Lupita, Mary, Micah, Lalo, Xiu, Luisa y Marco por ser parte de mi vida estos dos años, por ser tan excelentes personas y estar conmigo cuando más los he necesitado, mil gracias por todo su apoyo.

Con cariño..... Edith Angélica Gutiérrez Tlahque

CONTENIDO

INDICE GENERAL	PÁGINAS
INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE CUADROS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1 Cultivo de trigo.....	6
3.2 Importancia del trigo en México.....	6
3.2.1 Distribución del trigo en México.....	6
3.3 Fertilización del trigo.....	7
3.3.1 Manejo de N para la producción de trigo en áreas de temporal de México.....	8
3.3.2 Importancia del N en el rendimiento y la presencia de enfermedades fungosas en trigo.....	8
3.3.2.1 Efecto del nitrógeno en aspectos de rendimiento en el trigo.....	8
3.3.2.2 Efecto del N en la presencia de enfermedades fungosas.....	10
3.4 Antecedentes de la labranza de conservación.....	10
3.4.1 Razones de uso de las camas permanentes.....	11
3.5 Origen de la variedad Náhuatl F 2000.....	13
3.5. 1 Características de la variedad Náhuatl F 2000.....	13
3.6 Predicción del potencial de rendimiento de grano de trigo usando un sensor óptico GreenSeeker™	14
3.7 Enfermedades del trigo.....	15
3.7.1 Hongos presentes en las semillas.....	16
3.7.2 Daños en semilla por <i>Fusarium</i> spp.....	16
3.7.3 Roña o tizón de la espiga del trigo causado por <i>Fusarium graminearum</i> Schwabe.....	17

3.7.4 Pudrición de la corona o roña de la espiga causada por <i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.)Sacc.....	19
3.7.5 Moho blanco o tizón de la espiga del trigo causado por <i>Fusarium nivale</i> Ces. Ex Berl. Y Vogl.....	21
3.7.6 Pudrición del pie o tizón de la espiga por <i>Fusarium culmorum</i> (W.G. Sm.)Sacc.....	23
3.7.7 Métodos de control para <i>Fusarium</i> spp.....	24
3.7.8 Daños en semillas causados por <i>Helminthosporium</i> spp.....	26
3.7.9 Tizón de la hoja, Punta negra del grano causado por <i>Helminthosporium sativum</i> Pammel, King y Bakke.....	26
3.7.10 Métodos de control para <i>Helminthosporium</i> spp.....	28
3.8 Hongos saprofitos.....	29
3.8.1 <i>Aspergillus</i> spp. Micheli.....	29
3.8.2 <i>Alternaria</i> spp. Nees.....	30
3.8.3 Manejo y control.....	30
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
4.1 Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en el rendimiento de trigo de temporal.....	31
4.1.2 Ubicación del experimento.....	31
4.1.3 Manejo del experimento (Santa Lucia y Apizaco).....	31
4.1.4 Variedades utilizadas.....	32
4.1.5 Descripción de los tratamientos y diseño experimental.....	32
4.1.5.1. Modelo (diseño: Bloques completos al azar).....	33
4.1.6 Tratamientos.....	33
4.1.7 Unidad experimental y muestreo.....	33
4.1.8 Variables evaluadas.....	34
4.1.9 Análisis de datos.....	34
4.2 Efecto de diferentes fuentes de N en la presencia de enfermedades fungosas en semilla de trigo.....	35
4.2.1 Método de identificación de hongos en la semilla (FREEZING BLOTTER) (Warham et al. ,1998).....	35

4.2.3 Identificación de especies en laboratorio.....	37
4.2.4 Análisis de datos.....	37
4.2.4.1 Diseño experimental.....	37
4.2.5 Variables estudiadas.....	37
4.2.6 Análisis estadístico.....	37
4.3 Toma de lecturas NDVI.....	37
4.3.1 Análisis estadístico.....	37
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1 Efecto de las fuentes de N en el rendimiento de trigo de temporal.....	38
5.1.2 Componentes de rendimiento que afectan la producción total de trigo.....	41
5.2 Identificación de hongos en semilla.....	45
5.2.1 Incidencia de enfermedades por sitios.....	48
5.3 Efecto de las fuentes de N en la incidencia de enfermedades en semilla de trigo.....	49
5.3.1 Componentes de rendimiento afectados por la incidencia de hongos asociados a semilla.....	52
5.4 Lecturas NDVI en el cultivo de trigo.....	56
VI. CONCLUSIONES.....	59
VII. LITERATURA CITADA.....	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sensor Óptico- GreenSeeker™ (NDVI).....	15
Figura 2. Método de identificación de hongos en la semilla (FREEZING BLOTTER) (Warham et al. ,1998) A) Desinfección, B) Colocación de las semillas C) Semillas en caja de plástico D) Formación de colonias Fungosas D) Identificación de hongos presentes en semilla (2012, Universidad Autónoma Chapingo).....	36
Figura 3. Efecto de las diferentes fuentes de nitrógeno en el cultivo de trigo de temporal en el sitio de Santa Lucia, Texcoco (A) Urea granular, (B) Urea foliar (C) nitrato de calcio, (D) Sulfato de Amonio, (E) Testigo.....	44
Figura 4. <i>Microconidios de Fusarium verticillioides</i>	45
Figura 5. Macroconidios de <i>Fusarium graminearum</i> y colonia en semilla de trigo.....	46
Figura 6. <i>Conidios de Fusarium avenaceum</i>	47
Figura 7. Conidios de <i>Helminthosporium sativum</i>	47
Figura 8. Conidios y colonia de <i>Alternaria</i> sp. Presente en semilla de trigo.....	48
Figura 9. Comportamiento de <i>Fusarium verticillioides</i> , en relación a la aplicación de diferentes fuentes de N.....	51
Figura 10. Comportamiento <i>Alternaria</i> sp., en relación a la aplicación de diferentes fuentes de N.....	52
Figura 11. Efecto de <i>Fusarium verticillioides</i> en los componentes de rendimiento (Apizaco).....	53
Figura 12. Efecto de <i>F. verticillioides</i> en los componentes de rendimiento (Santa Lucia).....	54
Figura 13. Respuesta del rendimiento en relación a la incidencia de <i>Fusarium verticillioides</i>	55

Figura 14. Lecturas NDVI (Amacollamiento).....56

Figura 15. Lecturas NDVI (Espigamiento).....57

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Calendario de aplicación de herbicidas en Santa Lucia.....	32
Cuadro 2. Calendario de aplicación de herbicidas en Apizaco.....	32
Cuadro 3. Tratamientos aplicados al cultivo de trigo (2012).....	33
Cuadro 4. Medias para cada componente de rendimiento.....	38
Cuadro 5. Medias para cada componente de rendimiento.....	39
Cuadro 6. Comparación entre tratamientos para la variable rendimiento en Apizaco usando la prueba de Tukey al 95%.....	40
Cuadro 7. Comparación entre tratamientos para la variable rendimiento en Santa Lucia usando la prueba de Tukey al 95%.....	41
Cuadro 8. Incidencia de hongos fitopatógenos en grano de trigo en el ciclo PV 2011 en Apizaco y Santa Lucia.	49
Cuadro 9. Incidencia de hongos saprofitos en grano de trigo en el ciclo PV 2011 en Apizaco y Santa Lucia.....	50

Efecto de diferentes fuentes de N en la incidencia de hongos fitopatógenos en grano de trigo (*Triticum aestivum* L.), bajo siembra en camas permanentes en Valles Altos de México

Effect of different sources of N on incidence of plant pathogenic fungi on wheat grain (*Triticum aestivum* L.) in permanent bed planting in Valles Altos of Mexico

Edith Angélica Gutiérrez Tlahque¹ y Gerardo Leyva Mir

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental del Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en la localidad de Santa Lucía y en un campo en el municipio de Apizaco estado de Tlaxcala en el ciclo agrícola PV-2011. La finalidad fue evaluar diferentes fuentes de N aplicadas al cultivo de trigo establecido en el sistema de camas permanentes para identificar los hongos presentes en grano de trigo y conocer el efecto que tiene la fertilización en la incidencia de enfermedades fungosas, así como en el rendimiento final del cultivo. Se tomaron lecturas del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en cada etapa fenológica para ver la relación existente entre el estado nutricional del cultivo y la presencia de enfermedades. La identificación de hongos se realizó mediante el método (FreezingBlotter). Los hongos presentes en Apizaco fueron *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* y *Helminthosporium sativum* como fitopatógenos y *Alternaria* spp. como saprofito, siendo *F. verticillioides* el que tuvo mayor incidencia (50 %). En Santa Lucía estuvo *F. verticillioides* como fitopatógeno y *Alternaria* spp. como saprofito. Las fuentes de N utilizadas para la fertilización no resultaron fuentes viables para aumentar el rendimiento en grano del trigo, tampoco lo fue para disminuir la incidencia de hongos ya que el testigo con una dosis de 0 Kg de N/ha obtuvo el mayor rendimiento con 1920 kg/ha y la menor incidencia para ambos sitios. Las lecturas NDVI intermedias tomadas en Apizaco presentaron menores incidencias de *F. verticillioides*, lo que nos podría ayudar a predecir en qué momento el cultivo del trigo se vuelve más susceptible al ataque de patógenos y así prevenirlo mediante la alternativa del sistema de siembra en camas en combinación con el manejo del cultivo y la fertilización.

Palabras clave: Fertilización, Camas permanentes, Trigo, NDVI, Enfermedades fungosas

1 Tesista

2 Director

ABSTRACT

This research was carried out at the Valley of Mexico's Experimental Station (CEVAMEX) of Mexico's National Forestry, Agricultural and Livestock Research Institute (INIFAP) at Santa Lucia location and at a field in the town of Apizaco, Tlaxcala State, in the agricultural cycle PV-2011. The aim was to assess different sources of N applied to Wheat Crop grown in permanent bedsystem to identify the fungi on wheat grain and determine the effect of fertilization on incidence of fungal diseases, as well as on final crop yield. Measurements of The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at each phonological stage were taken to observe the relation between the nutritional status of the crop and presence of diseases. Identification of fungi was done by thefreezingblotter method. The fungi present in Apizaco were *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* and *Helminthosporium sativum* as plant pathogens and *Alternaria* spp. as a saprophyte, of these *F. verticillioides* had a higher incidence (50%). In Santa Lucia, *F. Verticillioides* was present as a plant pathogen and *Alternaria* spp. as a saprophyte. The sources of N used for fertilization were not viable sources to increase grain yield on wheat, and neither were to decrease the incidence of fungi since the control with a dose of 0 kg N/ha had the highest yield (1920 Kg/ha) and the lowest incidence in both sites. Intermediate NDVI measurements taken in Apizaco had lower incidences of *F. verticillioides*, which could help us to predict at what stage the wheat crop is more susceptible to pathogens attack and thus prevent it by using the permanent bed planting systems in combination with crop management and fertilization.

Key words: Fertilization, permanent beds, Wheat, NDVI, Fungal disease



I. INTRODUCCION

Los cereales contribuyen dos terceras partes de los alimentos primarios y entre ellos el trigo es el cultivo más importante. El trigo, el maíz y el arroz representan el 80 % de la producción mundial de cereales. (Prescott, 1986).

El trigo es un grano originario de Asia Menor, lugar a partir del cual se ha diseminado y cultivado en casi todo el mundo. Un aspecto importante de este cereal, es el papel que jugó en la civilización humana y el desarrollo cultural ya que por su fácil cultivo, valor nutricional, largo tiempo de almacenamiento y diversidad de usos fue fundamental en el cambio del hombre nómada a sedentario (Villaseñor, 2000).

Los principales tipos de trigo comercial son el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el trigo duro (*T. turgidum*). El trigo harinero se cultiva en cerca del 90% del área triguera mundial y contribuye alrededor del 94% de la producción (Prescott, 1986). Constituye una fuente de alimento nutritiva, conveniente y económica. Proporciona cerca del 20% de los requerimientos calóricos alimentarios del mundo y constituye el producto principal para casi el 40 % de la población mundial. El grano del trigo le proporciona al organismo carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales (Wiese, 1986). El trigo se consume en muchas formas. Su uso más importante es la fabricación de harina, la base de todos los panes, galletas y pasteles, es también fuente comercial de almidón y se usa en una gran variedad de industrias (Prescott, 1986).

En México la importancia del trigo no pasa desapercibida, y sigue ganando preferencia en la alimentación humana, además de ser el cultivo anual extensivo más tecnificado. La creciente preferencia por los productos elaborados con trigo es consecuencia de la mayor cantidad de productos industriales de alta calidad. (Villaseñor, 2000).



Las condiciones bajo las cuales se produce el trigo son bajo riego y temporal, las condiciones en el trigo de temporal en México son muy contrastantes, al extremo que dentro de una misma entidad federativa se pueden presentar hasta 100 situaciones diferentes de producción (Turrent *et al*; 1992). Esta enorme diversidad de condiciones para la producción de trigo de temporal crea una problemática compleja por lo cual es necesario definir las principales limitantes que reducen la producción de este grano. A continuación se enlistan los principales factores bióticos y abióticos que reducen la rentabilidad de este cereal. (Villaseñor y Espitia, 1994).

- Precipitación deficiente e irregular
- Erosión del suelo
- Presencia de malezas de hoja ancha y angosta
- Bajas temperaturas (heladas tempranas).
- Royas o chahuistles
- Enfermedades foliares y de la espiga (Villaseñor y Espitia, 1994).

Por otra parte el 90 % de los cultivos destinados a la alimentación humana y animal requieren el uso de semillas y se señala que alrededor del 12 % del potencial de la producción agrícola se pierde debido a las enfermedades. No se tienen datos de las pérdidas causadas por hongos en las semillas en campo pero se considera que es un alto porcentaje. (Moreno, 1996).

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

Algunas especies de hongos que están presentes en la semilla de trigo pertenecen a los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* spp. y *Helminthosporium* (Wiese, 1987). Así mismo, los hongos que se transmiten por semilla en trigo son del género *Ustilago*, *Tilletia*, *Neovossia*, y *Urocystis* (Zillinsky, 1984). El método ideal para disminuir la incidencia de las enfermedades es el de la resistencia genética. Lamentablemente no han sido desarrollados cultivares₂



resistentes para cada especie para la diversidad de patógenos acarreados en las semillas (Moreno, 1996).

Los altos costos de producción, la reducción del volumen de producción por situaciones climatológicas y patógenos, y la consecuente dependencia de abastecimiento externo, han derivado en el desarrollo y adecuación de nuevas tecnologías. En respuesta a esta situación, el programa de trigo del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias (INIFAP) del campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX), ha venido realizando investigaciones en el Altiplano central sobre una nueva tecnología de siembra para el cultivo del trigo, este es el uso de camas permanentes y la adecuada fertilización del cultivo. Este sistema reduce costos de producción que pueden llegar hasta un 30 % comparado con el tradicional y se logra a través de la manipulación de tres componentes del proceso de producción: eliminación del proceso tradicional de preparación de terreno, reducción de la densidad de semilla y de la dosis de fertilización con nitrógeno (Limón y Villaseñor, 2007).

Analizando estos componentes el sistema de siembra en camas ofrece numerosas oportunidades con respecto al sistema de siembra convencional. Algunas de ellas son la captura de agua mediante el levantamiento de contras para formar diques, mejoramiento del drenaje superficial evitando el amarillamiento de las plantas por el exceso de agua, e incremento de la eficiencia de uso de fertilizantes (Limón, 2004), entre otras.

