

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Detección de Hongos en Semillas de Maíz

Por:

**YASMIN MARTÍNEZ CARDOSO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2016.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Detección de Hongos en Semillas de Maíz

Por:

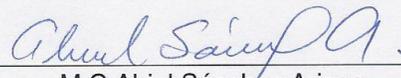
**YASMIN MARTÍNEZ CARDOSO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

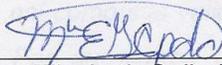
**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría



M.C. Abiel Sánchez Arizpe

Asesor Principal



Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda

Coasesor



M.C. Epifanio Castro Del Ángel

Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.  
Marzo de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

***A Dios.** Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.*

***A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme sus puertas y poner a mi disposición cada una de sus instalaciones para que a lo largo de cuatro años y medio tuviera una buena preparación para obtener las herramientas que me ayudaran a afrontar nuevos horizontes y a la vida misma.*

*¡Gracias mi ALMA TERRA MATER!*

***A todos mis maestros.***

*Que de alguna u otra manera aportaron sus conocimientos para mi formación académica para que yo sea una profesionista de éxito.*

***A mis asesores***

***M.C Abiel Sánchez Arizpe:** Por su invaluable apoyo al haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo, a la **Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda:** Por su valiosa aportación y tiempo en la revisión de este trabajo, así como sus valiosas sugerencias y apoyo, al **M.C Epifanio Castro Del Ángel:** Por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.*

***A mi madre***

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

**A mi padre**

*A quien le debo todo en la vida. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*

**A mi hermano Cesar Martínez Cardoso**

*Chicharin gracias por el apoyo incondicional brindado para poder llegar a la meta hoy puedo decir ¡Lo logramos!!*

**A mis compañeros y amigos.**

*A todos mis compañeros de la generación CXX con quienes conviví durante el transcurso de la carrera que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino. A mis amigos; Azucena Roblero, Jorge Martínez, Guadalupe López, Adrián Bustos, Lucero Aguilar, Dulce Roblero, Ana Aguilar. A todos ellos por su amistad compartida con quienes forme una bonita familia en la Antonio Narro; fue un placer conocerles.*

## **DEDICATORIA**

### ***A mis padres quienes por ellos soy lo que soy***

#### ***Ma. Luisa Cardoso Gonzales y Anatalio Martínez Reyes***

*Autores de mi vida quienes supieron encaminar mis pasos en la dirección correcta. Por ser ustedes el motor, mi fortaleza y mi luz en los momentos de oscuridad. Por sus oraciones y desvelos; hoy puedo asegurar que su optimismo, esfuerzo y sacrificio empiezan a reflejarse en mi vida, una de sus obras maestras. ¡Los amo!*

#### ***A mis Hermanos (as)***

*Cristina Martínez Cardoso, Irene Martínez Cardoso, Adrián Martínez Cardoso, Adolfo Martínez Cardoso, Graciano Martínez Cardoso, Lizbeth Martínez Cardoso, Cesar Martínez Cardoso, Ma. Juana Martínez Cardoso. Gracias por que siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza y amistad que siempre nos hemos tenido; por el apoyo incondicional y los ánimos brindados en los momentos más difíciles de mi carrera para así poder lograr el objetivo. ¡Los amo!*

#### ***A mis sobrinos (as)***

*Arturo, Eduardo, Ariadna, Brandon, Daríana, Pablo, Eliza, Alexander, Iker, Erik, que directamente me impulsaron para llegar hasta este lugar, gracias por ser el alma de toda la familia y por contagiarnos de sus alegrías. ¡Los amo!*

#### ***A mis cuñados (as)***

*Natalia Orta, Sara López, Lizbeth Pérez, Donaciano González, Gilberto Isidro, Domingo Isidro. Gracias por sus consejos y buenos deseos.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	I
<b>DEDICATORIA</b> .....	III
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
Objetivo .....	3
Justificación.....	3
Hipótesis.....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Importancia del maíz.....	4
Origen del maíz.....	5
Importancia de las enfermedades transmitidas por semillas.....	6
Enfermedades del maíz transmitidas por la semilla .....	7
Aspectos generales del género <i>Fusarium</i> .....	9
<i>Fusarium</i> spp. en el cultivo del maíz .....	11
Impacto al rendimiento de maíz por <i>Fusarium</i> sp. ....	12
Importancia de <i>Fusarium oxysporum</i> en semillas de maíz .....	13
Clasificación taxonómica del hongo <i>Fusarium oxysporum</i> .....	14
Descripción morfológica de <i>F. oxysporum</i> .....	14
Diseminación .....	16
Distribución geográfica .....	16
Ciclo de vida .....	16
Efecto de los hongos del genero <i>Fusarium</i> y de la especie <i>Fusarium oxysporum</i> sobre la salud humana y animal .....	17
Efecto de las fumonisinas en animales .....	18
Efecto de las fumonisinas en humanos.....	19
Importancia de las fumonicinas en México .....	20
Manejo de la enfermedad .....	21

<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	22
Establecimiento del experimento .....	22
Prueba de sanidad de la semilla .....	23
Elaboración de Laminillas .....	26
Identificación morfológica .....	27
Incidencia.....	28
Prueba de germinación de la semilla .....	30
Prueba de vigor de la semilla.....	31
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	33
Identificación .....	33
Incidencia.....	34
Prueba de Germinación .....	35
Prueba de Vigor .....	35
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	36
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	37
<b>APÉNDICE</b> .....	42
Análisis estadístico.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Distribución mundial de <i>Fusarium oxysporum</i> .....	16
<b>Figura 2.</b> Laboratorio de Parasitología, Depto. Parasitología. UAAAN.....	22
<b>Figura 3.</b> Total de semillas a evaluar.....	23
<b>Figura 4.</b> Secado de las semillas sobre sanitas.....	23
<b>Figura 5.</b> Colocación de las semillas en cajas Petri.....	24
<b>Figura 6.</b> Incubación de las semillas a 20°C.....	24
<b>Figura 7.</b> Congelamiento de las semillas a -20 °C.....	25
<b>Figura 8.</b> Incubación de las semillas a 25°C.....	25
<b>Figura 9.</b> Esporulación de hongo.....	26
<b>Figura 10.</b> Observación de esporas en el microscopio estereoscópico.....	26
<b>Figura 11.</b> Observación de estructuras morfológicas.....	27
<b>Figura 12.</b> Observación de macro y microconidios al microscopio óptico. ....	28
<b>Figura 13.</b> Total de semillas utilizadas.....	30
<b>Figura 14.</b> Prueba de germinación de la semilla en toallas de papel enrolladas..	31
<b>Figura 15.</b> Total de semillas a evaluar.....	32
<b>Figura 16.</b> Prueba de vigor de la semilla.....	32

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Incidencia del hongo en semillas de maíz.....	29

## **RESUMEN**

Una de las enfermedades más importantes en México y en todos los países donde se cultiva maíz, es la pudrición de la mazorca. Además de reducir el rendimiento del cultivo, esta enfermedad afecta las cualidades físicas, fisiológicas y fitosanitarias de las semillas. Los agentes causales reportados responsables de la pudrición de la mazorca, corresponden al género *Fusarium* (hongos transmitidos por semilla). Las enfermedades de la semilla son uno de los factores que provocan el deterioro de la misma, además de las condiciones climáticas anteriores a la cosecha, la madurez de la semilla, el daño mecánico, el ambiente de almacenamiento (temperatura y humedad), los insectos y los genes. Una forma fácil y accesible de identificar estos patógenos es a través de la prueba de papel secante y congelamiento y el deterioro de la semilla puede medirse de manera cuantitativa evaluando una muestra de la semilla según tres criterios diferentes; viabilidad de la semilla, germinación de la semilla y vigor de la semilla.

El objetivo de esta investigación fue identificar hongos en las semillas de maíz mediante la prueba de papel secante y congelación, para la evaluación se tomaron al azar un total de 405 semillas de maíz de la muestra HS-5G los cuales fueron divididos en 27 repeticiones de 15 semillas cada una. Tomando en cuenta una incidencia del 100% y una severidad de 0-15 y para los resultados se utilizó el programa estadístico ANDEVA.

Correo electrónico; Yasmin Martínez Cardoso, [martinezcardoso2016@hotmail.com](mailto:martinezcardoso2016@hotmail.com)

**Palabras claves:** Maíz, *Fusarium*, Hongos transmitidos por semilla.

## INTRODUCCIÓN

Las semillas son el punto básico de origen para la producción ya que alrededor del 90% de los cultivos alimenticios del mundo son sembrados directamente de esta. Los organismos transmitidos por la semilla son propagados por la semilla o transportados con esta y sobreviven como esporas o estructuras de reposo dentro de la semilla y sobre ella. Los hongos transmitidos por la semilla a menudo producen plantas infectadas, mientras que los que son transportados por la semilla se consideran relativamente poco importantes en la dispersión de enfermedades. Ambos tipos de hongos pueden constituir un mecanismo mediante el cual un agente patógeno puede ser introducido en una zona donde originalmente no exista y, por consiguiente, esos hongos son importantes para las autoridades fitosanitarias y los fitopatólogos.

Las enfermedades fungosas del maíz prácticamente se inician con las infecciones causadas en el endospermo del grano, más que todo hacia el escutelo, por especies de los denominados “hongos de campo”, principalmente correspondientes a los géneros *Gibberella*, *Fusarium*, *Diplodia* y *Helminthosporium*, y con las contaminaciones externas ocasionadas por los nombrados como “hongos mohos de almacén”, particularmente de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, y además por los comúnmente conocidos como saprofitos de los géneros *Mucor* y *Rhizopus*.

En todas las regiones productoras de maíz del mundo, cada año se presentan enfermedades que afectan el rendimiento y la calidad del grano. En zonas húmedas, las pudriciones de mazorca son importantes, particularmente cuando la precipitación pluvial es mayor que la normal desde la época de la floración hasta la cosecha; en algunas regiones se han registrado daños severos causados por

estas enfermedades. Entre las pudriciones de mazorca más relevantes están las inducidas por especies de hongos del género *Fusarium* que además de reducir el rendimiento son causa del deterioro y la mala calidad de los granos, y debido a la capacidad de producir micotoxinas además de estar relacionadas con enfermedades en humanos y en animales que los consumen.

### **Objetivo**

Identificar hongos en la semilla de maíz

### **Justificación**

La presencia de hongos en semilla de maíz es un factor importante para determinar su sanidad.

### **Hipótesis**

Se espera encontrar 2 géneros de hongos presentes en la semilla de maíz.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del maíz

El maíz es el principal cultivo en México, participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil en 2013) y concentra el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional (7.5 millones de hectáreas). Todas las entidades del país presentan algún nivel de producción de maíz, sin embargo, siete entidades concentran el 64.5% del volumen de producción nacional por lo cual cabe destacar que Sinaloa es el principal productor al concentrar el 16.5% del total de producción, le siguen en importancia Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz. El rendimiento nacional alcanza en promedio las 3.2 ton/ha, siendo el rendimiento de temporal de 2.2 ton/ha y el de riego de 7.5 ton/ha. El 8% de la producción nacional corresponde a maíz amarillo, del cual México es deficitario e importa entre 7 y 10 millones de toneladas. Nuestro país ocupa el 2° lugar con el mayor volumen de importaciones del grano internacionalmente, lo cual lo vuelve vulnerable ante cualquier alteración de la oferta mundial (FIRA, 2014).

Para el periodo de 2011-2012 la producción de maíz a nivel mundial se estimó en 875.09 millones de toneladas. Los principales países productores de maíz son, en orden de importancia: Estados Unidos de Norteamérica (273.83 millones de t), China (208.13 millones de t), Brasil (71.29 millones de t), Argentina (25.70 millones de t), Indonesia (19.37 millones de t), Francia (15.61 millones de t) y Sudáfrica (12.50 millones de t), de los cuales se obtienen el 78.90% de la producción mundial (FAOSTAT, 2012).

El maíz es el cultivo más importante en México por varias razones: se producen alrededor de 18.2 millones de toneladas en una superficie de 8.5 millones de hectáreas, sin embargo es necesario incrementar la producción de maíz en México para evitar las continuas y voluminosas importaciones, y la mejor opción es incrementar la productividad mediante el uso eficiente de los recursos disponibles. Entre ellos, el material genético mejorado ofrece una de las mejores opciones para lograr este propósito (Beltrán *et al.*, 2003). Este grano se produce en dos ciclos productivos: primavera-verano y otoño-invierno, bajo las diversas condiciones agroclimáticas, de humedad, temporal y riego (SIAP, 2012).

Desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Este cereal se utiliza en más formas que cualquier otro, como alimento humano, para ganado, y para propósitos industriales. Cada parte de la planta tiene valor económico, el grano, las hojas, el tallo, las espiguillas y el raquis. De la industrialización del maíz se obtienen importantes subproductos utilizados como materias primas en la elaboración de telas, papel, cosméticos, materiales de lavandería, sazónadores, edulcorantes, saborizantes, aceite, jarabe, almidón, refrescos, pan, botanas, galletas, bebidas y bioetanol. La zeína, una proteína con propiedades termoplásticas, se usa para producir cintas adhesivas y esmaltes. La producción de etanol a partir de maíz ha sido un proceso de rápido desarrollo, debido a la búsqueda de fuentes de energía (Sánchez-Aguilar, 2013).

## **Origen del maíz**

El maíz, es uno de los cereales alimenticios más antiguos que se conocen (FAO (2010)). Se sabe que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores del altiplano de México hace aproximadamente 7000 años. Algunos científicos sostienen la teoría de que México es la cuna del maíz (Iltis *et al.*, 1993), fundamentado en el hallazgo de un polen fósil de 80 000 años de antigüedad descubierto en una mazorca encontrada en los cimientos del palacio de Bellas Artes, en el centro de la ciudad de México, así como en las mazorcas y los coprolitos descubiertos en las cuevas de Tehuacán, Puebla, México. Gracias a su

sabor, gran adaptabilidad y generoso rendimiento, el maíz comenzó su conquista y fue convirtiéndose paulatinamente en parte importante de la agricultura mundial y de las grandes transformaciones económicas y sociales (López, 2003).

El maíz, es considerado el cultivo más domesticado y evolucionado del reino vegetal, originario de Mesoamérica, se siembra en más de 100 países en el mundo, Estados Unidos participa a nivel internacional con el 66 % al mercado, seguido por Argentina con 16 %, China con 11 %, Brasil con 3 %. Los cuatro aportan el 92 % del grano. Para México se han reportado plagas y enfermedades de importancia, que atacan al cultivo en las diferentes etapas de su desarrollo y han sido resaltadas por Frihilich (1970).

### **Importancia de las enfermedades transmitidas por semillas**

Agarwal y Sinclair (1987) mencionaron que las semillas son el punto básico de origen para la producción ya que alrededor del 90% de los cultivos alimenticios del mundo son sembrados directamente de esta.

Las enfermedades de la semilla son uno de los factores que provocan el deterioro de la misma, además de las condiciones climáticas anteriores a la cosecha, la madurez de la semilla, el daño mecánico, el ambiente de almacenamiento (temperatura y humedad), los insectos y los genes. El deterioro de la semilla puede medirse de manera cuantitativa evaluando una muestra de la semilla según tres criterios diferentes; viabilidad de la semilla, germinación de la semilla y vigor de la semilla (CIMMYT, 2003).