En cuanto la incidencia de enfermedades debido a la mala fertilización que se tiene del cultivo algunos ejemplos en hongos es el de la incidencia de carbón parcial ya que se incrementa conforme se aumentan las dosis de fertilización nitrogenada, por lo que es importante evitar excesos en la aplicación de este elemento. Datos experimentales indican que el retraso en las aplicaciones de N está asociado con una disminución de la presencia de la enfermedad. La aplicación del fertilizante durante el primer riego disminuyó en más del 50% la incidencia de la enfermedad con respecto a parcelas donde se aplicó la misma³



cantidad de fertilizante en la siembra; el decremento de carbón parcial fue aún mayor cuando se aplicó el nutriente en el segundo riego (Brennan, 1990).

En la producción intensiva, con N suplementario y reguladores de crecimiento de la planta, se puede aumentar la incidencia de la infección en la semilla por *Fusarium* (Mathur, 1993). Para reducir la enfermedad es importante llevar una fertilización balanceada de N y K así como una dosis altas de P y bajas densidades de campo (Agrios, 1993).

Al considerar que el manejo y dosis de las fuentes de N y el uso del sistema de camas permanentes podrían reducir considerablemente la presencia de patógenos y así elevar el rendimiento de este cereal y tomando en cuenta que no se han hecho muchos estudios sobre el efecto que tiene la fertilización en la incidencia de enfermedades asociadas a semillas de trigo, el presente trabajo se suma a las investigaciones antes realizadas para que en un futuro el problema de las enfermedades se reduzcan de manera significativa y los productores puedan obtener altos rendimientos a bajos costos.



II. OBJETIVOS

- Evaluar la respuesta que tiene el cultivo del trigo con diferentes fuentes de N sobre el rendimiento y sus componentes bajo el sistema de camas permanentes.
- Determinar que fuente de N obtiene los mejores rendimientos.
- Identificar los hongos de importancia agrícola asociados a la semilla de trigo variedad Náhuatl F2000 en los Valles Altos de México.
- Evaluar el efecto que tiene la incidencia de hongos fitopatógenos en la semilla de trigo en el rendimiento final del cultivo de trigo.
- Determinar si el N influye en la presencia de hongos fitopatógenos y saprófitos en la semilla de trigo, así como en el rendimiento del cultivo.
- Evaluar la relación que existe entre el estado nutricional del cultivo y el ataque de patógenos mediante la toma de lecturas NDVI.



III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Cultivo de trigo

El trigo (*Triticum* spp L.) pertenece a la familia Poaceae. Es una gramínea anual, de crecimiento invierno-primavera que debido a su gran capacidad genética está capacitada para crecer y producir en ambientes diferentes entre sí que puede ir desde el nivel del mar hasta altitudes de más de 3,000 metros, adaptándose a suelos bien drenados y arcillosos, en ambientes templados, áridos y semiáridos (Wiese, 1986). La temperatura mínima para su crecimiento es de 3 a 4 °C, la óptima de 25 °C y la máxima de 30 a los 32 °C (Hernández, 2001).

3.2 Importancia del trigo en México

El significado que a nivel mundial tiene el cultivo del trigo es trascendental, ya que este grano ocupa el primer lugar en cuanto a extensión y volumen de producción, es con base en estos datos que se considera al trigo como el cereal básico más importante en la alimentación del ser humano; es por eso que gran parte de la investigación agrícola está encaminada a lograr una mayor producción y utilización de esta gramínea (Contreras, 1985).

La mayor parte del grano de trigo se consume como harina, la cual se utiliza principalmente en la repostería, y en la elaboración de pan y galletas. Las características que determinan la calidad de panificación de la harina de trigo son la cantidad y la calidad de la proteína del grano. También se utiliza para el consumo animal procesándolo industrialmente para la fabricación de productos balanceados, y en poca proporción se le usa como semilla (Nava, 1998).

3.2.1 Distribución del trigo en México

La producción primaria de trigo en México se concentra principalmente en dos regiones del país, el noroeste y el Bajío. La primera, representa aproximadamente el 55% de total nacional y agrupa a los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa; en tanto que el 20% lo conforma la región Bajío a través de los estados



de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro. El principal ciclo agrícola para la producción de trigo corresponde al de Otoño–Invierno, en el cual destacan los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán, Chihuahua y Jalisco. En el ciclo de Primavera–Verano, los principales estados productores son Tlaxcala, México, Puebla, Hidalgo y Jalisco (Aserca, 2010).

3.3 Fertilización del trigo

Para los cereales, los nutrientes de mayor importancia son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K). La falta o exceso de uno de ellos tiene un efecto negativo en la producción. El N es necesario para mantener un follaje verde. Este es indispensable para que se realice la función fotosintética. En los cereales, la cantidad de N disponible influye en la cantidad de proteínas contenidas en el grano (Parsons, 1997).

El P estimula el crecimiento de las raíces y acelera la maduración de los granos, el trigo requiere menor cantidad de P que de N. El potasio estimula el crecimiento de los entrenudos y fortalece los tallos, sin embargo este nutriente es de menor importancia porque se encuentra en suficiente cantidad en el suelo. Respecto al calcio, magnesio y azufre, también son necesarios pero al igual que el K muchas veces se encuentran de manera suficiente en el suelo (Parsons, 1997)

La cantidad de nutrientes que las plantas necesitan varía con los distintos cultivos sin embargo, se puede decir que los cereales requieren entre 40 y 200 kg de N, entre 20 y 60 kg de P y hasta 40 kg de K por hectárea. Los nutrientes se pueden aplicar en forma de fertilizantes orgánicos como estiércol y abonos verdes, o en forma de fertilizantes inorgánicos como los fertilizantes industriales (Parsons, 1997).



3.3.1 Manejo de N para la producción de trigo en áreas de temporal de México

Las áreas potenciales para la producción de trigo de temporal se ubican alrededor de los 2000 a 2800 msnm. La importancia que ocupa el N en estas áreas, y cualquier otra dedicada a la agricultura, es única ya que es el nutriente que más frecuentemente limita la producción de alimentos y fibra. A pesar de que la atmosfera tiene 79% de N, este no puede ser usado directamente por los cereales. Por esta razón, el hombre ha tenido que agregarlo al suelo por medio de estiércoles y fertilizantes (Villaseñor y Espitia, 2000).

La cantidad y tipo de N a aplicar dependerá de varios factores: clase de suelo, acidez, cultivo a sembrar, clima y época de siembra. Todos tienen dirección directa con las posibles pérdidas de N por lixiviación y desnitrificación (Crovetto, 1992).

En la actualidad las recomendaciones sobre fertilización a base de N pueden realizarse a partir de varias perspectivas; análisis de suelos, rendimientos esperados, experiencia del productor y sensores remotos principalmente (Wesfall et al; 1996).

3.3.2 Importancia del N en el rendimiento y la presencia de enfermedades fungosas en trigo

3.3.2.1 Efecto del nitrógeno en aspectos de rendimiento en el trigo

El N es uno de los elementos más importantes para los cultivos y a la vez, uno de los nutrientes que se encuentran en menores cantidades en los campos agrícolas. Sin embargo, cuando este es suministrado en la cantidad correcta, se mejoran favorablemente todos los componentes del rendimiento como el número de tallos, numero de granos y peso de mil granos, entre otros (Abd El-Latif y El-Thamy, 1986).



Para el caso específico de trigo de secano en el altiplano central, se ha indicado que la fertilización varía de 0 a 60 Kg de N ha⁻¹, dependiendo del potencial del rendimiento o rendimiento esperado (Limón y Villaseñor, 2006). En promedio, de acuerdo a Limón y Villaseñor, 2006, para un rendimiento esperado menor a 2800 kg ha⁻¹, la fertilización de N se puede excluir de los insumos.

Por tanto la aplicación de dosis innecesarias de fertilización se han generalizado sin considerar que estas pueden reducir el rendimiento además de incrementar los costos económicos y ecológicos (Newbould, 1989).

Valenti y Wicks (1992) mencionan que cuando se aplican altos niveles de N se desarrollan más las plántulas, debido a que no se entra en competencia por este recurso. Mientras que, cuando las dosis aplicadas de N son las óptimas, se incrementa el rendimiento de grano.

En cuanto al momento de aplicación de N, se ha reportado que la aplicación dividida no tiene un efecto consistente en el rendimiento o proteína contenida en el grano, excepto en el número de espigas por unidad de superficie y eficiencia de absorción de N (Limón et al: 2008).

Mascani y Sabbe (1990) indican que la adición de nitrógeno de manera fraccionada al cultivo de trigo, generalmente no presenta efectos significativos en relación al rendimiento de grano y peso seco en comparación con las aplicaciones totales.

Existen experimentos que demuestran que al aplicar altos niveles de N; se reduce el contenido de P así como el volumen y peso de granos de todos los cereales. Caso contrario, cuando se incrementan las densidades del cultivo, se disminuye el contenido de ambos nutrientes en el grano y peso de los granos, pero el volumen de estos se eleva (Read y arder, 1982).



3.3.2.2 Efecto del N en la presencia de enfermedades fungosas

La fertilización no solo tiene como fin proveer de nutrientes esenciales a los cultivos cuando el suelo no es capaz de hacerlo, sino que también, en muchas situaciones, constituye una herramienta eficaz para prevenir o reducir la incidencia de enfermedades. (Melgar, 1999).

La incidencia de carbón parcial se incrementa conforme se aumentan las dosis de fertilización nitrogenada, por lo que es importante evitar excesos en la aplicación de este elemento. Datos experimentales indican que el retraso en las aplicaciones de N está asociado con una disminución de la presencia de la enfermedad. La aplicación del fertilizante durante el primer riego disminuyó en más del 50% la incidencia de la enfermedad con respecto a parcelas donde se aplicó la misma cantidad de fertilizante en la siembra; el decremento de carbón parcial fue aún mayor cuando se aplicó el nutriente en el segundo riego (Brennan, 1990).

En la producción intensiva, con N suplementario y reguladores de crecimiento de la planta, se puede aumentar la incidencia de la infección en la semilla por *Fusarium* (Mathur, 1993). Para reducir la enfermedad es importante llevar una fertilización balanceada de N y K así como una dosis altas de P y bajas densidades de campo (Agrios, 1993).

3.4 Antecedentes de la labranza de conservación

Desde hace más de 6000 años el hombre empezó a mover la tierra para sembrar y producir sus granos, prácticamente desde que la labranza empezó, el hombre ha usado el arado como herramienta primaria para mover el suelo, la maquinaria e implementos cada vez más sofisticados han sido la preocupación del hombre civilizado. El terreno del cultivo no requiere moverse en grandes cantidades para que la semilla tenga las condiciones adecuadas para su desarrollo, basta con practicar un orificio en el suelo, a la profundidad recomendada para que esta se



desarrolle perfectamente, con la única condición de que no tenga competencia con maleza (González, 2002).

Hablar sobre el origen del sistema de labranza de conservación, es hablar sobre el origen mismo de la agricultura. Las antiguas civilizaciones lograban tener altos rendimientos en sus cosechas sin necesidad de remover el suelo (Nava, 1991).

Después de diez años de siembra cero labranza, el cultivo más importante es el trigo. Este cereal se ha adaptado bien, especialmente sembrado sobre rastrojo de maíz. Sin embargo, es muy importante cuidar aspectos como rotación, manejos de rastrojos, época de siembra, variedad y dosis de semillas, fertilización, especialmente nitrogenada y control de malezas (Crovetto, 1992).

Este sistema consiste en dejar el residuo del cultivo anterior sobre la superficie del suelo y efectuar labores mínimas, como puede ser un rastreo rápido y superficial para incorporar parcialmente el residuo y poder efectuar la siembra con una sembradora tradicional o especial (González, 2002).

3.4.1 Razones de uso de las camas permanentes

El uso de camas permanentes es una alternativa tecnológica que permite un uso eficiente de los recursos económicos y naturales y en consecuencia mejores rendimientos (Gordon, 1995; Pierce y Lizaso, 1993 y Rivera, 2002). Puede adaptarse a condiciones de temporal del altiplano central mexicano, requiriendo únicamente una modificación menor a las sembradoras convencionales y la siembra de la variedad apropiada.

El sistema de siembra en camas ofrece numerosas oportunidades con respecto al sistema de siembra convencional. Algunas de ellas son la captura de agua mediante el levantamiento de contras para formar diques, mejoramiento del drenaje superficial evitando el amarillamiento de las plantas por el exceso de agua, e incremento de la eficiencia de uso de fertilizantes (Limón, 2004), entre otras. En la actualidad, dados los cambios climáticos que se distinguen por la



alteración en la distribución y cantidad de precipitación pluvial, se debe resaltar el incremento en la eficiencia de uso de agua de lluvia por la siembra en camas (Villaseñor et al; 2002)

Una de las condicionantes para la práctica efectiva de siembra en camas permanentes es la distribución de los residuos de cultivo sobre la superficie del suelo. Los residuos dejados sobre la superficie del suelo reducen la evaporación, permaneciendo el agua almacenada más tiempo en el perfil a disposición del cultivo y con ello se permite un uso más eficiente de agua, aumentando los rendimientos de los cultivos al compararlos con los sistemas tradicionales. Estas coberturas retardan el desecamiento del suelo; en tanto que en un suelo desnudo y cultivado, cerca del 90% de la radiación que recibe es empleada para evaporar el agua del horizonte superior (Galeana, 2000).

La aplicación inadecuada del sistema de siembra en camas permanentes, representa una serie de desventajas tales como la incidencia de malezas y enfermedades (Limón *et al.*, 2006). El grado de severidad en el ataque depende de la especificidad del patógeno en relación al cultivo usado en rotación, la biología del patógeno y su mecanismo de dispersión y supervivencia, además de factores microclimáticos (Cruz, 2001).

El manejo de residuos de cosecha y rotación de cultivos bajo el sistema de siembra en camas permanentes son dos aspectos básicos para el éxito del sistema (Sayre, 1998). La aplicación inadecuada de algunos de estos dos aspectos agronómicos, puede provocar reducciones considerables en el rendimiento del trigo. Las causas principales de esta reducción se puede atribuir al aumento en la presión de malezas, posible aparición de especies de pastos no comunes bajo el sistema convencional, incremento substancial de enfermedades foliares, y reducción de infiltración de agua por el deterioro en la estructura del suelo (Govaerts *et al.*, 2005).



En particular, en México la labranza de conservación es una necesidad tecnológica, considerando que más de 60% de nuestro territorio sufre de un moderado a severo grado de desertificación por efectos de la erosión (Novelo, 2000).

3.5 Origen de la variedad Náhuatl F 2000

La variedad de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) NAHUATL F2000 se obtuvo por recombinación genética y selección por los Programas de Mejoramiento Genético de Trigo del CIMMYT y del CEVAMEX-INIFAP, a partir de la cruce en donde intervinieron siete progenitores en siete combinaciones (Villaseñor et al, 2000).

3.5. 1 Características de la variedad Náhuatl F 2000

Es una variedad liberada en 1999 y de ciclo precoz (100 a 125 días a madurez); su altura de planta es media (89 cm); los tallos son moderadamente resistentes al acame, características que le impide someterse a un manejo intensivo de cultivo para lograr mayor productividad (Limón-Ortega et al; 2008).

Presenta espigamiento uniforme y sus espigas a la madurez son de color amarillo medio, de densidad media pero compactada en la punta (característica distintiva) y de posición recta; su grano es de tamaño mediano, de color ámbar y de consistencia media, esta última característica le ocasiona perder peso cuando le llueve durante la madurez. Náhuatl F2000 es una variedad de gluten fuerte y extensible, cualidades que le permiten clasificarse con buena calidad industrial, adecuada para diversos usos panaderos y para mejorar trigos de gluten suave o tenaz; se recomienda para fechas de siembras tempranas o tardías en los temporales secos a medio lluviosos del Estado de México (Villaseñor et al., 2002).

Villaseñor, et al, (2000), menciona que después de más de 80 evaluaciones que fueron establecidas en 13 estados de la república mexicana durante 1994 a 1999 bajo variadas condiciones de producción en ambientes de temporal y bajo la



incidencia natural de las enfermedades que inciden en trigo, NAHUATL F2000 mostró que es resistente a roya del tallo (*Puccinia graminis*) y roya amarilla (*Puccinia striiformis*), moderadamente resistente a roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y moderadamente susceptible a tizones foliares y manchas foliares. Es moderadamente susceptible a las enfermedades conocidas como tizón foliar (*Cochliobolus sativus*), mancha bronceada (*Pyrenophora tritici-repentis*), mancha foliar (*Septoria tritici*), mancha de la hoja (*Fusarium nivale*), tizón de la gluma (*Septoria nodorum*) y roña de la espiga (*Fusarium graminearum*).

3.6 Predicción del potencial de rendimiento de grano de trigo usando un sensor óptico (GreenSeeker™).

Es necesaria la aplicación de la tasa apropiada de fertilizantes nitrogenados para la producción de trigo para mejorar y mantener la productividad. Diferentes métodos han sido desarrollados con el tiempo para estimar estas necesidades. Las tasas de fertilización de N en los sistemas de producción de cereales se determinan generalmente al restar el N del análisis de suelo del N requerido especificado para alcanzar el máximo rendimiento de grano, que representa el mejor rendimiento de grano alcanzable en los últimos 4-5 años. Si el rendimiento de grano se puede predecir a tiempo, las dosis de fertilización de N podrían ajustarse en base a la eliminación proyectada de N (Raun et al; 2001).

El potencial de rendimiento de grano de trigo de invierno se puede predecir con mediciones espectrales (Ver Figura 1). El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se determina a partir de mediciones de reflectancia en condiciones de iluminación diurna en las regiones del rojo y del infrarrojo cercano (NIR) de los espectros, está determinada por las propiedades de la superficie de la hoja, estructura interna, y la concentración y distribución de los componentes bioquímicos de esta (Peñuelas y Filella, 1998). Para más información acerca del sensor óptico para coleccionar lecturas NDVI se puede consultar Raun et al; 2001.



Figura 1. Sensor Óptico- GreenSeeker™ (NDVI)

3.7 Enfermedades del trigo

En todas sus etapas de crecimiento las plantas de trigo, están expuestas a numerosos daños y estrés que interfieren con su normal funcionamiento y desarrollo. Las enfermedades a campo y durante el almacenamiento tienen aproximadamente la misma incidencia. El clima, los insectos, los virus, hongos, nematodos, las bacterias y las malezas constituyen los peligros principales para la producción de trigo. Esta depende de un adecuado manejo, control de agentes perjudiciales (enfermedad, insecto, maleza) cultivares mejorados nueva tecnología y producción masiva de nutrientes (Wiese, 1986).

Se desconoce el número real de enfermedades del trigo. Alrededor de 50 son habitualmente importantes desde el punto de vista económico y se describieron cerca de 200. Todas ya sean infecciosas o no infecciosas son peligrosas en₁₅



algunas regiones durante ciertos años y en determinadas partes de la planta. Todas demandan atención debido a sus síntomas o a sus efectos perjudiciales en la calidad o en la cantidad de plantas, de paja o de grano. La magnitud del daño provocado por la enfermedad depende del medio ambiente y del cultivar. En el caso de las enfermedades infecciosas, también incluye el tipo, población y virulencia de los patógenos y sus vectores. Las enfermedades infecciosas están causadas por agentes biológicos tales como bacterias, hongos, nematodos y virus que son transmisibles de una planta a otra. (Wiese, 1986).

Los hongos son con mucho los organismos patógenos más dañinos, pues disminuyen el rendimiento de los cereales a los que atacan. Entre estos hongos, el género *Puccinia* (royas), *Ustilago* (carbones desnudos), *Tilletia* (carbones cubiertos), *Erysiphe* (mohos polvorientos), *Septoria*, *Alternaria*, *Fusarium* y *Pythium* son los más comunes pues ocurren con regularidad y son potencialmente los más peligrosos del mundo. (Prescott, 1986).

3.7.1 Hongos presentes en las semillas

Los hongos que infectan a la semilla pueden observarse en la misma, o bien, hasta que germina y continua su crecimiento, lo que puede ocasionar pudriciones de la plántula, manchas en las hojas y tallos u otras enfermedades (Hernández, 1992). Algunas especies de hongos que están presentes en la semilla de trigo pertenecen a los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Helminthosporium* *Fusarium* (Wiese, 1987). Así mismo, los hongos que se transmiten por semilla en trigo son del genero *Ustilago*, *Tilletia*, no reportado en Valles altos únicamente en Sonora, y *Urocystis* (Zillinsky, 1984).

3.7.2 Daños en semilla por *Fusarium* spp.

Atacan durante la antesis, el clima cálido y húmedo favorece la infección durante la formación de espigas. Se requieren temperaturas de entre 10 y 28 °C para que se produzca la infección (Prescott, 1986). Las lluvias, alta humedad relativa y temperaturas favorables en el periodo de antesis son las condiciones ideales¹⁶



para la infección por *Fusarium* spp. (De Wolf, 1999). Las glumas se oscurecen un poco y se tornan aceitosas. Los conidios se producen en esporodoquios que dan a la espiga un color rosado brillante. Los granos afectados están llenos de micelio y la superficie de las florecillas por micelio blanco. Pueden causar una reducción en rendimiento de hasta 50 % y afectar seriamente la calidad del grano. Los granos con frecuencia están arrugados. El grano cosechado con 5 % de granos infectados puede tener toxina suficiente para ser nocivo al hombre y animales (Prescott, 1986).

3.7.3 Roña o tizón de la espiga del trigo causado por *Fusarium graminearum* Schwabe

Importancia y distribución

Se conoce a *F. graminearum* como el principal causante del tizón de la espiga. La fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) fue descrita por primera vez en 1981 por Arthur (Ireta y Gilchrist, 1994). Esta especie a través de todo el mundo causa enfermedades como pudrición de raíz, pudrición de la corona y la roña. Se favorece la enfermedad con inviernos suaves y veranos húmedos y calientes (Zillinsky, 1984). En México, se observó en 1977 en el altiplano de Jalisco, se ha restringido donde se cultiva trigo bajo condiciones de temporal en los estados de Jalisco, Michoacán, México, Tlaxcala e Hidalgo; también se le ha observado en áreas bajo riego del Bajío (Ireta y Gilchrist, 1994).

Hospedantes

Fusarium graminearum, además del trigo, ataca otros cultivos como la cebada, la avena, el centeno, el maíz, la alfalfa y el triticale. También se ha reportado en gramíneas silvestres (Ireta y Gilchrist, 1994).



Etiología

El micelio de *F. graminearum* es hialino, septado con conidios de dos tipos, macroconidios ovoides, pequeños, unidos o bicelulares y macroconidios de más de tres septas agrupados en esporodoquios (Mendoza, 1993).

Los macroconidios generalmente miden 25-50 μ por 2.5-5.0 μ y tienen tres o más septas. No producen microconidios. Los macroconidios son producidos en masas de color naranja o amarillo durazno en la base de las espiguillas o en las orillas de las glumas o lemas; estos son hialinos, rectos o ligeramente curvos y con frecuencia tienen una célula apical alargada que se curva. El cuerpo principal de la espora es normalmente recto o ligeramente curvo y la célula apical se curva y adelgaza abruptamente hacia un punto. Cuando se presentan periodos prolongados de tiempo húmedo y caliente durante la cosecha, con frecuencia se desarrollan peritecios superficiales sobre las espigas y paja infectada (Zillinsky, 1984). La temperatura para la formación de macroconidios es de 16 °C a 36 °C, con un óptimo de 32 °C (Ireta y Gilchrist, 1994).

Sintomatología

Se observa primero como un blanqueado prematuro, la infección del raquis puede causar que la espiga entera se blanquee desde el punto de infección, que puede progresar hacia el pedúnculo. Da lugar a micelio rosado o anaranjado y esporodoquios (Mathur, 1993).

Daños

La invasión de los granos por *Fusarium* destruye los gránulos de almidón, el almacenamiento de proteínas y la pared celular, dando como resultado un producto de baja calidad (Ireta y Gilchrist, 1994).

Cuando la infección de *F. graminearum* es fuerte, los granos son cubiertos por micelio con un aspecto algodonoso de color rosa; si la severidad es moderada, los granos pueden quedar chupados y bajos de peso, además de tomar una¹⁸



coloración blanquecina. *F. graminearum* ataca en las espigas, particularmente los órganos florales, lo cual, reduce la formación y llenado de granos. El tizón de la espiga se ha presentado con incidencias de hasta el 60 % y severidad de 10 a 15 % por individuo o espiga. Esto constituye un daño moderado en el rendimiento. En variedades susceptibles puede alcanzar hasta 17 % la reducción en la producción comercial (Ireta y Gilchrist, 1994).

Biología y Epidemiología

El desarrollo de esta enfermedad es favorecida por temperaturas y humedad altas, durante y después de formada la espiga (Moreno, 1996). Temperaturas de 20-30 °C (Mathur, 1993).

Fusarium graminearum es una de las pocas especies que producen peritecios bajo condiciones de campo, se les observa en las glumas del trigo, emergiendo del tejido; los peritecios juegan un papel importante en la sobrevivencia del patógeno de un año a otro que junto con el micelio en los restos de cosecha constituyen el inoculo primario (Mathur, 1993, Ireta y Gilchrist, 1994).

Fusarium graminearum sobrevive en forma de micelio o peritecios inmaduros en las espiguillas infectadas; la presencia de rastrojo en el suelo puede ser de gran importancia, a tal grado de causar infecciones dos o tres veces más intensas (Ireta y Gilchrist, 1994). *Fusarium graminearum* persiste en el suelo casi indefinidamente, infecta pequeñas raíces o por heridas y progresa a través del agua que conduce el cilindro central (Leyva, 1999).

Los tipos de inóculos pueden ser: microconidios producidos sobre esporodoquios, ascosporas de los peritecios de *Giberella* sp., clamidosporas en el suelo o micelio en los restos de cosecha (Ireta y Gilchrist, 1994). Los medios de diseminación del inoculo son la lluvia y el viento que lo dispersa a distancias indeterminadas (Mathur, 1993).



3.7.4 Pudrición de la corona o roña de la espiga causada por *Fusarium avenaceum* (Fr.)Sacc.

Importancia y distribución

Esta especie causa también pudriciones de la raíz, corona y la roña. Se encuentra ampliamente distribuida en una gran diversidad de temperaturas (Zillinsky, 1984). Se le encuentra ampliamente distribuida en regiones templadas y también en zonas tropicales en menor grado (Warham.1998). Es más persistente en climas fríos y húmedos (Wiese, 1986).

Hospedantes

Causa roña en centeno y triticale. Se acumulan pequeñas masas de esporas de color rosado claro en las glumas (Zillinsky,1984).

Etiología

Los conidios se desarrollan en un micelio aéreo y en esporodoquios. (Wiese, 1986). Los macroconidios son largos, delgados y más o menos curvos de manera uniforme en toda su longitud (Zillinsky,1984) y con una célula apical alargada y una basal visible (Wiese, 1986). Miden de 50-80 μ por 2.5-4.0 μ y tienen de cuatro a siete septas. Ocasionalmente se encuentran peritecios en las plantas infectadas (Zillinsky, 1984).

Síntomas

Las infecciones son más frecuentes y graves en la antesis; los síntomas de atizonamiento se dan en los tres días posteriores, cuando las temperaturas varían entre 25 y 30 °C y hay humedad constante (Wiese, 1986).

Daños

Producen micotoxinas dañinas para los humanos y animales, pueden permanecer



en granos almacenados varios años. Si los granos apenas empiezan a formarse al momento del ataque pueden ser destruidos completamente (Gómez, 1999).

Biología y epidemiología

El desarrollo de esta enfermedad es favorecido por condiciones calurosas y húmedas durante y después del espigamiento (Zillinsky, 1984). Los hongos se multiplican en el cereal infestado y en los residuos de pasto en el suelo y tienden a contaminar la semilla (Wiese, 1986). Las ascosporas se producen muy tarde para ser la fuente secundaria de inóculo, persistiendo en los residuos de cosecha (Wiese, 1986; Gómez, 1999).

3.7.5 Moho blanco o tizón de la espiga del trigo causado por *Fusarium nivale* Ces. Ex Berl. Y Vogl.

Importancia y distribución

Puede causar pérdidas totales en trigo cultivado (Mathur, 1993). La distribución esta limitada a África Oriental, zonas altas de México, la región Andina y sur de China (Prescott, 1986). *Fusarium nivale* es un patógeno importante en zonas templadas y frías donde causa moho blanco en los cereales de invierno, también produce infecciones en las plántulas y pudriciones en la raíz y puede matar a gran parte de los cereales durante la época invernal (Zillinsky, 1984).

Hospedantes

En general, la enfermedad afecta mas al trigo cristalino y el triticale que al trigo harinero o el centeno; la avena y la cebada parecen ser inmunes (Zillinsky, 1984).

Etiología

Las estructuras de fructificación crecen rápidamente en las lesiones jóvenes. A partir de los estomas se desarrollan esporodocios de color blanco a rosa pálido que aparecen como hileras de puntitos rosados paralelos a las nervaduras de las hojas; conforme las lesiones envejecen, se vuelven amarillos. En los 21



esporodoquios se producen conidios hialinos en forma de hoz, una vez maduros son de tamaño uniforme. Los conidios son cortos, curvos, se adelgazan en sus extremos y las células de pie están bien marcadas; los conidios maduros miden de 20-28 μ por 2.5-5 μ y usualmente tienen tres septas. Los peritecios se desarrollan rápido en las hojas y las vainas foliares infectadas durante o después de la madurez. Las ascosporas de los peritecios son pequeñas, hialinas, elípticas, irregularmente curvadas con una a tres septas y miden de 10-18 μ por 3.5 μ (Zillinsky, 1984).

Sintomatología

Las manchas foliares aparecen al momento de la emisión de las espigas. Las lesiones se presentan como áreas ovales o irregulares de color verde grisáceo moteado que se transforman en manchas ovales grisáceas de color café grisáceo con áreas centrales grises. Las lesiones viejas se hacen quebradizas y tienden a agrietarse o doblarse (Zillinsky, 1984). Se observan los síntomas en hojas, vainas foliares y nudos del tallo (Mathur, 1993). También pueden causar tizón en las plántulas, roña de la espiga y moho níveo rosado (Prescott, 1986). Se ve una coloración salmón en la base de la espiga, son los esporodoquios. Se observan los estilos de los peritecios en los tejidos de la planta que sobresalen a través de la epidermis (Mathur, 1993).

Daños

Si la infección es grave, puede provocar defoliación completa con el consiguiente desarrollo escaso de los granos (Prescott, 1986). La quemadura de la espiga causa una decoloración de la parte superior de las glumas rodeada por un margen café y marchitando una porción de la espiga (Mathur, 1993).

Biología y epidemiología

Las esporas se producen en restos de cultivos y son transportadas por el viento. El tiempo fresco y húmedo favorece la enfermedad (Prescott, 1986). F. nivale se



dispersa por las semillas contaminadas y en los desechos de plantas infectadas (Mathur, 1993). El estado perfecto (*Monographella nivalis*) se desarrolla rápidamente en las hojas enfermas cuando las plantas maduran, pero las ascosporas se liberan hasta haber sufrido cierta intemperización (Zillinsky, 1984).

3.7.6 Pudrición del pie o tizón de la espiga por *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.

Importancia y distribución

Esta especie se encuentra ampliamente distribuida y parece que sobrevive mayores extremos tanto de sequía como de heladas que *F. graminearum*. Los mismos síntomas son producidos por ambas especies. *F. culmorum* ataca raíz de cereales en el Noroeste de Estados Unidos de América, Europa occidental y algunas áreas altas de los subtropicos (Zillinsky, 1984).