Los organismos transmitidos por la semilla son propagados por la semilla o transportados con esta y sobreviven como esporas o estructuras de reposo dentro de la semilla y sobre ella. Los hongos transmitidos por la semilla a menudo producen plantas infectadas, mientras que los que son transportados por la semilla se consideran relativamente poco importantes en la dispersión de enfermedades. Ambos tipos de hongos pueden constituir un mecanismo mediante el cual un agente patógeno puede ser introducido en una zona donde originalmente no

exista y, por consiguiente, esos hongos son importantes para las autoridades fitosanitarias y los fitopatólogos (CIMMYT, 2003).

Fenwick (1988), menciona que la cantidad de inóculo puede ser bastante pequeño, pero muchas enfermedades son capaces de multiplicarse rápidamente al momento de sembrar las semillas y esta poca cantidad puede causar graves daños en el cultivo.

Sinclair (1979), cita que comercialmente, los microorganismos de semillas reducen la calidad del grano en almacén causando reducción del tamaño, distorsiones, semillas encogidas decoloraciones y manchas, estos signos y síntomas son patogénicos bastante comunes en las semillas las cuales son definidas fitopatológicas citado por Copelan y McDonald (1985), como un microorganismo con el potencial para llevar una amplia variedad de hongos, bacterias, virus y nematodos los cuales pueden causar enfermedades en las semillas o plantas. En cuanto a la sanidad nos indica que hay gran diversidad de patógenos o microorganismos asociados a la semilla.

Navarrete (1986), señala que generalmente las semillas infectadas van a producir cultivos de menor calidad así como bajo rendimiento, pues al desarrollarse la nueva plántula se desarrolla también el patógeno contenido en la semilla afectando el desarrollo normal de la planta. Además el hecho de sembrar semillas infectadas repercute a nivel epidemiológico, pues esta se comporta como foco de infección a partir del cual se diseminan los patógenos hacia plantas vecinas y se incrementa la incidencia de la enfermedad.

### **Enfermedades del maíz transmitidas por la semilla**

Las principales enfermedades que atacan al maíz en México son de origen fungoso, se encuentran diseminadas en todo el país, y su aparición están sujetas a las condiciones ambientales que favorezcan la infección y multiplicación del patógeno, así como la fuente de inóculo y la susceptibilidad de los genotipos (Varón y Sarria, 2007).

Entender el efecto del ambiente en el desarrollo una enfermedad es bastante complejo puesto que es el resultado de una conjugación del ambiente favorable y el patógeno virulento siendo la temperatura el factor determinante de la incidencia regional de las enfermedades (Navarrete, 1986).

Al maíz lo afectan numerosas enfermedades, dentro de ellas las fungosas que provocan severos daños ya que anualmente en las zonas maiceras se presentan ligeros decrementos hasta pérdidas totales de la producción por diversas enfermedades. En el maíz, se han reportado aproximadamente 125 enfermedades, para su reconocimiento y manejo se clasifican de acuerdo a la parte de la planta que infectan, como: follaje, espiga, tallo y mazorca (Rodríguez-Montesoro y De León, 2008).

Las enfermedades fungosas del maíz prácticamente se inician con las infecciones causadas en el endospermo del grano, más que todo hacia el escutelo, por especies de los denominados “hongos de campo”, principalmente correspondientes a los géneros *Gibberella*, *Fusarium*, *Diplodia* y *Helminthosporium*, y con las contaminaciones externas ocasionadas por los nombrados como “hongos mohos de almacén”, particularmente de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, y además por los comúnmente conocidos como saprofitos de los géneros *Mucor* y *Rhizopus*.

En cuanto a los “hongos de campo” los cuales infectan los granos de la mazorca desde el cultivo y sobreviven en estado latente en el endospermo de la semilla, principalmente en el escutelo, reanudan de inmediato sus funciones vitales en presencia de factores propiciatorios de temperatura y humedad, ocasionando la pronta muerte del embrión, con lo cual el embrión pierde su viabilidad como semilla.

La muerte de la semilla del maíz también se le puede atribuir a pudriciones del escutelo reblandecido y manchado por acción de saprofitos fungosos de los géneros *Mucor* y *Rhizopus* y por las especies contaminantes de *Aspergillus* y *Penicillium*.

La semilla infectada por “hongos de campo” suele reconocerse por las decoloraciones del epispermo o del escutelo, o de ambos a la vez, pero en ausencia de algún síntoma, a pesar de la ocurrencia de inoculo potencial fungoso en estado latente en el endospermo, las alternativas para la semilla sembrada serán las siguientes: la no germinación en absoluto; si germina, puede sobrevenir la muerte preemergente de la plántula, o sea antes de brotar del suelo, o también a los pocos días de haber sobresalido a la superficie, es decir en postemergencia. De sobrevivir en esta última circunstancia, originara una planta débil cuya caña más corta y delgada producirá una pequeña mazorca raquítica (IICA-BID-PROCIANDINO, 1989).

MacGee (1988) enlisto las principales enfermedades del maíz mencionando las que son portadas y transmitidas por semillas así como su agente causal y entre las que se encuentran las pudriciones de tallo, raíz, mazorca, ocasionado por el género de *Fusarium*. Aunque estas pudriciones son causadas por las especies de *Fusarium verticillioides* y *F. graminearum*, las especies de *Fusarium verticillioides* es la más reportada como causante de daños en las zonas maiceras de México, especialmente cuando las plantas se acercan a la madurez y esta se encuentra asociada con periodos de sequía.

El maíz en México, es afectado principalmente por hongos que causan los llamados carbones, *Sporisorium reilianum*, *Ustilago maydis* (DC), o bien las que causan los tizones y manchas foliares, como *Helminthosporium* spp. (*Dreschlera*), *Fusarium* spp., *Curvularia* spp., *Alternaria* spp., complejo de la mancha de asfalto y el cornezuelo del maíz, *Claviceps gigantea* (Programa de Maíz de CIMMYT, 2004).

### **Aspectos generales del género *Fusarium***

Los hongos del género *Fusarium* tienen una amplia distribución en el mundo y una gran importancia desde el punto de vista agrícola y económico. Su ocurrencia es cosmopolita y las diversas especies son comunes en el suelo, en el aire y en el agua. Muchas especies del género *Fusarium* tienen una gran capacidad de

ocasionar enfermedades en distintos tipos de plantas cultivadas. Algunas especies pueden causar infecciones oportunistas en el hombre y en los animales y algunas pocas producen toxinas que pueden afectar al hombre y a los animales (Booth, 1983).

Algunas especies del género *Fusarium* son benéficas en la agricultura y se han utilizado en el control biológico de ciertas enfermedades causadas por especies patogénicas, principalmente de aquellas pertenecientes a la especie *Fusarium oxysporum*. Algunas especies se han utilizado como micoherbicidas, por su potencial para destruir algunas malezas. Las enfermedades de las plantas causadas por especies del género *Fusarium* consisten en marchitamientos vasculares, manchas de las hojas, pudrición de raíces y de tallos, pudrición de frutos, granos y semillas (Nelson, 1991).

Por su importancia para la alimentación humana y animal, el estudio de la ocurrencia de hongos toxigénicos del género *Fusarium* se ha centrado en los granos del maíz. Hojas y tallos del cultivo de maíz han recibido menos atención, a pesar de que algunos estudios indican que están más infectadas por *Fusarium* spp. que los granos (Di Menna *et al.*, 1997).

En el género *Fusarium* se han reconocido entre nueve y 78 especies, dependiendo del sistema taxonómico utilizado, el cual se basa principalmente en las características culturales de las colonias y de las esporas del hongo. La clasificación taxonómica del género es bastante controvertida según diversos taxónomos. Snyder y Hansen y Messian y Cassini reconocen nueve especies, Gordon considera 26 especies, Booth 44 especies, Wollenweber y Reinking 65 especies y Gerlach reconoce 78 especies (Nelson; 1991). Esto muestra la complejidad taxonómica del género *Fusarium*; por tal razón, la identificación de las especies debe ser hecha por expertos para evitar errores.

## ***Fusarium* spp. en el cultivo del maíz**

La pudrición de mazorca y del tallo de maíz es causada por diversos géneros de hongos, las especies más frecuentemente reportadas como causantes de estas enfermedades en México corresponden al género *Fusarium*, al igual que en otras regiones del mundo. Tanto *F. subglutinans* y *F. verticillioides* (Teleomorfo: *Gibberella fujikuroi*), se reportan en ambas enfermedades, mientras que *F. proliferatum*, *F. poae*, *F. solani*, *F. chlamydosporum*, y *F. pseudonygamai* han sido identificadas sólo en mazorcas con pudrición, *F. oxysporum* y *F. graminearum* en asociación a la pudrición del tallo. De las especies anteriores, *Fusarium verticillioides* puede considerarse la especie más frecuente y distribuida afectando maíz en el mundo la cual también puede ocurrir, junto con otras especies que afectan al maíz, dañando cereales de grano pequeño como trigo, cebada, sorgo y triticale (Rivas-Valencia *et al.*, 2001).

Las dos principales vías de ingreso de ingreso de *Fusarium* spp. Al grano de maíz son los estigmas o las heridas causadas por pájaros o insectos en los granos en desarrollo (Lew *et al.*, 1990).

De las pudriciones de mazorca y de grano, las mejor conocidas son las llamadas pudriciones por *Fusarium* y la pudrición rosada de la mazorca inducida por *Gibberella*. Estas especies, además de inducir pudriciones de mazorca, pueden producir diversas toxinas potencialmente riesgosas (Koehler, 1959).

*Fusarium verticillioides* es uno de los patógenos más cosmopolitas ya que esta extensamente distribuido en América, Europa, Asia, y África y su presencia ha sido reportada en un amplio rango de hospederos y en todos ellos causan enfermedades, es el parasito de mayor importancia en los cultivos como arroz, caña de azúcar, sorgo y maíz en los que ocasiona ahogamiento pudriciones y otras anormalidades (Nelson, 1990).

Niederhauser (1994) registró a *F. moniliforme* como la causa más importante y más frecuente de las pudriciones de mazorca. Zenteno (1963) aisló mohos de

mazorcas dañadas y encontraron que *F. moniliforme* fue la de mayor incidencia. Además, existen registros de que esta especie ha sido aislada de mazorcas de maíz de los estados de Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Puebla y de Nuevo León, así como *F. graminearum*, que fue aislada de mazorcas de maíz procedentes del estado de México, Michoacán y Yucatán.

Gómez (2008) señaló que de varios géneros que conformaron la micobiota en maíz, el encontrado en mayor porcentaje, fue el género *Fusarium*; siendo los granos de almacén los que presentaron mayor porcentaje de infección seguido por el maíz experimental y por último el comercial. El mismo autor encontró que en todos los tipos de maíz analizados, *F. verticillioides* fue el que se detectó en mayor cantidad con respecto a las demás especies de *Fusarium* detectadas en todas las muestras.

### **Impacto al rendimiento de maíz por *Fusarium* sp.**

Se estima que las pérdidas mundiales por enfermedades en los distintos cereales son de aproximadamente 9.4% de la producción total. Las pérdidas anuales en la faja maicera de los Estados Unidos de América oscilan entre 7 y 17%. Las pudriciones de la mazorca y tallo causadas por especies de *Fusarium* se encuentran entre las especies que causan enfermedades más importantes a nivel mundial, se presentan principalmente en países de África, América y Asia. En México se han reportado en la región de Valles altos, El Bajío y en los estrados de Tamaulipas, Jalisco, Veracruz, Chiapas y Sonora (Rivas-Valencia *et al.*, 2011).

Las pudriciones de la mazorca causadas por hongos del género *Fusarium* causan severas pérdidas de cosecha, afectan la comercialización del grano (5% de daño, máximo aceptable) y constituye un problema de salud pública por las micotoxinas que producen los hongos cuando la incidencia de los patógenos y el daño es alto (Bentazos-Mendoza *et al.*, 2009).

La pudrición de mazorca ha causado reducción del rendimiento hasta 50%, mientras que la pudrición del tallo puede ocurrir con una incidencia (plantas

dañadas) hasta 75% y causar pérdidas de 57%. Aunque la pudrición de mazorca y del tallo de maíz es causada por diversos géneros de hongos, las especies más frecuentemente reportadas como causantes de estas enfermedades en México corresponden al género *Fusarium*, al igual que en otras regiones del mundo. (Rivas-Valencia *et al.*, 2011)

Además de provocar las pudriciones de la mazorca y la producción de micotoxinas, que son las responsables de graves enfermedades en animales y en seres humanos, las especies de hongos del género *Fusarium* son frecuentemente involucradas en la descomposición de las semillas, raíces, pudriciones del tallos y la muerte de plántulas (*Damping-off*): principalmente cuando la siembra se realiza en condiciones de alta humedad y bajas temperaturas (Matos *et al.*, 2013).

### **Importancia de *Fusarium oxysporum* en semillas de maíz**

*Fusarium oxysporum* es un hongo que se presenta principalmente como saprófito en el suelo, o también como patógeno especializado, denominado *forma especial* (f.sp.), según la planta hospedante u hospedantes relacionados que afecte (Garcés *et al.*, 2001).

CIMMYT (2003) reporto que *Fusarium oxysporum* no causa ninguna enfermedad en maíz. Bosland (1988) enfatizo que *Fusarium oxysporum* causa pérdidas en plantas pertenecientes a todas las familias importantes de las angiospermas (a excepción de las Gramíneas) y gimnospermas en regiones templadas o tropicales. Se caracteriza por producir colonias de rápido crecimiento, con una tasa diaria cercana a un centímetro en medio papa- dextrosa agar (PDA) a 25°C.

El taxón forma especial (f. sp) corresponde a cepas cuyas características morfológi-cas y de cultivo son indistinguibles, pero muestran diferentes propiedades fisiológicas en su habilidad para parasitar un hospedante específico (Booth 1975). Este taxón se ha empleado para categorizar aislamientos que causan enfermedades en una especie, género o familia, en particular por lo cual, aislamientos con el mismo rango de hospedantes, se asignan a una forma

especial. Se han reportado más de 70 formas especiales del patógeno (Kistler, 1997).

### **Clasificación taxonómica del hongo *Fusarium oxysporum***

De acuerdo a Alexopoulos y Mims (1979) el género *Fusarium* se ubica dentro de la siguiente taxa.

**Reino:** Mycetae

**División:** Mastigomycota

**Clase:** Deuteromycetes

**Orden:** Moniliales

**Familia:** Tuberculariaceae

**Género:** *Fusarium*

**Especie:** *F. oxysporum*.

### **Descripción morfológica de *F. oxysporum***

La colonia en semilla crece con moderada rapidez y produce una cantidad variable de micelio aéreo, inicialmente blanco, que cambia a color durazno, salmón, gris vino a púrpura, violeta. El micelio se vuelve muy enmarañado y a veces arrugado en los cultivos más viejos. Las masas de esporas son de color blanco cremoso. Los microconidios producidos en conidióforos cortos y ramificados son generalmente abundantes, hialinos, unicelulares, variables, de forma ovalada o

arriñonada y miden 5-12 x 2-4  $\mu\text{m}$ . Los macroconidios, que se originan en conidióforos, que se originan en conidióforos más ramificados, son poco frecuentes en algunas cepas. Los macroconidios son hialinos, tienen paredes delgadas, son apenas curvos puntiagudos en ambos extremos, con 3-7 septas, un ápice en forma de gancho y una célula basal en forma de pie; los de 3 septos miden 27-66 x 3-5  $\mu\text{m}$ . Las clamidosporas son esféricas, con paredes lisas o rugosas; se forman individualmente o en pares a intervalos a lo largo de las hifas, o en ramificaciones laterales cortas. No se ha confirmado el estado de peritecio. La presencia de clamidosporas y los microconidios producidos en conidióforos cortos y ramificados son las características más distintivas de *F. oxysporum*. Los macroconidios de 3 septas son muy comunes. Esta especie puede ser ocasionalmente confundida con *F. moniliforme* si no son visibles de inmediato los macroconidios y las clamidosporas. Sin embargo la presencia de microconidios variables ayudara a distinguirla de *F. moniliforme*. *Fusarium oxysporum* es una de las especies de *Fusarium* más variables (CIMMYT, 2003).