Etiología

La especie produce macroconidios cortos, gruesos o robustos, hialinos curvos uniformemente, y notoriamente puntiagudos en su ápice (Wiese, 1986). Los conidios tienen de tres a cinco septas por lo general y miden de 30-60 μ por 4-7 μ . No se producen microconidios ni peritecios. Las clamidosporas se desarrollan eficientemente en el suelo y funcionan como mecanismo eficiente de supervivencia (Zillinsky, 1984).

Importancia y distribución

Esta especie se encuentra de manera frecuente como un hongo del suelo constituyendo una alta proporción de la microflora en algunas áreas, sin embargo, no se considera un patógeno serio de los cereales. Se presentan masas de conidios color rosado en las espigas de los cultivos atacados en la Meseta Central de México, en esta región se ha observado esporulando en las hojas inmaduras de cereales (Zillinsky, 1984).



Etiología

Los macroconidios son de tamaño mas o menos intermedio en longitud y de ancho entre los *F. culmorum* y *F. avenaceum*, son hialinos, curvos y tienen células apicales alargadas que se doblan bruscamente hacia adentro. Los conidios miden 22-60 μ por 3.5-6.0 μ , tiene de cuatro a siete septas y las células del pie son bien definidas. No se producen microconidios (Zillinsky, 1984).

3.7.7 Métodos de control para *Fusarium* spp.

Control genético

Se ha logrado cierto progreso en el desarrollo de líneas de trigo harinero, triticale y trigos cristalinos con resistencia a la mancha foliar causada por *Fusarium*. Se ha logrado cierto éxito en el control con la rotación con variedades resistentes, se han llevado pocas investigaciones sobre el control en la etapa de manchas foliares (Zillinsky. 1984). El trigo duro es más susceptible bajo las condiciones mexicanas (Mathur, 1993).

Control cultural

Actualmente, requiere una combinación de prácticas culturales como incorporación completa de los residuos de la cosecha infestados, la rotación de cultivos puede ser totalmente eficaz donde hay una fuente de inóculo abundante (Mathur, 1993).

En la producción intensiva, con N suplementario y reguladores de crecimiento de la planta se puede aumentar la incidencia de la infección en la semilla (Mathur, 1993). Para reducir la enfermedad es importante llevar una fertilización balanceada de N y K, así como una dosis altas de P y bajas densidades de siembra (Agris,1993).

En México las condiciones socioeconómicas de los productores de trigo dificultan la adopción de medidas fitosanitarias rápidas y efectivas, como el control



químico. La forma más económica de mantener sano el cultivo es mediante el uso de variedades resistentes en combinación con medidas culturales como (Ireta y Gilchrist, 1994):

- a) Eliminación de residuos de la cosecha anterior.
- b) Rotación de cultivos. En Canadá se ha observado que las incidencias se incrementan de tres a cuatro veces más en trigo sembrado en parcelas donde anteriormente se ha sembrado maíz (Mathur, 1993).
- c) Eliminación de la maleza. Hospederos del patógeno.
- d) Uso de semilla certificada. Aunque la transmisión por semilla no es un factor muy importante en la diseminación de la enfermedad, si es importante usar semilla certificada, pues de esta manera se controla mejor la incidencia de cualquier patógeno y se asegura un mayor vigor de la semilla (Ireta y Gilchrist, 1994).

Control químico

Investigadores del CIMMYT encontraron que Benomyl asperjado a intervalos de dos semanas empezando en la emisión de espigas, mantuvo la enfermedad bajo control en un vivero de Toluca, México (Zillinsky, 1984).

Actualmente se utilizan los inhibidores de Ergosterol como el procloraz, bitertanol, imazalil y triadimenol (Mathur, 1993). Se han observado resultados localmente satisfactorios; se ha encontrado que con Tiabendazol ($500 \text{ gr i.a.ha}^{-1}$) el Carbendazim ($250 \text{ gr i.a.ha}^{-1}$) se logró el menor porcentaje de granos dañados. La mezcla de Propiconazol ($500 \text{ gr. i.a.ha}^{-1}$) + Procloraz ($450 \text{ gi.a. ha}^{-1}$) fue el mejor tratamiento en cuanto a rendimiento de grano y peso hectolítico.

En 1989 la evaluación de la efectividad de fungicidas contra Fusariosis y Septoriosis que se presentan juntos en la Sierra del Tigre de Jalisco, indicó que los mejores tratamientos fueron la mezcla de San-619 ($1.01 \text{ gr de i.a. ha}^{-1}$) + Clorotalonil (1.0 kg.ha^{-1}), seguido del Propiconazol (0.51 kg.ha^{-1}). Los efectos del



control se observaron en el peso hectolitrico y el peso de 1000 granos, pero no en el rendimiento total de la parcela (Ireta y Gilchrist, 1994).

3.7.8 Daños en semillas causados por *Helminthosporium* spp.

La infección en la fase de preantesis reduce la germinación de la semilla (Mathur, 1993). Los granos afectados por *H. sativum* presentan la punta negra muy similar a la causada por especies de *Alternaria*, fácilmente visible en el grano cosechado. Inicia como una mancha oscura cerca del embrión de la semilla. La siembra de semilla infectada por *H. sativum* puede resultar en pudriciones de raíz, tizón de plántulas y puntos en las hojas (Wiese, 1986).

3.7.9 Tizón de la hoja, Punta negra del grano causado por *Helminthosporium sativum* Pammel, King y Bakke.

Importancia y distribución

Kerr (1992) menciona que esta enfermedad es persistente, muy destructiva y se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo (Gómez, 1999). Christensen y Stakman (1985) aseguran que en Minnesota es un serio problema en trigo y cebada, siendo *H. sativum* el patógeno más prevaleciente en la semilla y una fuente importante como inoculo primario (Blanco, 1998).

Este hongo puede presentarse en corona, raíces, nudos, vainas, espigas y granos, por lo que se le considera una enfermedad importante, sobre todo en lugares subtropicales, donde se encuentran las condiciones óptimas para su desarrollo, como son altas temperaturas acompañadas de alta humedad (Gilchrist et al; 1995).

Hospedantes

Helminthosporium sativum es un patógeno agresivo que ataca trigo, triticale, cebada y la mayoría de las gramíneas; causa manchas foliares, pudriciones de la raíz y corona, tizón de las espigas y caída de las plántulas (Zillinsky, 1984).



Etiología

Los conidioforos se desarrollan individualmente o en grupos, erectos, no ramificados, miden de 100-150 μ por 6-8 μ y tienen varias septas. Los conidios se desarrollan lateralmente a partir de poros que se originan precisamente debajo de las septas del conidioforo (Mathur, 1993). Los conidios son de colores café oliva, oblongos, adelgazados hacia su punta, ligeramente curvos con paredes lisas y tienen una cicatriz basal prominente.

Miden de 60-120 μ por 12-20 μ y tienen de tres a nueve septas (Zillinsky, 1984).

El estado sexual de *H. sativum* es *Cochliobolus sativus* que produce pseudotecios de color negro a café globoso con pico ostiolar de 340-470 μ de largo por 370-530 μ de ancho, ascas claviformes bitunicadas que miden 160-360 μ de largo por 31-40 μ de ancho y usualmente con ocho ascosporas por asca (Dickson, 1956). No obstante, el estado perfecto rara vez se presenta en la naturaleza (Zillinsky, 1984).

Sintomatología

Las lesiones café oscuras en el lado interno de las glumas. La enfermedad es más pronunciada cuando cambia a café oscuro o las áreas decoloradas y negruzcas, localizadas, normalmente alrededor del fin del embrión de semillas. La decoloración también puede ser cerca del cepillo, en el pliegue o cualquier parte de la semilla, el endospermo frecuentemente se pone ligeramente gris (Mathur, 1993).

Los síntomas iniciales en las hojas son manchas pequeñas, de color café a casi negras de formas redondas y/o elípticas. Una lesión desarrollada es típicamente elíptica con esporulación abundante y puede cubrir más de 22 % del área foliar, el tallo y la infección del nudo (Mathur, 1993).



Daños

La infección puede presentarse en cualquier etapa de desarrollo de la planta, los síntomas son más pronunciados después de espigar. Las infecciones en raíces y corona que se presentan ante o durante la floración usualmente matan la planta antes de la formación del grano (Zillinsky, 1984).

Si ataca en etapas tempranas puede defoliar la planta, reduciendo el rendimiento y los granos estarán arrugados (Prescott, 1986).

Biología y epidemiología

Helminthosporium sativum ataca una variedad de pastos y es muy común en trigo y cebada. El micelio es muy resistente a condiciones ambientales desfavorables y es abundante en residuos de gramíneas y en la superficie del suelo (Dickson, 1956). El inoculo permanece en la semilla y residuos de cosecha que pueden sobrevivir al siguiente ciclo (Wiese, 1986).

3.7.10 Métodos de control para *Helminthosporium* spp.

Control cultural

Las prácticas culturales, (fecha de siembra) de tal manera que se evite que el periodo de floración coincida con los periodos calientes y húmedos. Aunque el patógeno sobrevive en los residuos de cosecha y en la tierra, las prácticas culturales del cultivo y rotación escalonan la enfermedad (Mathur, 1993).

Control químico

El tratamiento químico de semilla puede mejorar la germinación e infección de los granos. Anteriormente, los tratamientos con los fungicidas organo mercuriales fueron muy eficaces controlando inoculo en la semilla. El tratamiento con Thiram a dosis de 2.5 kg ha⁻¹ se encontró igualmente eficaz (Mathur, 1993).



La severidad de punto negro aumenta si se guardan los granos bajo las condiciones humedad altas y las semillas con una humedad mayor a 20 %. Así mismo, captan iprodiona, thiram y triadimefon controlan el patógeno en las semillas (Mathur, 1993). 3.7.9

3.8 Hongos saprofitos

Los olores y sabores que causan estos hongos a los granos son desagradables y reduce la calidad harinera del trigo, reducen el poder germinativo y algunos producen toxinas nocivas. Se caracterizan por crecer en productos almacenados en humedades relativas superiores a 68 %. Causan ennegrecimiento de los embriones, por lo que reducen su poder germinativo (Moreno, 1996). *Aspergillus* y otros hongos de almacén, al invadir los embriones de la semilla, hacen que se reduzca notablemente el porcentaje de germinación. Los hongos actúan a niveles inferiores de humedad donde no hay agua libre. Crecen a niveles de humedad tan bajos como 13 a 13.2 % dado que el trigo tiene buen contenido de almidón (Agrios, 1998).

Otros hongos son los llamados hongos de campo, son agresivos productores de esporas, están ampliamente distribuidos y se reproducen en tejido vegetal enfermo, maduro o muerto. Los géneros más comunes son *Alternaria*, *Stemphylium*, *Epicoccum*, *Cladosporium*. Invaden las hojas y espigas de las plantas con efectos desfavorables o en la maduración (Zillinsky, 1984).

3.8.1 *Aspergillus* spp. Micheli

Es un hongo cosmopolita y perjudicial ya que ataca semillas entre otras cosas, pudriéndolo parcial o totalmente. En semillas como el trigo pudren el embrión (Romero, 1993).

Los conidioforos son largos, lisos o rugosos, con el ápice hinchado y cubierto parcial o totalmente por una o dos series de esterigmas, la célula basal esta modificada; conidios hialinos o de colores brillantes, catenulados globosos,₂₉



ovales o elípticos, lisos o equinulados. De algunas especies se conoce su fase perfecta, correspondiendo a los géneros, *Eurotium* , *Emericella* o *Sartoya*. La mayoría son saprofitos (Romero, 1993). Entre los hongos más comunes en semillas almacenadas se encuentran especies de los grupos *Aspergillus restrictus*, *A. glaucus*, *A. candidus*, *A. vesicolor*, *A. flavus* (Moreno, 1996).

3.8.2 *Alternaria* spp. Nees.

Genero descrito por Nees en 1927 y redefinido por Wiltshire en 1993 (Romero, 1993). En todo el mundo se ha establecido un gran número de especies de *Alternaria*. La mayor parte existe como saprofitos en cereales (Zillinky, 1984).

Los conidioforos son de color café oscuro a oliváceo, solos o en grupos, pueden ser simples o ramificados y usualmente tienen un grosor de 3-6 μ . Los conidios de *Alternaria* spp. tienen características morfológicas únicas. Sin embargo, las similitudes entre especies dentro del género hacen que la identificación entre estas sea muy difícil. En las especies saprofitas de *Alternaria* que se presentan en cereales, se desarrollan en cadenas, son ovoides o elipsoides y con frecuencia, uno de sus extremos se adelgaza hasta formar un pico. Son de color café a medio oscuro. Tienen paredes lisas o ligeramente rugosas, varias septas transversales longitudinales u oblicuas y miden 20- 90 micras por 8-20 micras (Zillinky, 1984).

3.8.3 Manejo y control

El manejo adecuado de la cosecha es la mejor manera de manejar. Almacenar los granos con humedad tan baja como 13 %. Mantener la temperatura del grano tan baja como sea posible, debido a que la mayoría de hongos de almacén crecen con mayor rapidez entre 30 y 55 °C, se retrasa su desarrollo del 12 a 15 °C y cesa su crecimiento de 5 a 8 ° C (Agrios, 1998).



IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en el rendimiento de trigo de temporal

4.1.2 Ubicación del experimento

El presente trabajo forma parte de un proyecto iniciado en 2002 identificado como M53, los lotes se encuentran ubicados en el Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Santa Lucía de Prías, Estado de México, localizado geográficamente a 19°31' Latitud Norte y 98°50' Longitud Oeste; a 2250 msnm (García, 1981) y en el municipio de Apizaco, Tlaxcala, localizado geográficamente a los 19° 31' de latitud norte y 98° 15' de longitud oeste, con una altitud media de 2 490 msnm (INEGI, 2011).

El trabajo de investigación se llevó a cabo mediante la colecta de datos de los distintos componentes de rendimiento para cada tratamiento en los dos sitios de campo (2011) y posteriormente la identificación de los hongos presentes en semilla se realizó en el laboratorio de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.1.3 Manejo del experimento (Santa Lucia y Apizaco)

La investigación se realizó en el Campo Experimental de INIFAP en Santa Lucía de Prías, Texcoco, Estado de México y en Apizaco, Tlaxcala en un campo proporcionado por un agricultor durante el ciclo agrícola de temporal PV 2011 (junio-diciembre).

Se hizo la evaluación de la semilla de trigo variedad Nahuatl F2000 (recomendada por INIFAP para condiciones de temporal en la zona del Altiplano (Limón-Ortega et al; 2008).

La fecha de siembra fue el 28 de junio de 2011 para el caso de Santa Lucía y el 21 de Junio del mismo año para Apizaco, empleando una sembradora diseñada por el equipo interdisciplinario del INIFAP en CEVAMEX En la fertilización se³¹



utilizaron diferentes fuentes de N las cuales se aplicaron al final del amacollamiento cuando el pronóstico de lluvia dado por la CFE indicaba un mínimo de 5mm en un periodo de 3 días. El control de malezas se realizó de manera química donde se aplicó una mezcla de herbicidas las cuales se describen en el cuadro 1 y 2 respectivamente.

Cuadro 1. Calendario de aplicación de herbicidas en Santa Lucia

Control de malezas en Santa Lucia

Herbicida	Fecha
Prosulfuron + triasulfuron + Clodinafop	15 de julio

Cuadro 2. Calendario de aplicación de herbicidas en Apizaco.

Control de malezas en Apizaco, Tlax.

Herbicida	Fecha
Glifosato	Preemergencia, 20 de Mayo
Prosulfuron + triasulfuron + Clodinafop	17 de Julio

Para el control de enfermedades no se aplicó ningún fungicida

4.1.4 Variedades utilizadas

La variedad utilizada fue Náhuatl F- 2000, esta se sembró durante el ciclo agrícola PV (junio-diciembre 2011).