Garcés *et al.* (2001) Citaron que el hongo produce tres clases de esporas:

Microconidias: Esporas generalmente unicelulares, sin septas, hialinas, elipsoidales a cilíndricas, rectas o curvadas; se forman sobre fiálides laterales, cortas, simples o sobre conidióforos poco ramificados. Las microconidias tienen 5-12  $\mu\text{m}$  de largo por 2.5- 3.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

Macroconidias: Esporas de paredes delgadas, fusiformes, largas, moderadamente curvadas en forma de hoz, con varias células y de 3 a 5 septas transversales, con la célula basal elongada y la célula apical atenuada; las macroconidias tiene un tamaño de 27 a 46  $\mu\text{m}$  de largo por 3.0 a 4.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

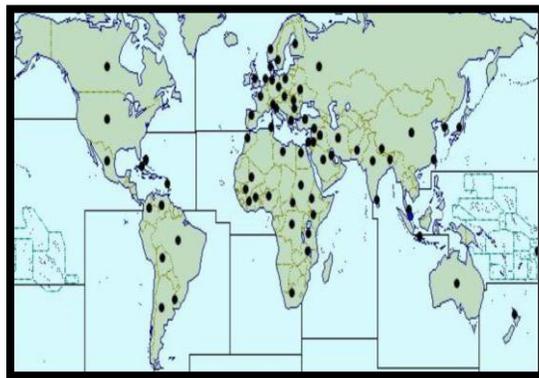
Clamidosporas: Esporas formadas a partir de la condensación del contenido de las hifas y de las conidias, de paredes gruesas. Se forman simples o en pares, terminales o intercalares: poseen un tamaño de 5 a 15  $\mu\text{m}$  de diámetro. Gracias a ellas el hongo sobrevive en condiciones ambientales desfavorables y en el suelo como saprófito de vida libre en ausencia de plantas hospedantes. Hasta el momento no se conoce la fase perfecta del hongo.

## Diseminación

*Fusarium oxysporum* puede ser dispersado por diferentes medios como el viento, suelo, semillas o material vegetativo infectado (DGSV-CNRF. 2011).

## Distribución geográfica

*Fusarium oxysporum* es la especie más dispersada de todas las especies *Fusarium* (DGSV-CNRF. 2011). Esta enfermedad se encuentra distribuida en todo el mundo (CIMMYT, 2003).



**Figura 1.** Distribución mundial de *Fusarium oxysporum*

Fuente: DGSV-CNRF. 2011.

## Ciclo de vida

Las enfermedades debidas a *Fusarium* son enfermedades típicas del suelo, y la principal fuente de inóculo son los restos vegetales infectados; las clamidosporas pueden persistir de forma inactiva durante varios años y germinar al disponer de nutrientes, por ejemplo en la proximidad de partes jóvenes de raíces. La

clamidospora germinada da lugar a inóculo al formar hifas, conidias y nuevas clamidosporas, en este aspecto las cepas del patógeno se comportan igual que otras especies de *Fusarium*, entre ellas las cepas no patogénicas de *F. oxysporum*. En la rizosfera hay una competencia intensa con otros microorganismos y en particular con otros *Fusarium*, aunque muchas cepas de *F. oxysporum* son capaces de penetrar en los tejidos corticales de la raíz las cepas específicas de huésped son las únicas capaces de penetrar hasta el tejido vascular y causar marchitez: la penetración tiene lugar principalmente en la zona de elongación de la raíz y puede facilitarse por heridas o ataques de nematodos (especialmente por especies de *Meloidogyne*), desde el punto de penetración el hongo se extiende hacia arriba por los vasos xilemáticos mediante crecimiento micelial y formación de microconidias que se transportan en la corriente transpiratoria. En estadios posteriores puede extenderse al tejido adyacente causando necrosis visibles exteriormente (Smith *et al.*, 1988).

### **Efecto de los hongos del genero *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum* sobre la salud humana y animal**

Algunos géneros de hongos patógenos de plantas tienen la capacidad de producir toxinas, las cuales pueden afectar de formas diversas al hombre y a los animales que ingieren alimentos contaminados con esos hongos. Entre los géneros productores de toxinas están *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, entre otros. (Schumann, 1991).

Los hongos del género *Fusarium* producen micotoxinas como la Zearalenona producida por *F. oxysporum*. *F. avenacearum*, *F. graminearum*, fumonisinas producidas por *F. verticillioides*, moniliforminas por *F. subglutinans* y *F. avenacearum* y deoxinivalenol por *F. verticillioides* y *F. graminearum* (Marasas, 2001).

Sólo unas pocas especies del género *Fusarium* tienen la capacidad de atacar algunos cereales y de producir micotoxinas (Schumann, 1991).

*Fusarium graminearum*, *F. moniliforme* y *F. tricinctum*, patógenos de maíz y de algunos cereales menores, producen la toxina zearalenona, la cual causa desequilibrios hormonales, infertilidad, disminución del crecimiento y, en casos extremos, la muerte de los animales que consumen granos contaminados. *Fusarium graminearum* sobre granos de cereales, especialmente maíz, también tiene la capacidad de producir la toxina deoxinivalenol o vomitoxina, la cual causa rechazo en el consumo de alimentos contaminados y disminución en el peso de los animales que lo consumen (Rebell, 1981).

*Fusarium tricinctum*, *F. equiseti*, *F. lateritium*, *F. poae*, y *F. sporotrichoides* y algunas razas de *Fusarium graminearum* en granos de cereales pueden producir varias toxinas llamadas tricocentenos, las cuales causan inflamaciones y hemorragias del tracto intestinal, infertilidad y esterilidad en animales que consumen granos infestados (Schumann, 1991).

*Fusarium moniliforme* y *F. proliferatum*, cuando se desarrollan sobre granos de maíz, pueden producir la toxina fumonicina, la cual puede causar leucoencefalomacia en caballos (Vesonder y Hesseltine, 1981).

### **Efecto de las fumonisinas en animales**

En animales, dependiendo de la especie, la exposición a fumonisina se asocia con diversos daños por ejemplo en caballos, la exposición a fumonisinas produce leucoencefalomalacia, una enfermedad caracterizada por necrosis y licuefacción de la materia blanca del cerebro. Otros daños observados principalmente en roedores son la toxicidad hepática y renal, ambos con marcadas diferencias de acuerdo al sexo. En ratas hembras, el daño hepático es mucho más evidente que en los machos y se caracteriza por necrosis del hepatocito y disminución del peso del hígado. En contraste, la atrofia tubular y la disminución del peso renal que ocurre como consecuencia de la exposición a FB1 se observa principalmente en ratas macho. En cerdos alimentados con maíz contaminado con FB1, la

manifestación relevante es un cuadro de edema pulmonar atribuido a la acción tóxica de la fumonisina sobre la célula pulmonar, pero también a una alteración en los canales de calcio de las células del miocardio y a una disminución en la eficiencia del ventrículo izquierdo. Todo ello como consecuencia de la disfunción en el metabolismo de los esfingolípidos (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010).

### **Efecto de las fumonisinas en humanos**

La información acerca del efecto de la fumonisina sobre la salud humana es limitada y no concluyente. La inmunosupresión, carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis son algunos de los efectos adversos que producen las micotoxinas y entre ellas las más frecuentes que se han encontrado en cantidades significativas en los alimentos (maíz, maní, semillas de algodón y nueces) son las aflatoxinas, deoxinivalenol (DON), zearalenona y fumonisinas (Glenn, 2010).

El consumo de pequeñas cantidades de micotoxinas durante períodos prolongados produce toxicidad crónica en las personas. En Sudáfrica y China, se ha constatado cáncer de esófago e hígado, respectivamente, por la relación entre el consumo de maíz contaminado con fumonisinas y la aparición de tumores en dichos órganos. Asimismo, se ha visto relacionada con deficiencias en el desarrollo del tubo neural. De cualquier forma, no se conocen bien las consecuencias en el organismo de los efectos sinérgicos ante la ingesta de varias micotoxinas a través de la dieta. De forma aguda, la ingesta de fumonisinas provoca vómitos, diarrea, dolor abdominal y malestar general. La absorción de las fumonisinas es muy baja (aproximadamente 5% en sangre) y son rápidamente distribuidas y eliminadas por orina y heces, tan sólo una pequeña concentración se acumula en los tejidos como el hígado y los riñones, principales órganos diana (ELIKA, 2013).

En áreas de Nigeria y Benin existen altos riesgos de ingesta de granos de maíz contaminados con aflatoxinas en poblaciones de pocos recursos (Hell *et al.*, 2000). De la misma manera, por la ingesta de maíz contaminado con fumonisinas en algunas zonas del sur de Brasil se efectuó un estudio epidemiológico que se

correlaciono con una alta incidencia de cáncer esofágico en la población rural, lesiones cardíacas y otros tipos de cáncer, si como anomalías en el tubo neuronal, riñones y pulmones (Merril *et al.*, 2001).

### **Importancia de las fumonicinas en México**

Torres-Sánchez y López-Carrillo, (2010) reportaron que la contaminación por fumonisina del maíz o sus derivados para consumo humano y consumo animal está documentada. El hongo principalmente involucrado en la producción de fumonisina en México es el *F. moniliforme* (~75%); no obstante existen diferencias geográficas en el tipo de cepas prevaletentes en diferentes regiones del país. En el Noroeste de México las cepas de hongos aisladas son en su mayoría grandes productores de FB1, mientras que las aisladas en la zona centro, principalmente en el Estado de México, son productoras de bajas cantidades de FB1. En relación con los efectos de la exposición a fumonisina, en México sólo existe un informe acerca de un brote de leucoencefalomalacia equina ocurrido en Oaxaca, y en el que las concentraciones de FB1 presentes en muestras de maíz usado como parte del alimento de los burros estaban entre 0.67 y 13.3 ppm. Estas concentraciones de FB1 reportadas superan las 5 ppm establecidas por la FDA para la alimentación en animales. En México, los daños a la salud estudiados son defectos del tubo neural, aborto espontáneo, alteración en el desarrollo mental de los hijos de madres con bajo consumo dietético de folato (< 400 mg/d) durante el primer trimestre del embarazo, así como un incremento en el riesgo de cáncer gástrico (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010).

La información en México respecto a la incidencia y los niveles de contaminación por micotoxinas en los alimentos está limitada por muchos factores, entre ellos los recursos disponibles para realizar investigaciones, las facilidades de los laboratorios para llevar a cabo los análisis, lo adecuado de los procedimientos de muestreo y la sensibilidad de los métodos de cuantificación utilizados. De la extensa variedad de micotoxinas, alrededor de una veintena han sido

particularmente investigadas, y seis se consideran importantes desde el punto de vista alimentario (Méndez y Moreno, 2005).

## **Manejo de la enfermedad**

Entre las prácticas agronómicas recomendadas para reducir los daños causados por las pudriciones de la mazorca, se encuentra la incorporación del rastrojo al suelo, rotación de cultivos, una fertilización balanceada de nitrógeno y potasio, así como una baja densidad de plantas (Dickson, 1963; Bentazos-Mendoza, 2001).

El control de los agentes causales de la pudrición de la mazorca se efectúa mediante prácticas agronómicas, cambio de fechas de siembra, control de insectos plaga, uso de variedades resistentes y tratamiento químico; cualquiera de ellas, para que sea eficaz, debe alterar o interrumpir el ciclo biológico del patógeno (Bentazos-Mendoza *et al*, 2009).

El uso de variedades resistentes a las pudriciones de la mazorca es el mejor método de control para reducir la pérdida de la cosecha y el riesgo de problemas de salud pública; además es un componente fácil de transferir (Dickson, 1963; Bentazos-Mendoza *et al.*, 2009).

La acción genética de la resistencia a las pudriciones de la mazorca causada por *F.moniliforme* y *F. gramineum*, esta gobernante predominantemente por genes de efecto aditivo por lo tanto la mejor opción para reducir en forma significativa el daño causado por *Fusarium* es el uso de variedades resistentes. (Chungu *et al.*, 1996; Reid, 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Establecimiento del experimento

El presente experimento se realizó en el laboratorio de Fitopatología del Departamento de Parasitología ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Las semillas del maíz híbrido HS-5G se obtuvieron a través del instituto mexicano del maíz de esta misma Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



**Figura 2.** Laboratorio de Parasitología, Depto. Parasitología. UAAAN.

## Prueba de sanidad de la semilla

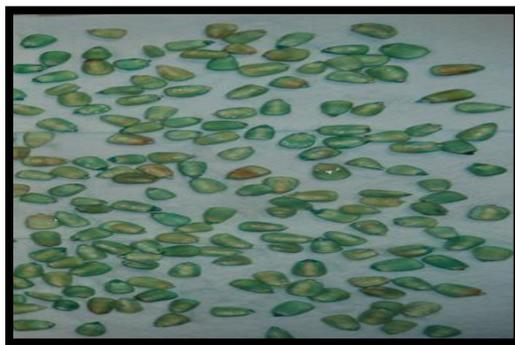
Se realizó la prueba con papel secante y congelamiento según el manual de laboratorio ensayos para la semilla de maíz y trigo CIMMYT (2003).

Se tomaron 405 semillas de maíz del material: HS-5G con 27 repeticiones de 15 semillas.



**Figura 3.** Total de semillas a evaluar

Se lavaron las semillas con agua destilada esto con el objetivo de limpiarles el producto químico con el que fueron tratadas luego se dejaron secar sobre sanitas.



**Figura 4.** Secado de las semillas sobre sanitas

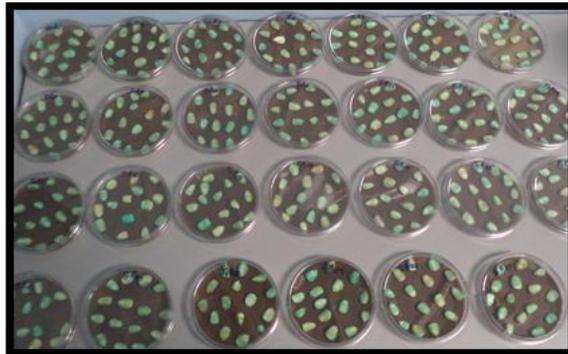
La prueba consistió en colocar un total de 15 semillas separadas por espacios uniformes sobre 2 capas de papel estraza húmeda en una caja Petri,

posteriormente cada caja se selló con parafilm y se le anotaron sus datos correspondientes para su respectiva identificación.



**Figura 5.** Colocación de las semillas en cajas Petri

Las cajas se incubaron a una temperatura ambiente de 20 °C durante 2 días alternando 12 h con luz blanca y 12 h de oscuridad cada día.