4.1.5 Descripción de los tratamientos y diseño experimental.

4.1.5.1. Modelo (diseño: Bloques completos al azar)

El experimento se estableció utilizando un diseño de bloques al azar con 5



tratamientos y un testigo, cada uno de los tratamientos tuvo 3 repeticiones (Vargas, 2011).

4.1.6 Tratamientos

El experimento consistió en la evaluación de diferentes fuentes de nitrógeno en distintas dosis. Se consideraron un total de 5 tratamientos y un testigo los cuales se mencionan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos aplicados al cultivo de trigo (2011).

N° de tratamiento	Momento de aplicación de N	Fuente de N	Dosis (U)
1	Amacollamiento	Urea Granular	40
2	Amacollamiento	Sulfato de Amonio	40
3	Amacollamiento	Nitrato de calcio	10
4	Amacollamiento	Urea Foliar	10
5	Amacollamiento	*U plus Z	30
6		**Testigo	0

***Urea granular + zeolita**

****Testigo sin aplicación de nitrógeno**

4.1.7 Unidad experimental y muestreo

Para el ensayo M52 la unidad experimental estuvo constituida por cuatro camas de 15 m de largo x 3.2 m de ancho y con 0.8 m de separación entre éstas, con una superficie total de 48 m² y, considerando las dos camas centrales como parcela útil para evitar el efecto de bordo. Para las evaluaciones de enfermedades y el rendimiento. El muestreo se realizó en una superficie de 5 metros donde la población de plantas era uniforme, se obtuvieron una muestra de cada uno de los tratamientos para evaluar los distintos parámetros de rendimiento.



4.1.8 Variables evaluadas

Las variedades evaluadas fueron: El rendimiento y sus componentes como: Espigas por m², peso de mil granos y granos por espiga (Chen et al; 2008).

Rendimiento de grano

Este se obtuvo pesando el total de grano cosechado y se dividió entre los metros muestreados, para después convertirlo a kg/ha.

Número de espigas por m²

Esta variable se obtuvo a través del conteo de todas las espigas en una superficie de 0.8 m² y el total se dividió entre 15 metros correspondientes a lo cosechado

Número de granos por espiga

Se seleccionaron 5 espigas al azar de cada muestra, a las cuales se les contó el número de granos obteniéndose el promedio

Peso de 1000 granos

Para medir esta variable se contaron 200 granos de la muestra utilizando una balanza analítica y convirtiendo el peso a mil granos

4.1.9 Análisis de datos

Se obtuvo la media del rendimiento así como de sus componentes (espigas/m², peso de mil granos y granos por espiga) para cada tratamiento.

Los datos se analizaron con el apoyo del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para observar si había diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y así poder determinar cuál fuente de N obtuvo los mejores rendimientos (Vargas, 2012).

Posteriormente se hizo una regresión múltiple para identificar cuál de los parámetros de rendimiento afectó más el rendimiento final del cultivo de trigo con la ayuda de SAS (Vargas, 2012).



4.2 Efecto de diferentes fuentes de N en la presencia de enfermedades fungosas en semilla de trigo.

Una vez obtenidos los datos sobre rendimiento, la segunda parte del experimento consistió en evaluar las enfermedades presentes en grano de trigo con los 6 tratamientos mencionados en el cuadro 3 y conocer el efecto que tiene la fuente de N en la presencia de enfermedades y por ende en el rendimiento para lo cual se realizó lo que se describe a continuación:

En el presente trabajo se utilizaron granos de trigo de dos sitios (Apizaco, Tlaxcala y Santa Lucia Edo. de México).

4.2.1 Método de identificación de hongos en la semilla (FREEZING BLOTTER) (Warham et al. ,1998)

El método que utilizamos para la identificación de hongos consistió:

1. Remojar las semillas durante tres minutos en una solución de hipoclorito de sodio de uso experimental en el laboratorio al 10 % y enjuagarlas con agua destilada para su desinfección.
2. Colocar las semillas separadas uniformemente sobre 2 a 4 capas de papel secante húmedo (asperjado con agua destilada estéril) en una caja de plástico transparente.
3. Sellar perfectamente la caja con parafilm para evitar evaporación.
4. incubar la caja a 20 °C durante dos días (12 h con luz blanca y 12 h con oscuridad). Poner la caja al congelador a una temperatura de -15 a -20 °C durante un día. Volver a poner la caja a 20 °C durante 11 días (Warham, 1998).

Se colocaron 16 semillas en las cajas de plástico (20 x 30 cm) con 3 repeticiones a condiciones de laboratorio (+- 22° C y H.R. del 60%), para cada uno de los tratamientos.

4.2.2 Identificación de especies en laboratorio



Una vez transcurrido el tiempo para la esporulación de los hongos en la semilla se utilizaron características de la colonia (Color y forma) y morfología de los conidios, para su identificación. Se hicieron preparaciones temporales con lactofenol al 10 % de cada una de las semillas de trigo. Se observaron con el microscopio compuesto y se identificó cada uno de los hongos presentes en la semilla de trigo comparándose en base a Warham (1998), Dickson (1956), Wiese (1987) y Zillinsky (1984).



Figura 2. Método de identificación de hongos en la semilla (FREEZING BLOTTER) (Warham et al. ,1998) A) Desinfección, B) Colocación de las semillas C) Semillas en caja de plástico D) Formación de colonias Fungosas D) Identificación de hongos presentes en semilla (2012, Universidad Autónoma Chapingo).



4.2.4 Análisis de datos

4.2.4.1 Diseño experimental

El diseño utilizado fue en bloques completos al azar. La unidad experimental utilizada fue de 16 granos de trigo con 3 repeticiones para cada tratamiento (Vargas, 2012).

4.2.5 Variables estudiadas

La variable estudiada fue incidencia (hongos presentes en semilla) tanto de fitopatógenos y saprófitos en muestras de trigo fertilizadas con diferentes fuentes de N bajo condiciones de temporal

4.2.6 Análisis estadístico

Se obtuvo el porcentaje de incidencia de hongos patógenos y saprófitos en grano de trigo, por dosis y fuente de N; posteriormente se obtuvo una regresión lineal con la ayuda de Excel y SAS para ver que parámetros del rendimiento se veían más afectados por la incidencia de hongos fitopatógenos (Vargas, 2012). Para identificar cual de los tres componentes de rendimiento fue mayormente afectado por las enfermedades se tomaron las ecuaciones de regresión múltiple obtenidas; dos de los componentes de mantuvieron a un valor fijo y el tercero de varió en un amplio rango de valores. Los números resultantes para cada uno de los componentes se graficó para comparar visualmente su pendiente considerándose que la más inclinada correspondió al componente mayormente afectado.

4.3 Toma de lecturas NDVI

La toma de lecturas NDVI fueron hechas en cada uno de los tratamientos (Fuentes de N) a lo largo de toda la cama en cada etapa fenológica del cultivo del trigo con un sensor óptico para conocer el estado nutricional del cultivo de trigo (Limón-Ortega, 2009).

4.3.1 Análisis estadístico

De todas las lecturas registradas se obtuvo la media para cada tratamiento. Los datos obtenidos se relacionaron con la incidencia de hongos fitopatógenos para saber si las lecturas de NDVI de alguna manera están relacionadas con la incidencia



V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Efecto de las fuentes de N en el rendimiento de trigo de temporal

El rendimiento promedio que se obtuvo en el sitio de Apizaco fue de 1783 Kg/ha, en el Cuadro 4 podemos observar que el tratamiento que obtuvo mayor rendimiento fue el testigo con un promedio de 1920 kg/ha, superando a los demás tratamientos. Este rendimiento coincide con lo descrito por Limón (2010) en donde explica que el rendimiento promedio a nivel de 0 kg N/ha es de aproximadamente 2000 kg. Sin embargo los tratamientos en donde estuvo presente el N obtuvieron valores inferiores, esto se puede deber a que el suelo en donde se estableció el experimento por sí mismo puede proporcionar la cantidad de 70 kg de N/ha lo que es suficiente para producir rendimientos aceptables (Limón et al., 2008). Al incorporar más de este elemento por medio de los fertilizantes evaluados estamos proporcionando un excedente de N afectando el rendimiento final. Valenti y Wicks (1992) mencionan que cuando las dosis aplicadas de N son las óptimas, se incrementa el rendimiento de grano; sin embargo, cuando este nivel se excede, puede manifestarse en un elevado desarrollo vegetativo y una baja producción del cultivo de trigo.

Cuadro 4. Medias para cada componente de rendimiento

Apizaco, Tlaxcala				
Fuente de nitrógeno	Espigas/m ²	Rendimiento kg/ha	Peso de mil granos	Granos/espiga
40Urea G	300.91	1628.22	35.5	15.62
40SA	267.91	1620.7	34.33	18.34
10Nca	328.33	1890.8	34.83	16.51
10Urea F	297.08	1838.43	32.33	18.74
0Testigo	289.66	1919.75	35.16	19.34
30UplusZ	364.16	1804.81	35	14.16
PROMEDIO	308	1783	34.5	17.12



El testigo obtuvo los mayores promedios para cada casi todos los componentes de rendimiento a excepción de las espigas/m² en donde la Urea granular + zeolita obtuvo el mayor promedio.

Cuadro 5. Medias para cada componente de rendimiento

Santa Lucia, Edo. De México				
Fuente de nitrógeno	Espigas/m ²	Rendimiento	Peso de mil granos	Granos/espiga
40 Urea G	286.25	1550.22	32.33	16.95
40 SA	232.91	1566.78	29.83	22.61
10Nca	311.25	1052.9	30	10.93
10 Urea F	267.5	1573.12	31.33	18.43
0 Testigo	303.33	1742.82	34	17.25
30UplusZ	319.16	1194.53	30.16	12.002
Promedio	286.73	1446.73	31.27	16.366

Para el caso de Santa Lucia se obtuvo un mayor rendimiento en el testigo (Ver cuadro 5), volvió a suceder lo mismo para las espigas/m² en donde en el tratamiento de urea granular más zeolita obtuvo el mayor número de espigas esto se puede deber a que la aplicación de zeolita incide en la reducción de las pérdidas de N en los suelos agrícolas, lo cual incrementa el aprovechamiento de este elemento por los cultivos (John *et al.*, 1998) y a que la producción de espigas por planta está determinada por el macollaje y sobrevivencia de los macollos y depende fundamentalmente de la variedad, luz, humedad, temperatura y nivel nutricional del suelo. Un adecuado suministro de N es esencial para incrementar la proporción de macollos que llegan a producir espigas. (Kholi y Martino, 1997). Por lo tanto la zeolita combinada con la urea granular logran aportar la cantidad de N optima en el amacollamiento para una buena producción de espigas.

Sin embargo es importante recalcar que el número de espigas no es un factor determinante en el rendimiento final del cultivo del trigo, este va asociado a otros³⁹



componentes de rendimiento como son el peso de mil granos, el número de granos por espiga ente otros y a la interacción de muchos otros factores entre los que están la precipitación, dosis de N, incidencia de patógenos, variedad y manejo, entre otros (Chen et al; 2011).

Al realizar la comparación de medias en el cuadro 6 y 7 observamos que en la variable rendimiento no hubo diferencia significativa en ninguna de las fuentes de N, esto sucedió para ambos sitios y como ya habíamos mencionado el tratamiento con mayor rendimiento es el testigo. El rendimiento obtenido en estos sitios se encuentra por debajo de los 2800 kg/ha por lo que Limón-Ortega et al; 2008 indica que la fertilización con N se podría excluir de los insumos.

Cuadro 6. Comparación entre tratamientos para la variable rendimiento en Apizaco usando la prueba de Tukey al 95%.

Tratamiento	Media	Agrupamiento
30UplusZ	1804.8	A
10Nca	1890.8	A
40UreaG	1628.2	A
10UreaF	1838.4	A
0Testigo	1919.8	A
40SA	1620.7	A

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes



Cuadro 7. Comparación entre tratamientos para la variable rendimiento en Santa Lucia usando la prueba de Tukey al 95%.

Tratamiento	Media	Agrupamiento
30UplusZ	997.3	A
10Nca	1157.3	A
40UreaG	1830.0	A
10UreaF	1148.3	A
0Testigo	1445.2	A
40SA	1783.9	A

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

El agregar N en cualquier forma, ya sea foliar o granulado, no nos garantiza que tengamos los mejores rendimientos ya que la siembra de trigo de temporal en el Altiplano central esta a expuesta a una serie de factores incontrolables tales como la heterogeneidad de los suelos, distribución irregular de lluvias, e incidencia de heladas tempranas (Villaseñor y Espitia, 2000). Considerando que el año 2011 se caracterizó por ser el año con menos lluvia desde 1941 y lluvias al 50 % de lo normal o menores ocurrieron en regiones del centro, complementándose con temperaturas elevadas. Además de que Tlaxcala y Estado de México se consideraron dentro de la categoría de sequía extrema (CONAGUA ,2011). Esto pudo provocar una respuesta negativa del N en el cultivo por lo cual aunque fue agregado éste no se comportó de la manera esperada lo que ocasiono una perdida en el rendimiento (Limón-Ortega; 2013).

5.1.2 Componentes de rendimiento que afectan la producción total de trigo.

(Fisher et al.. 1977) menciona que el parámetro mayor asociado con el rendimiento en grano es el número de granos por unidad de superficie y este es el producto de los siguientes componentes: plantas /m², espigas/ planta y granos /espiga. (Abbate et al., 1998) menciona que el rendimiento de grano de trigo₄₁



está determinado por el peso y el número de granos por unidad de superficie y este último componente es el que presenta correlación más alta con el rendimiento. Para los componentes evaluados en el presente trabajo en la regresión múltiple realizada en SAS obtuvimos en ambos sitios que el parámetro más asociado a rendimiento es peso de mil granos y granos por espiga, esto se puede concluir porque en la ecuación de rendimiento los componentes de granos/espiga y peso de mil granos son los que presenta el mayor valor. Además al sustituir en la ecuación los valores reales que se tienen para cada parámetro serían los componentes antes mencionados los que tiene mayor relación con el rendimiento, esto coincide con el cuadro 4 y 5 el cual nos muestra que el testigo tuvo la mayor media en estos componentes lo que derivó al más alto rendimiento.

Rendimiento= $-3030.53 + 6.43805(\text{Espigas}/\text{m}^2) + 28.11963(\text{peso de mil granos}) + 108.65 (\text{granos/espiga})$

Ecuación de rendimiento para Apizaco, Tlaxcala

Rendimiento= $-2773.56 + 3.052 (\text{Espiga} /\text{m}^2) + 72.7(\text{Peso de mil granos}) + 65.44 (\text{granos/espiga})$

Ecuación de rendimiento para Santa Lucía, Edo. De México

Todos los componentes del rendimiento pueden beneficiarse en mayor o menor grado del agregado del N (García, 1994). Si bien el N puede incrementar cada uno de los componentes individualmente fenómenos compensatorios hacen que a menudo los componentes se correlacionen entre sí de manera negativa, tendiendo a provocar el incremento de uno de ellos, la caída de otro. De este modo el mismo rendimiento en grano puede obtenerse por diferentes caminos, resultando difícil establecer una combinación óptima de los componentes (Kohli y Martino, 1997).

La figura 3 muestra cada uno de los tratamientos aplicados en el sitio de Santa Lucía (A, B, C, D y E) se aprecia que visualmente no existe diferencia entre



estos ya que todos presentan un color verde uniforme, además también nos podemos percatar que se tiene una población de plantas y espigas uniforme. La figura 3 F corresponde al sitio de Apizaco el tratamiento es el testigo, aquí es importante señalar que los resultados fueron parecidos y no se presentaron síntomas de deficiencia de N a lo largo del ciclo del cultivo, se observa un ligero amarillamiento en la parte baja de las plantas, pero esto se debió a exceso de humedad provocando este síntoma.