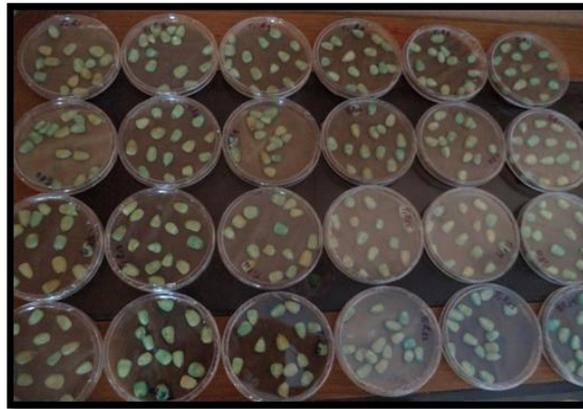
**Figura 6.** Incubación de las semillas a 20°C

Una vez transcurridos los 2 días de incubación las cajas fueron colocadas en un congelador a una temperatura de -20°C durante un día.



**Figura 7.** Congelamiento de las semillas a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Transcurrido este tiempo las cajas se sacaron del congelador y nuevamente se dejaron incubar a temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 11 días alternando 12 h con luz blanca y 12 h de oscuridad cada día.



**Figura 8.** Incubación de las semillas a  $25^{\circ}\text{C}$

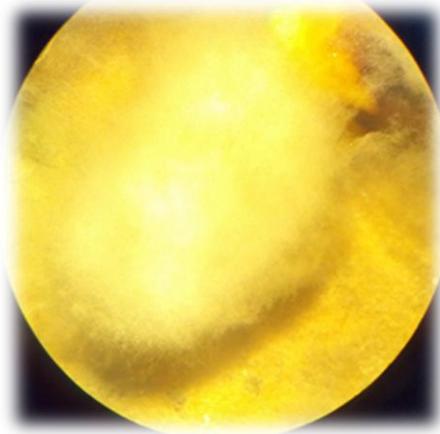
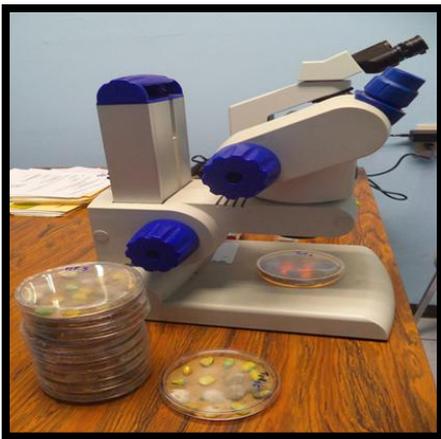
Transcurrido el periodo de incubación se observó crecimiento de micelio blanco que conforme a su desarrollo cambio a un color grisáceo, se revisaron cada una de las cajas y se tomó nota del número de semillas infectadas así como el color del micelio que presentaron las semillas una vez hecho esto las cajas se agruparon por color para la identificación de las estructuras morfológicas de las colonias.



**Figura 9.** Esporulaci3n de hongo

### **Elaboraci3n de Laminillas**

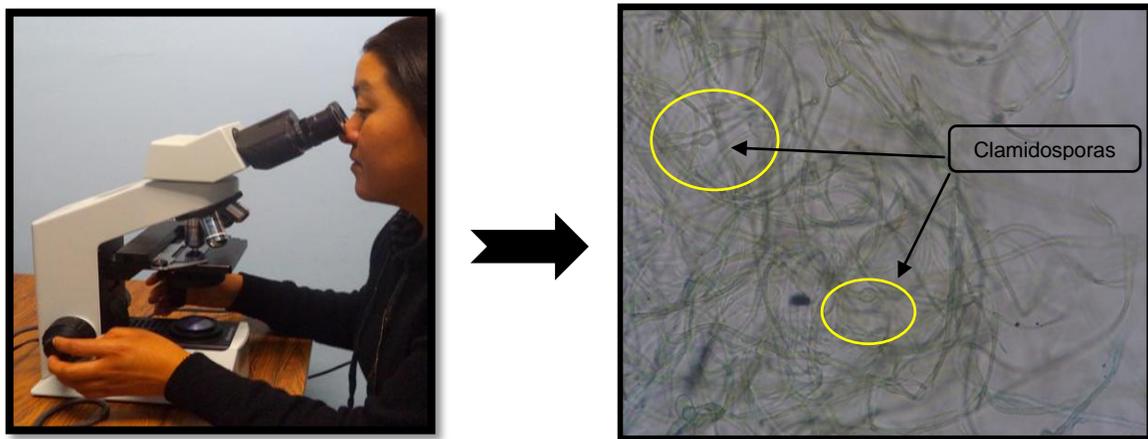
Con ayuda de un microscopio estereosc3pico se observ3 el micelio presente en las semillas donde se detectaron hifas, una vez enfocada la muestra utilizando una aguja de disecci3n se hizo un raspado del micelio a3reo de la muestra el cual fue colocado en un porta objetos junto con lactofenol azul sell3ndolo con un cubreobjetos despu3s se observ3 al microscopio compuesto.



**Figura 10.** Observaci3n de esporas en el microscopio estereosc3pico

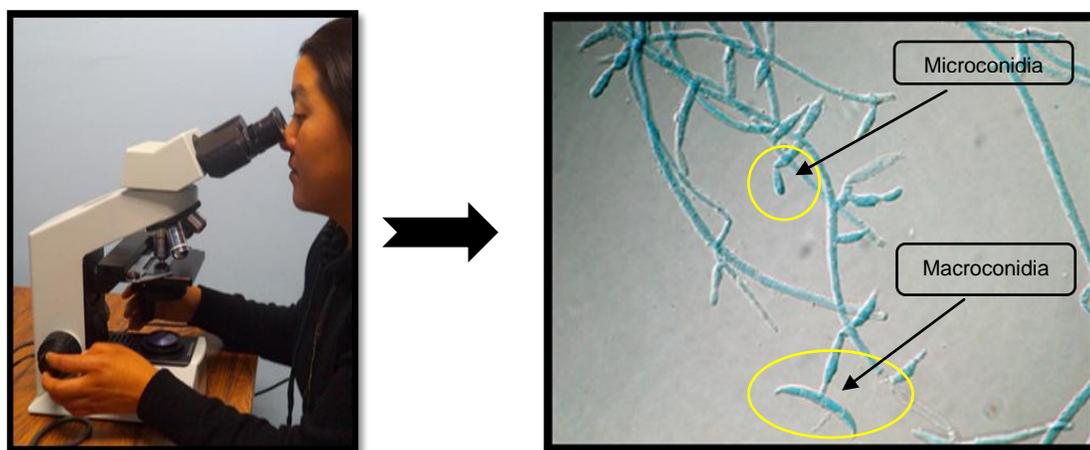
## Identificación morfológica

Al enfocar la muestra en el microscopio compuesto lo único que se logró observar fueron hifas hialinas, monofialides y clamidosporas esféricas con paredes lisas e intercaladas a lo largo de la hifa, por lo que se tomó la decisión de dejar incubar las muestras por tres días más esto con el objetivo de dejar esporular los hongos presentes en las semillas de maíz y así poder encontrar macroconidias y microconidias para así lograr una mejor identificación del hongo que se tenía presente en las semillas.



**Figura 11.** Observación de estructuras morfológicas

Una vez transcurridos los tres días adicionales de incubación nuevamente se repitió el procedimiento donde al observar las nuevas muestras realizadas al microscopio compuesto se pudieron observar macroconidios hialinos, apenas curvos con tres septos con un ápice en forma de gancho y una célula basal en forma de pie también se observaron clamidosporas esféricas con paredes lisas e intercaladas a lo largo de la hifa y monofialides.



**Figura 12.** Observación de macro y microconidios al microscopio óptico.

La identificación morfológica se realizó a través de las claves del manual de laboratorio Ensayos para la semilla de maíz y trigo de CIMMYT (2003).

### **Incidencia**

Para determinar la incidencia primero se contó el número de semillas infectadas por hongos en cada una de las diferentes repeticiones, una vez obtenido estos resultados se calculó el porcentaje de infección de cada repetición en donde 15 semillas infectadas por caja equivalen al 100 % de infección.