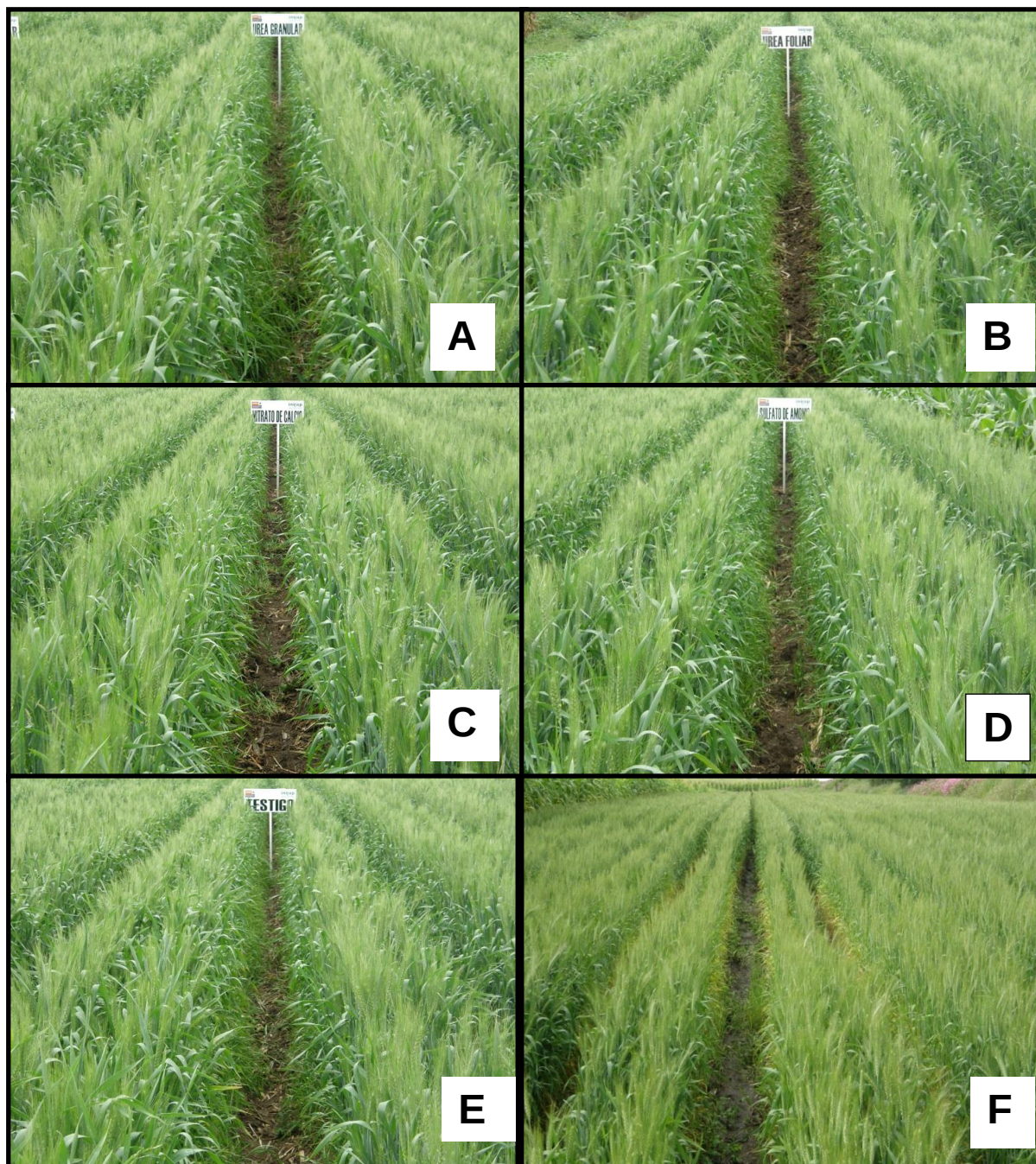


Figura 3. Efecto de las diferentes fuentes de nitrógeno en el cultivo de trigo de temporal en el sitio de Santa Lucia, Texcoco (A) Urea granular, (B) Urea foliar (C) nitrato de calcio, (D) Sulfato de Amonio, (E) Testigo.

5.2 Identificación de hongos en semilla

Por la morfología de cada una de las colonias presentes y por las características de cada uno de los conidios, se encontraron hongos fitopatógenos de los géneros *Fusarium* y *Helminthosporium* y saprofitos del género *Alternaria* (Leslie, 2006; Zillinsky, 1984 y Warham, 1998).

Los hongos que se identificaron y evaluaron fueron:

Fusarium verticillioides

La colonia en semilla se observó de color blanco, con micelio aéreo con apariencia pulverulento a causa de la formación de microconidios. Los microconidios son hialinos, generalmente unicelulares, pero en ocasiones bicelulares; miden 5-12 x 1-3 μm , con forma oval o de garrote y están ligeramente aplanados en cada extremo, como lo menciona Warham *et al.*, (1998). Los macroconidios son hialinos, delicados, con paredes delgadas, y su forma varía de curvos a casi rectos (Figura 9); tienen 3-7 septas, miden 25-60 x 2-4 μm y la célula basal tiene forma de pie, aunque raramente se observan (Zillinsky, 1984; Romero, 1993 y Warham *et al.*, 1998). Los microconidios son de forma oval no septados (Figura 4), Es común encontrar largas cadenas formando una especie de orejas de raton, se pueden observar monofialides (Leslie, 2006).

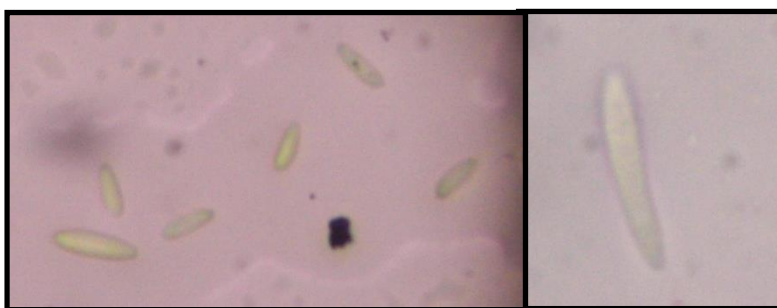


Figura 4. Microconidios de *Fusarium verticillioides*



***Fusarium graminearum* Schawabe**

La colonia en la semilla es de un abundante micelio fino, inicialmente blanca que se torna amarilla y luego roja.

Los macroconidios son largos, grandes y de paredes gruesas. Son hialinos, rectos o ligeramente curvos, con tres a siete septas; miden de 25-50 μ por 2.5- 5 μ (Zillinsky, 1984). Con una célula basal semejante a un pie bien desarrollado y una célula apical curva muy puntiaguda (Ver figura 5). Cuando hay clamidosporas son esféricas hialinas o de color café pálido; miden 10-12 μ (Warham, 1998).



Figura 5. Macroconidios de *Fusarium graminearum* y colonia en semilla de trigo

***Fusarium avenaceum* (Fr.)Sacc.**

Se observaron macroconidios largos, delgados y más o menos curvos de manera uniforme en toda su longitud (Zillinsky, 1984) y con una célula apical alargada y una basal visible (Wiese, 1986). Miden de 50-80 μ por 2.5-4.0 μ y tienen de cuatro a siete septas (Ver figura 6). Ocasionalmente se encuentran peritecios en las plantas infectadas (Zillinsky, 1984)



Figura 6. Conidios de *Fusarium avenaceum*

***Helminthosporium sativum* Pammel, King y Bakke.**

Se observó a la colonia de un color café oscuro a negro , con una densa masa de conidióforos y conidios. Los conidioforos se desarrollan individualmente o en grupos, erectos, no ramificados, miden de 100-150 μ por 6-8 μ y tienen varias septas. Los conidios se desarrollan lateralmente a partir de poros que se originan precisamente debajo de las septas del conidioforo (Mathur,1993). Los conidios son de colores café oliva, oblongos, adelgazados hacia su punta, ligeramente curvos con paredes lisas y tienen una cicatriz basal prominente (Ver Figura 7)

Miden de 60-120 μ por 12-20 μ y tienen de tres a nueve septas (Zillinsky,1984).

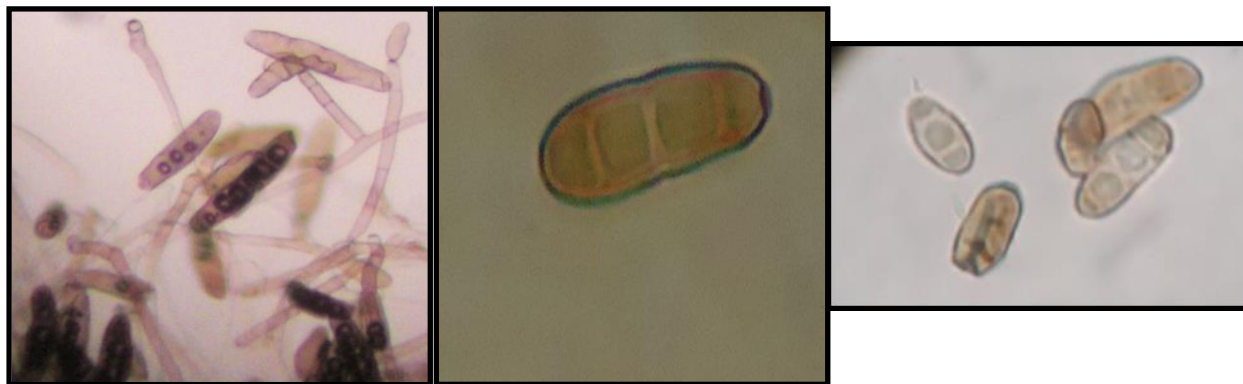


Figura 7. Conidios de *Helminthosporium sativum*

***Alternaria* sp.**

La colonia en semilla es generalmente oscura o café casi negro. Los conidioforos son de color café oscuro oliváceo, se producen individualmente o en pequeños grupos simples o ramificados y miden por lo general 3-6 μ de espesor y 50 μ de largo (Warham , 1998). Los conidios de las especies saprofitas de *Alternaria* se producen en cadenas, tienen forma de huevo u ovalo y a menudo se ahusan para formar un pico en el ápice. Son de color café oscuro a mediano, son paredes ligeramente rugosas, varias septas transversales y longitudinales u oblicuas, miden 20- 90 μ por 820 μ (Zillinsky, 1984) (Ver figura 8).

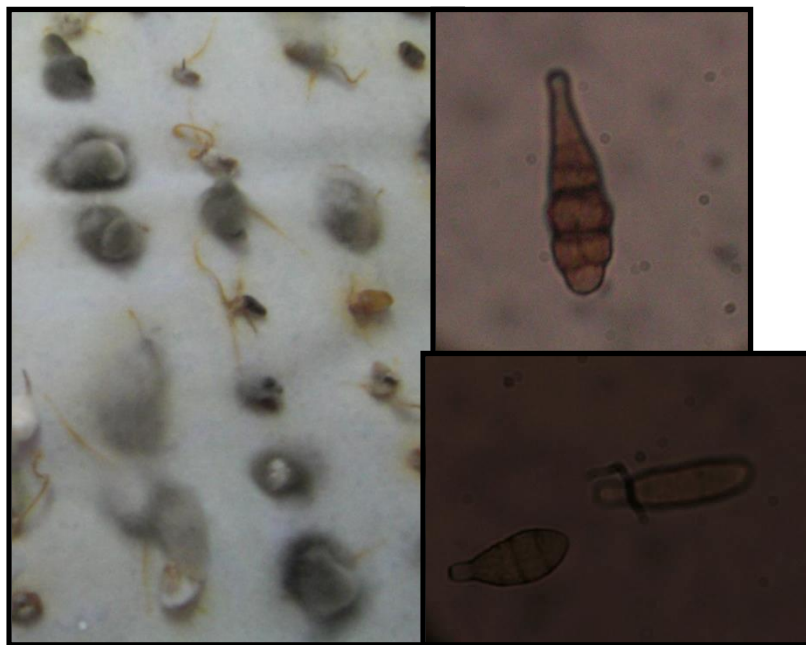


Figura 8. Conidios y colonia de *Alternaria* sp. Presente en semilla de trigo

5.2.1 Incidencia de enfermedades por sitios

La especie de hongos que se encontraron en cada sitio va relacionada principalmente con el tipo de clima, la intensidad de lluvias, el régimen bajo el cual se estableció el cultivo (riego o temporal), entre otros (Zillinky, 1984).

La incidencia en porcentaje de las especies de hongos encontrados en cada sitio con el programa Excel se observa en el cuadro 8 y 9.



En Apizaco, Tlaxcala la especie que tuvo mayor incidencia fue la correspondiente a *Fusarium verticillioides*. mientras que en Santa Lucia la especie que mas encontramos corresponde a un hongo saprofito el cual es *Alternaria* sp.

5.3 Efecto de las fuentes de N en la incidencia de enfermedades en semilla de trigo.

Cuadro 8. Incidencia de hongos fitopatogenos en grano de trigo en el ciclo PV 2011 en Apizaco y Santa Lucia.

HONGOS FITOPATOGENOS								
	SITIO		SITIO		SITIO		SITIO	
	Apizaco	Sta. Lucia	Apizaco	Sta. Lucia	Apizaco	Sta. Lucia	Apizaco	Sta. Lucia
Fuente de N	<i>F. verticillioides</i>		<i>F.avenaceum</i>		<i>F. graminearum</i>		<i>H. sativum</i>	
40 Urea granular	54.16	0	6.25	0	0	0	0	0
40 Sulfato de amonio	64.58	25	2.08	0	2.08	0	2.08	0
10 Nitrato de calcio	41.66	14.58	4.16	0	2.08	0	0	0
10 Urea Foliar	52.08	20.83	4.16	0	0	0	0	0
0 Testigo	31.25	12.5	0	0	0	0	0	0
30 Urea granular + Zeolita	56.25	14.5	2.08	0	0	0	2.08	0
Promedio	50	14.5	3.125	0	0.694	0	0.694	0

Los hongos fitopatógenos asociados a la semilla de trigo que se presentaron en las muestras de Apizaco fueron *F. verticillioides*, *F. avenaceum*, *F. graminearum*, y *Helminthosporium sativum*, siendo *Fusarium verticillioides* el que obtuvo la mayor incidencia con un 50%. (Wiese; 1987) menciona que algunas especies de hongos que están presentes en la semilla de trigo pertenecen a los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Helminthosporium*. Los hongos que menor incidencia tuvieron fueron *F. graminearum* y *H. sativum* con un 0.69%. En cuanto a los tratamientos el que tuvo los mejores resultados fue el testigo con un 31.25% de incidencia, casi la mitad de lo que presentaron los tratamientos con N, cabe



mencionar que el testigo también presentó menor incidencia de los otros géneros de *Fusarium* y *Helminthosporium* (Ver cuadro 8). En cuanto a la incidencia de hongos saprofitos esta fue del 12.5 %.

Cuadro 9. Incidencia de hongos saprofitos en grano de trigo en el ciclo PV 2011 en Apizaco y Santa Lucia.

HONGOS SAPROFITOS		
	SITIO	
Fuente de N	Apizaco	Santa Lucia
	<i>Alternaria</i> sp.	
40 Urea granular	16.66	60.41
40 Sulfato de amonio	2.08	35.41
10 Nitrato de calcio	14.58	37.5
10 Urea foliar	8.33	41.66
0 Testigo	10.41	33.33
30 Urea granular+zeolita	20.83	29.16
Promedio	12.5	39.58

En Santa Lucia se presentó únicamente *F. verticillioides* como hongo fitopatógeno con una incidencia de 14.58, el mejor tratamiento fue el testigo con una incidencia del 12.5%, mientras que la incidencia de hongos saprofitos (*Alternaria* sp.) fue de 39.58 (Ver cuadro 9).

(Mathur, 1993) menciona que el uso de N suplementario y reguladores de crecimiento puede aumentar la incidencia de la infección en la semilla por *Fusarium*.

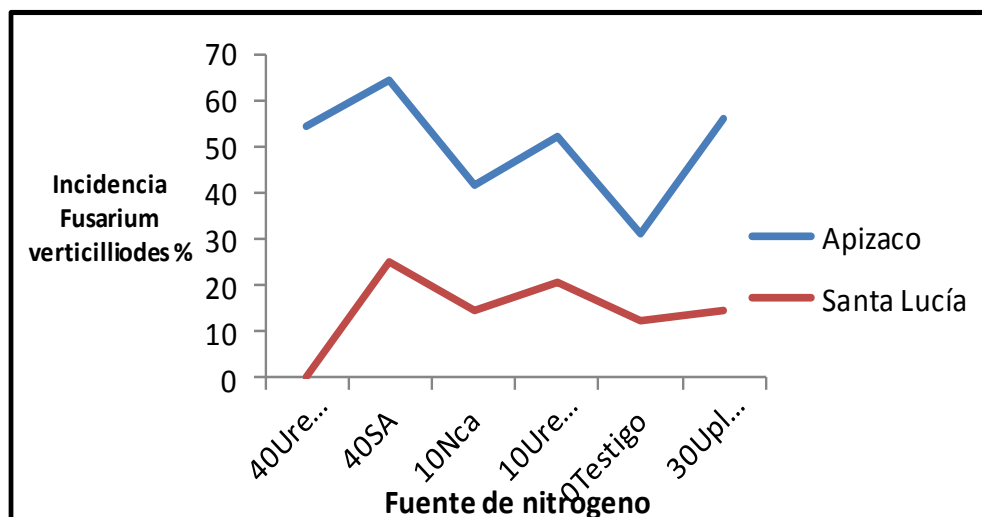


Figura 9. Comportamiento de *Fusarium verticillioides*, en relación a la aplicación de diferentes fuentes de N.

La Figura 9 nos muestra el comportamiento que tuvo *F. verticillioides* a las diferentes fuentes de N, podemos observar que en ambos sitios la enfermedad se comporta de manera similar, el tratamiento con sulfato de amonio incrementa la incidencia para los dos sitios y el que tiene menor incidencia es el testigo. También podemos observar que para el caso de Apizaco las fuentes de nitrógeno que tienen más unidades de N por hectárea (Urea granular, sulfato de amonio y urea granular más zeolita) presentaron mayor incidencia mientras que dosis más bajas de N tuvieron incidencias menores. Para reducir la enfermedad es importante llevar una fertilización balanceada de N y K, así como una dosis altas de P y bajas densidades de campo (Agrios, 1993).

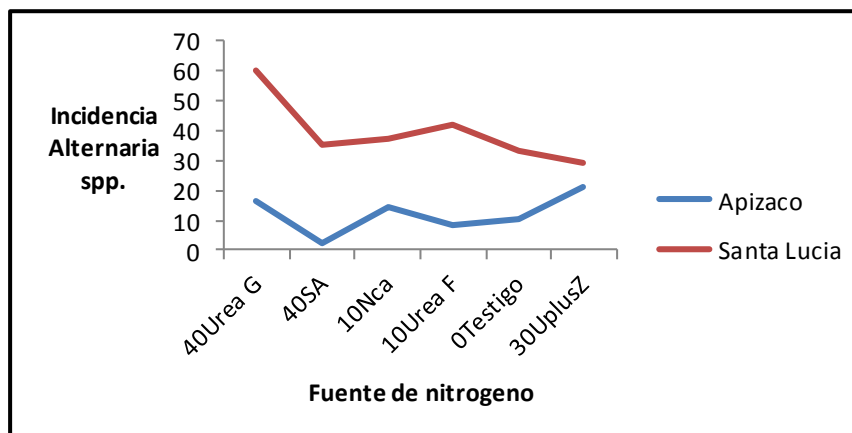


Figura 10. Comportamiento *Alternaria* sp., en relación a la aplicación de diferentes fuentes de N

En la figura 10 se muestra el comportamiento del hongo saprofito este de igual manera es similar en los dos sitios la urea granular con dosis de 40 unidades de N por hectárea sigue siendo el tratamiento con mayor incidencia para el caso de Santa Lucia con un promedio de 60.41% y en Apizaco resulta es el segundo tratamiento con mayor incidencia.

De acuerdo al análisis de los cuadros y figuras anteriores podemos decir que tomando en cuenta el rendimiento y la incidencia de hongos fitopatógenos y saprofitos en los distintos tratamientos aplicados al cultivo de trigo en el ciclo 2011; es la dosis de 0 Kg N ha⁻¹, la que mostró los mayores rendimientos y menor incidencia, esta dosis se encuentra recomendada por Limón et al; (2008), la cual varía de 0- 40 Kg N ha⁻¹ dependiendo del medio ambiente.

5.3.1 Componentes de rendimiento afectados por la incidencia de hongos asociados a semilla.

Al realizar una regresión múltiple los componentes que mayormente se ven afectados por la incidencia de *F. verticillioides* es el peso de mil granos para ambos sitios.

$$\text{Fusarium verticillioides} = 96.35 - 0.069(\text{Espigas/m}^2) - 1.17(\text{peso de mil granos}) - 1.55(\text{granos/espiga})$$



Ecuación de *Fusarium verticillioides* para Apizaco, Tlaxcala

Fusarium verticillioides = $7.57 + 0.042(\text{espigas/m}^2) - 0.79425 (\text{peso de mil granos}) + 0.45627(\text{granos/espiga})$

Ecuación de *Fusarium verticillioides* para Santa Lucia

Para complementar estos resultados se realizó una simulación con las ecuaciones obtenidas para ver que componente se afecta más por la incidencia de *F. verticillioides*.

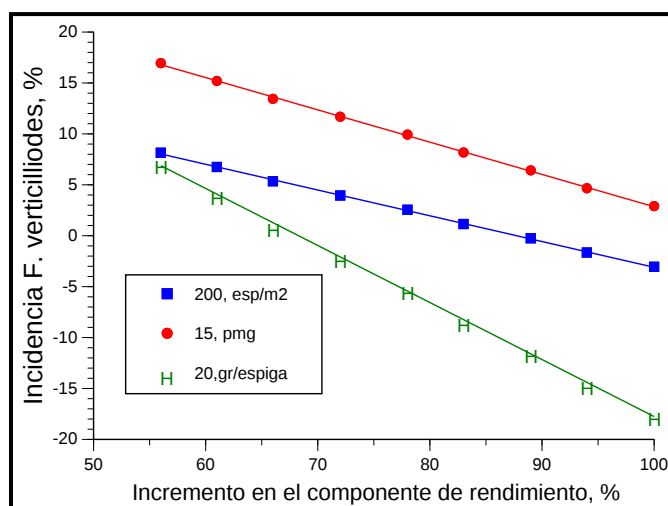


Figura 11. Efecto de *Fusarium verticillioides* en los componentes de rendimiento (Apizaco).

El componente que mayormente se ve afectado en los dos sitios es el peso de mil granos. Generalmente los daños por esta enfermedad son granos que están llenos de micelio. La enfermedad puede causar una reducción en rendimiento de hasta 50 % y afectar seriamente la calidad del grano. Los granos con frecuencia están arrugados lo cual nos ocasiona una pérdida en su peso (Prescott, 1986). El hongo suele aparecer en los granos de maíz y trigo cuando se acercan a la madurez fisiológica y sigue aumentando hasta el final de la temporada de crecimiento (Young y Kucharek, 1977)

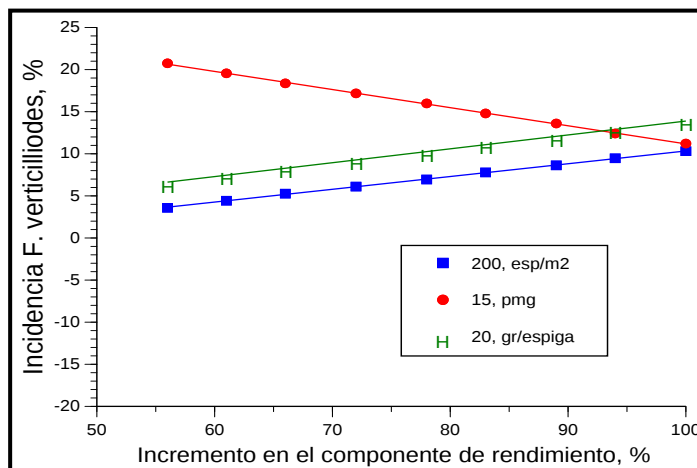


Figura 12. Efecto de *F. verticillioides* en los componentes de rendimiento (Santa Lucia)

Todos los componentes son importantes en el rendimiento final del cultivo de trigo ya que el decremento en uno puede ser complementado por el incremento en otro (Kohli y martino,1993). Los componentes que evaluamos en esta ocasión nos muestran un panorama acerca de como se comportan ante la incidencia de enfermedades fungosas. Nuestro papel entonces bajo este sistema de siembra es ver la manera de manipularlos para no ver afectado el rendimiento. El componente peso de mil granos es algo difícil de controlar ya que esta dado por cuestiones genéticas, sin embargo no es imposible sacar nuevas variedades que nos aporten un peso y un tamaño mayor, en cuanto a las espigas/m² aumentar la densidad de plantas nos proporcionaría un incremento en el componente pero tenemos que cuidar que estas densidades se encuentre dentro de un rango en el cual no favorezcan la presencia de enfermedades o que promuevan el acame.

En la figura 13, en Apizaco se ve que con la mayores incidencias de *Fusarium* (entre 50 y 56%) se obtuvo un menor rendimiento en grano, y a incidencias bajas se incrementó el rendimiento de manera considerable superando los 1900 kg/ha. en donde, claramente se puede ver con la ayuda de la R², el cual nos indica que el 69% del rendimiento de grano de trigo depende de la incidencia de *F. verticillioides*. En Santa Lucia *Fusarium verticillioides* se presentó de manera



mínima por lo cual el rendimiento no se vio afectado por el patógeno y se produjo rendimientos similares entre todos los tratamientos la R^2 nos indica que solo el 17% del rendimiento depende de la incidencia de *F. verticillioides*

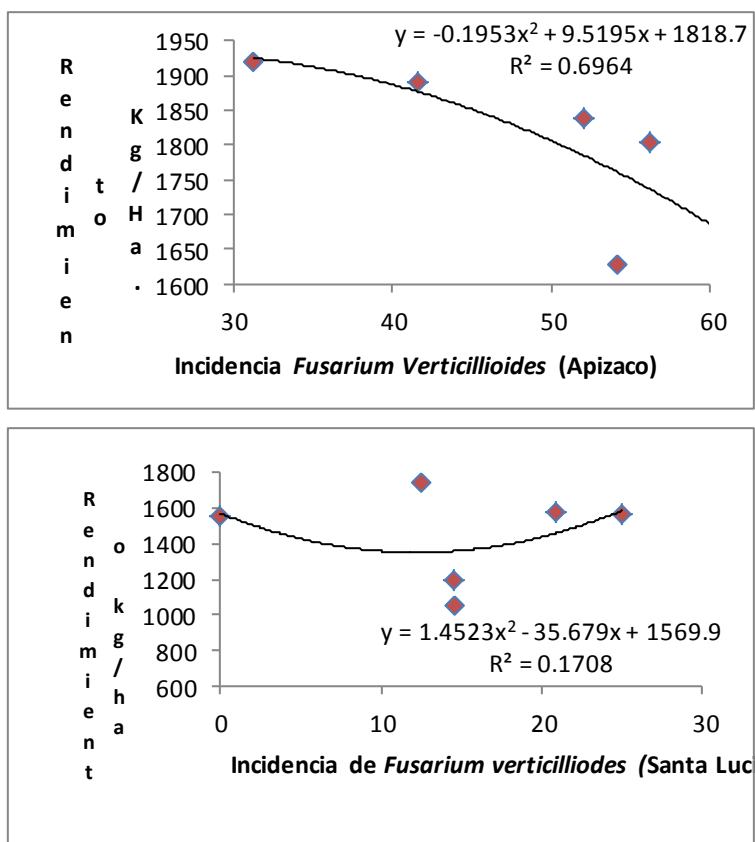


Figura 13. Respuesta del rendimiento en relación a la incidencia de *Fusarium verticillioides*.

5.4 Lecturas NDVI en el cultivo de trigo

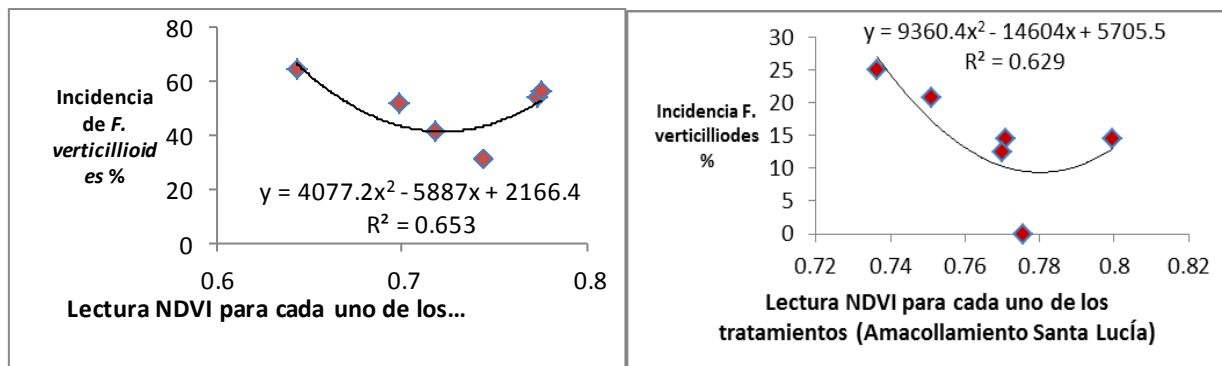


Figura 14. Lecturas NDVI (Amacollamiento).

Finalmente al evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en Apizaco se obtuvo en el amacollamiento lecturas de 0.642987078 a 0.774895495, en el encañe las lecturas fueron de 0.69268337 a 0.81125228, el embuche presento NDVI entre 0.66156371 y 0.8218477, el espigamiento estuvo entre 0.74355608 y 0.83597832 y finalmente el la floración se registraron lecturas de 0.72512849 a 0.81551136, (Ver figura 14). La R2 para la mayoría de las regresiones es arriba del 0.5%. Las lecturas intermedias de NDVI son las que presentaron menor incidencia lo que nos indica que la cantidad de N en cada etapa fenológica predispone al cultivo a ser susceptible a la presencia de patógenos como lo es *F. verticillioides*. Por lo cual se debe de tener una adecuada cantidad de este elemento para evitar las deficiencias o excesos en la planta y pueda ser capaz de ser resistente al ataque de enfermedades y asi poder lograr los rendimientos esperados. Limón, 2009 menciona que si se tienen lecturas superiores a 0,56 y 0,65 para camas permanentes y siembra convencional , respectivamente la aplicación de N al final del ahijamiento se pueden excluir sin que se modifique el rendimiento del grano.

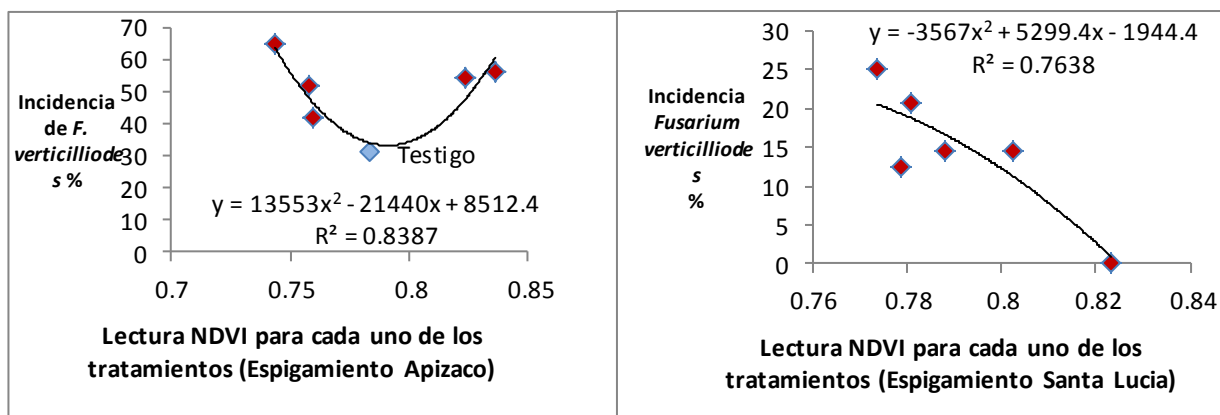


Figura 15 Lecturas NDVI (Espigamiento)

Los resultados en Santa Lucia fueron muy distintos a Apizaco. No hubo una incidencia grande de *F. verticillioides*, la incidencia mayor fue del 25% Para este hongo en el amacollamiento las lecturas fueron de 0.736556199 a 0.799657694, el encañe presento datos de 0.71616838 a 0.76146116, las del embuche fueron 0.75460725 a 0.79528694, el espigamiento tuvo lecturas NDVI de 0.77369417 a 0.82324133 y finalmente en la floración se obtuvieron lecturas de 0.77507906 a 0.81817403, En Santa Lucia las lecturas NDVI mas altas son las que presentan una menor incidencia de *F. verticillioides*. (Ver figura 15) Por lo tanto no se puede concluir que las lecturas intermedias son las que nos indicaran en un futuro la presencia del patógeno, sin embargo como ya mencionamos anteriormente factores como la precipitación, temperatura, tipo de suelo, pH entre otros pudieron alterar dichos resultados. Lo que se presenta en este trabajo solo son resultados de un año, lo mas recomendable es repetir el experimento por un periodo mas largo de tiempo para ver el comportamiento de esta relación ante los distintos factores que se presentaran y asi concluir que tanta relación existe entre las lecturas NDVI y la presencia de hongos fitopatogenos.

Si la presencia de *F. verticillioides* se puede predecir a tiempo con la toma de NDVI en cada etapa fenológica de la planta podemos realizar medidas preventivas para evitar que el patógeno se presente o bien que el impacto que este tenga en la planta sea en menor grado. Asi también la dosis de fertilización podría ajustarse en base a las lecturas.

Como hemos observado a lo largo de todo este trabajo el rendimiento de un cultivo es influenciado por distintos factores algunos son: El exceso de N en el cultivo de trigo ya que lo hace más susceptible a las enfermedades, así como también si se aumentan los niveles de N el rendimiento disminuye⁵⁷



significativamente de acuerdo a lo que menciona Walters et al., (2003). El tipo de variedad Villaseñor *et al.*, (2000) menciona que la variedad Náhuatl F2000 es moderadamente susceptible a las enfermedades conocidas como tizón foliar (*H. sativum*), mancha de la hoja (*F. nivale* roña de la espiga (*F. graminearum*), entre otras; esto pudo haber sido un factor determinante también para la disminución en el rendimiento, combinado con las condiciones ambientales, tipo de suelo, etc.



VI. CONCLUSIONES

- ✓ El tratamiento que tuvo el mejor rendimiento para ambos sitios fue el testigo con una dosis de N de 0 Kg/ha.
- ✓ La urea granular, el sulfato de amonio, el nitrato de calcio, la urea foliar y la urea granular no resultaron fuentes de N viables para aumentar el rendimiento en grano del cultivo de trigo.
- ✓ La urea granular más zeolita tuvo mayor número de espigas/m² en los dos sitios pero no resultó significativa para el rendimiento final.
- ✓ Los componentes de rendimiento que presentaron una mayor relación con el rendimiento final del cultivo del trigo fueron granos/espigas y el peso de mil granos.
- ✓ Los hongos presentes en semilla de trigo en Apizaco, Tlaxcala fueron *Fusarium verticillioides*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium avenaceum* y *Helminthosporium sativum* como fitopatógenos y *Alternaria spp.* Como saprofito, siendo *F. verticillioides* el que tuvo mayor incidencia.
- ✓ Los hongos presentes en semilla de trigo en Santa Lucía fueron *Fusarium verticillioides* como fitopatógeno y *Alternaria sp.* Como saprofito.
- ✓ El tratamiento que tuvo menor incidencia de hongos fitopatógenos y saprofitos en ambos sitios fue el testigo con una dosis de 0 Kg de N/ha.
- ✓ Los componentes de rendimiento afectados por la incidencia de *F. verticillioides* fue el peso de mil granos para ambos sitios.
- ✓ Las lecturas NDVI intermedias en cada etapa fenológica del cultivo del trigo para el sitio de Apizaco presentaron menores incidencias de *Fusarium verticillioides* lo que nos indica que un cultivo con buen estado nutricional va a ser menos susceptible al ataque de patógenos.



- ✓ Las lecturas NDVI altas en cada etapa fenológica del cultivo del trigo para el sitio de Santa Lucia presentaron la menor incidencia.
- ✓ Los resultados contradictorios en este análisis nos dejan ver que el estudio de estas lecturas se deben de llevar a un periodo de tiempo mayor para determinar si la toma de estas lecturas nos podría ayudar a predecir enfermedades en un futuro.
- ✓ Por ultimo queda decir que el rendimiento final del cultivo del trigo depende de un conjunto de factores en ellos se involucra el manejo que se le de al cultivo, el buen estado nutricional de este, fuentes de fertilización, el medio ambiente, variedades utilizadas y las enfermedades que puedan presentarse. La interacción entre estos puede traer como consecuencia un incremento o decremento del rendimiento, sin embargo al poder controlar los factores que están en nuestras manos obtendremos rendimientos aceptables, por lo cual es importante conocer como es la interacción entre estos además de saber cuáles componentes nos van a causar mayor reducción en el rendimiento para tomar medidas preventivas y evitar dicha situación.



VII. LITERATURA CITADA

Abbate P. E.; Lazaro, F.H. 1998. ¿Es posible incrementar el número de granos por unidad de superficie. La Estanzuela, Uruguay, Octubre 20 al 23, 1997. CIMMYT-INIA pp: 71-89

Agrios, N. G. 1993. Fitopatología. Primera edición. Limusa. México, D.F. 843p.

Agrios, N. G. 1998. Fitopatología. Segunda edición. Limusa. México, DF. 838p.

Blanco, A. M. 1998. Efectos de enfermedades foliares fungosas en trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. Depto. De Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 125p.

Chen, C.; Neil, K.; Wichman, D. and Westcott, M. 2008. Hard red spring wheat response o row spacing, seeding rate, and nitrogen. Agr. J. 100:1296-1302.

Contreras, C. M.L. 1985. Demanda Nacional de trigo y factores que la determinan. Tesis profesional. Departamento de Economía Agrícola UACH. Chapingo, México. 114 p.

Contreras, M. O. 1999. Efecto de las enfermedades foliares y transmisión por semilla en cereales de grano pequeño en ambientes húmedos de temporal. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 49p.

Crovetto, L. C. 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria San Francisco 454, Santiago de Chile p. 87:221:240-241.

Cruz, C. L. 2001. Incidencia de pudrición de raíz causada por hongos en maíz y



trigo en parcelas de labranza de conservación. Tesis. M.C. Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo. México. 69p.

De Wolf, E. D.; Lipps, P. E; Franci, L. J. And L. V. Madden. 1999: Role of environmental and inoculum level in wheat *Fusarium* head blight development. National Fusarium Head Blight Forum. I: 87-91.

Dickson, J. G. 1956. Diseases of field crops. Segunda edición. MC. Graw- Hill Book Co. New Cork. 517p.

Fischer, R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. Agric. Sci. Camb. 105: 447-461. Florida. Plant Dis. Rep. 61 : 76-80.

Galeana, D.C.M. 2000. Efecto de dos sistemas de labranza en las características físicas y químicas de un suelo. Tesis. Dr. en Ciencias- Biología. UNAM. Facultad de ciencias. México. D.F. 133 pp.

Gilchrist, S; L; Fuentes, D. G. y Martínez, C. 1995. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. México, DF. CIMMYT. 64p.

Gómez, A. R. 1999. Efecto de las enfermedades foliares y transmisión de patógenos por semillas en cereales de grano pequeño de temporal en ambientes críticos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 62p.

González, R. L.L. 2002. Labranza de conservación. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (INCA) Folleto. México. 81 pp.



Gordon, W. B. 1995. Planting wheat in a ridge till row crop system. In Agronomy Abstracts. ASA. Madison WI. 121p.

Govaerts, B. Mezzalama, M. Sayre, K. Crossa, J. Nicol, J. and Deckers, J. 2005. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root and nematode populations in subtropical highlands. Applied Soil Ecology. 32:305-315.

Hernández, H, M. R. 2001. Detección específica del Carbón Parcial del Trigo (*Tilletia indica* Mitra), usando la reacción en cadena de polimerasa (PCR). Tesis. Maestro en Ciencias en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México. 57p.

Hernández, R. R. 1992. 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. Chapingo, Méx. 43p.

INEGI. 2009 Cuaderno Estadístico del Estado de México. Edición 2009. INEGI pp. 5-9

INEGI. 2009. Cuaderno Estadístico del Estado de Tlaxcala. Edición 2009 INEGI. pp. 4-5

Ireta, M.J y Gilchrist, S. L. 1994. Roña o Tizón de la espiga del Trigo (*Fusarium graminearum* Schwabe). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT. México, D.F. 25p.

Lamothe A.G.; Kohli M.M.; Martino D.L. Fertilización con N y potencial de rendimiento en trigo , 1998 - books.google.com

Leslie-F. Jonh., Summerell-A. Brett. 2006. The Fusarium Laboratory Manual. Blackwell Publishing 369 p.



Leyva, M. G. 1999. Enfermedades fungosas de algunos cultivos agrícolas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 115p.

Limón A. 2009 Wheat grain yield response to N Application Evaluated through canopy reflectance. Cereal Research Communications doi: 10.1556/CRC.37.2009.4.14

Limón O. A.; Rodríguez G. M. 2010. Ocho años de siembra en camas permanentes; dinámica de rendimiento y enfermedades en trigo. Campo Experimental Valle de México Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2010. Folleto Técnico Núm. 40.

Limón O. A; Villaseñor E.; Larques. M. 2007 La siembra de trigo en camas; una innovación tecnológica de bajo costo. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. 20 p. Folleto Técnico Núm. 27.

Limón Ortega A.; Báez Pérez A.; 2013. Siembra en Camas Permanentes una forma de agricultura de conservación para la producción de cereales. INIFAP. Folleto Técnico N° 55.

Limón Ortega, A. 2009 B. Wheat grain yield response to N application evaluated through canopy reflectance. Cereal Res. Comm. 37:607-612

Limón Ortega, A; 2004 Siembra de trigo en camas una opción tecnológica para ambientes de temporal. Chapingo, Estado de México; México, INIFAP, CIRCE, CEVAMEX, Folleto técnico Núm. 20.

Limón Ortega, A; Villaseñor Mir E. and Espitia Rangel E.. 2008. Nitrogen



management and wheat genotype performance in a planting system on narrow raised beds. *Cereal Res Comm.* 36:342-352.

Limón Ortega, A; y Villaseñor Mir E. 2006 Nitrogen fertilizer management and recommendations for wheat production in central México. *Crop management*. Doi: 10.1094/CM-2006-0525-01-RS.

Mathur, S. B and Cunfer, B. M. 1993. Seed borne Diseases and Seed Health Testing of Wheat. Institute of Seed Pathology for Developing Countries. Danish Government. 168p.

Melgar R.; Camozzi E.; Torres M.; Enfermedades en Trigo: Fertilización potásica y clorada: una herramienta eficaz para reducir la incidencia de enfermedades

Mendoza, Z. C. 1993. Diagnóstico de enfermedades fungosas. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico. 92p

Moreno, M.H. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Tercera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 393p.

Nava, S. M. A. 1991. Diagnostico fitosanitario de trigo (*Triticum aestivum*) sembrado bajo labranza de conservación en Valle de Santiago, Gto. Tesis. Chapingo, México. 87 p.

Newbould, P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically and ecologically. *Plant and Soil* 115:297-311.

Novelo, G.M. 2000. La labranza de conservación en México y apoyos de Fira para su adopción. Banco de México-FIRA. Morelia, Michoacan. 9 p.

Parsons B. D. 1997. Trigo, Cebada, Avena. Editorial trillas México D.F 45p.



Pierce, F. J. and J. Lizaso. 1993. Wheat development and growth responses to tillage and row position. P.325. In Agronomy Abstracts. ASA. Madison WI.

Presscot, J. M. Burnettm, P. A. Saari, Ransom, J. W. De Williano, Singn, R. P ; Bekele, G. 1986. Enfermedades y plagas del trigo: Una guía para su identificación en campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, DF. 135p.

Raun, W. R.; Solie, J. B.; Johnson, G.V.; Stone, M.L.; Lukina, E. V. Thomason, W.E., Schepers, J. S.2001. In season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. Agron. J. 93:131-138.

Rivera Ramírez, C. 2002. Comparación de sistemas de siembra de trigo (*Triticum aestivum* L.) en ambientes de temporal. Tesis profesional de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo 56p.

Romero, C. S. 1993. Hongos fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 347p.

Sayre, K.D. 1998. Ensuring the use of sustainable crop management strategies by small farmers in the 21 sy century. Wheat Special Report N° 48. México, D,F; CIMMYT.

smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2011

Turrent F; A.; Moreno-Gálvez, R.; Villaseñor M; y Salazar, A. 1992. Manual Diagnóstico recomendación para el cultivo de trigo en el Estado de México. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de



Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo de Méx.; México 136 p. (Publicación especial N° 5).

Vargas M. 2012 Compendio de Programas en SAS para el curso de diseños experimentales. Chapingo Estado de México. 115p.

Villaseñor M. E.; Espitia R. E.; Limón A.; Huerta, J.; Rivera, C.; Osorio L. 2002 Sistemas de siembra en trigo de temporal para reducir los efectos de sequía. Memorias del XIX Congreso de la SOMEFI. Saltillo Coahuila. UAAAN.

Villaseñor M; H. E. y Espitia R; E. 2000^a. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. Chapingo, Edo de México; México. P 88-110. (Libro Técnico N° 1).

Villaseñor M; H.E. y Espitia R; E. 1994. La producción de trigo y la investigación en México. Foro de consulta permanente. El agua y la energía en la cadena alimentaria. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F; p. 91-104

Villaseñor, M. H.E. y Espitia, R. E. 2000. El trigo de temporal en México Chapingo, Estado de México; México. SAGAR, INIFAP, CIRSE, CEVAMEX. 315 PP. (Libro técnico N° 1).

Warham, E. J; Butler, L. D. Y Sutton, B. C. 1998. Ensayos para la semilla de maíz y trigo: Manual de laboratorio CIMMYT. México, DF. 84p.

Westfall, d.g.j.l. Havlin, G.W.Hergert, and W. R. Raun. 1996. Nitrogen management in dryland cropping systems. J. prod. Agric. 9:192-199.

Wiese, M. V. 1986. Compendio de enfermedades del trigo. Primera edición. Hemisferio sur Uruguay. 112p.



Wiese, M. V. 1987. Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society. 2º edición 112p.

www.aserca.gob.mx

Young, T.R., T.A. Kucharek. 1977. Succession of fungal communities in roots and stalks of hybrid field corn grown in

Zillinsky, F.J. 1984. Guía para la identificación de Enfermedades en Cereales de Grano Pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT,. México, DF. 141p.