De los resultados obtenidos en el % de infección de las diferentes repeticiones se realizó un análisis de varianza a través del diseño estadístico ANDEVA para conocer el porcentaje de semillas infectadas por el hongo que se desarrolló en las mismas.

**Cuadro 1.** Incidencia del hongo en semillas de maíz.

<b>HS-5G TRAT 1</b>	<b>No S.1</b>	<b>% Infección</b>
REP 1	15	100
REP 2	13	87
REP 3	9	60
REP 4	15	100
REP 5	2	13
REP 6	12	80
REP 7	15	100
REP 8	13	87
REP 9	8	53
REP 10	15	100
REP 11	15	100
REP 12	6	40
REP 13	9	60
REP 14	10	67
REP 15	7	47

REP 16	13	87
REP 17	12	80
REP 18	15	100
REP 19	8	53
REP 20	1	7
REP 21	8	53
REP 22	15	100
REP 23	14	93
REP 24	15	100
REP 25	4	27
REP 26	5	33
REP 27	8	53

### Prueba de germinación de la semilla

La prueba de germinación se realizó en toallas de papel enrolladas según el Manual de Laboratorio Ensayos para la semilla de maíz y trigo CIMMYT (2003).

Se tomaron 200 semillas de maíz del material: HS-5G.



**Figura 13.** Total de semillas utilizadas.

Para la realización de la siembra el tratamiento fue dividido en cuatro repeticiones de 50 semillas cada una, las semillas se separaron en espacios uniformes sobre una toalla de papel húmedo con el extremo de la radícula apuntando hacia la parte

inferior de la toalla y el lado del embrión hacia arriba posteriormente se colocó otra toalla encima para cubrir las semillas, después se procedió a doblar en forma de taco anotando los datos correspondientes de cada repetición para su identificación luego fueron colocadas en posición vertical dentro de una bolsa de plástico abierta en la parte superior y se dejaron incubar a 25°C durante 7 días.



**Figura. 24.** Prueba de germinación de la semilla en toallas de papel enrolladas Después del tiempo señalado se determinó la cantidad de plántulas normales, plántulas anormales y semillas no germinadas en cada repetición de 50 semillas.

### **Prueba de vigor de la semilla**

La prueba de vigor fue realizada en frío con toallas de papel enrolladas e incubadora según el manual de laboratorio ensayos para la semilla de maíz y trigo CIMMYT (2003).

Se tomaron 200 semillas de maíz del material: HS- 5G.



**Figura 15.** Total de semillas a evaluar

Para realizar la siembra el tratamiento fue dividido en cuatro repeticiones de 50 semillas cada una, se humedecieron las toallas de papel con agua fría a 10 °C luego se colocaron 50 semillas separadas por espacios uniformes sobre las toallas de papel húmedas, con el extremo de la radícula apuntando hacia la parte inferior de la toalla y el lado del embrión hacia arriba, se cubrieron las semillas con una capa delgada de peat most húmedo se colocó otra toalla por encima para cubrir las semillas después se procedió a doblar en forma de taco. Se anotaron los datos correspondientes a cada repetición para su identificación luego fueron colocadas en posición vertical dentro de una bolsa de plástico abierta en la parte superior y se dejaron incubar a 10°C durante 7 días.



**Figura 16.** Prueba de vigor de la semilla

Después del tiempo señalado se determinó la cantidad de plántulas normales, plántulas anormales y semillas no germinadas en cada repetición de 50 semillas.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Identificación**

La detección desarrollada en este trabajo de investigación señala que las características que presenta este hongo concuerdan con lo propuesto por el Manual de Laboratorio Ensayos para la semilla de maíz y trigo CIMMYT (2003).

Los macroconidios, tienen paredes delgadas, son apenas curvos, puntiagudos en ambos extremos, con 3-7 septos, un ápice en forma de gancho y una célula basal en forma de pie; los tres septos miden 27-66 x 3.5  $\mu\text{m}$ . Los macroconidios de 3 septos son los más comunes. Las clamidosporas son esféricas, con paredes lisas

o rugosas; se forman individualmente o en paredes a intervalos a lo largo de la hifas, o en ramificaciones laterales cortas. La presencia de clamidosporas y los microconidios producidos en conidióforos cortos y ramificados son las características más distintivas de *Fusarium oxysporum*.

En la que podemos observar claramente las características de *Fusarium oxysporum* en el microscopio compuesto; macroconidias apenas curvos con tres septos con un ápice en forma de gancho y una célula basal en forma de pie también se observaron clamidosporas esféricas con paredes lisas e intercaladas a lo largo de la hifa así como la presencia de monofialides. Comparando con las claves de CIMMYT (2003) son relativamente iguales por lo tanto se afirma la presencia de *Fusarium oxysporum* en las semillas de maíz del híbrido HS-5G.

## **Incidencia**

En el diseño experimental se obtuvo una media de 0.6962 % de semillas infectadas lo que equivale al 70 % de las misma, esto indica que el híbrido de maíz HS-5G es susceptible al desarrollo del hongo *Fusarium oxysporum* debido a que presento un alto índice de crecimiento del hongo en cada una de las diferentes repeticiones y solo el 30 % de semillas restantes no presentaron desarrollo de ninguna especie del hongo *Fusarium* de lo cual se puede decir que posiblemente estas semillas sean resistentes al presencia de hongos del genero *Fusarium*.

El análisis no arrojo información del coeficiente de variación porque solo se trabajó con un tratamiento y las diferentes repeticiones eran homogéneas.

## **Prueba de Germinación**

Se entiende como germinación es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y se desarrollan a partir del embrión aquellas estructuras esenciales, para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables y la incidencia es el daño que provoca el patógeno en las plantas mientras que se ve afectada la germinación y el vigor. Muchas veces al tener buena germinación no indica que la plántula se encuentra sana debido a que la enfermedad se puede desarrollar en la etapa final del cultivo.

Las semillas pueden ser un medio ideal para el transporte de inóculo de patógenos como hongos, bacterias o virus e inclusive nematodos, que afectan la germinación y consecuentemente la emergencia y población de plantas, o bien causar problemas fitopatológicos en los cultivos una vez establecidos. Igualmente pueden diseminar enfermedades en determinadas regiones donde estaban ausentes.

En cuanto al desarrollo de esta investigación los resultados obtenidos en esta prueba fue la no germinación de las semillas en las cuatro repeticiones debido a la alta incidencia del hongo *Fusarium oxysporum* presente en las semillas lo cual causo el deterioro de las mismas.

## **Prueba de Vigor**

En la evaluación de la prueba de vigor no se obtuvieron semillas germinadas en las cuatro repeticiones lo cual indica que la alta incidencia del hongo *Fusarium oxysporum* afecto el vigor de las semillas.

El concepto de vigor en semillas se define como propiedad de la semilla que determina el potencial de emergencia uniforme y rápida, y el desarrollo de plántulas normales en diversas condiciones de campo.

La germinación y el vigor son los principales atributos involucrados dentro del componente de calidad fisiológica en semillas. La semilla presenta su más alto

nivel de vigor y potencial germinativo cuando alcanza la madurez fisiológica. En este estado, la semilla tiene el máximo peso seco (a acumulado la máxima cantidad de reservas nutritivas) y el embrión ha completado su desarrollo. A partir de este momento, se inicia el proceso de deterioro de la semilla en forma continua e irreversible, hasta perder su capacidad germinativa. El deterioro podría entenderse, como la serie de cambios que ocurre en las semillas con el transcurrir del tiempo, afectando funciones vitales por ende su desempeño hasta provocar su muerte.

Durante el proceso de deterioro de las semillas el cual es influenciado por factores genéticos y ambientales, lo primero que se ve afectado es el vigor antes que la germinación. Por ello, cada vez hay más interés de estudiar y conocer mejor los mecanismos bioquímicos relacionados con el vigor así como, la identificación e implementación de pruebas para su medición.

Por lo tanto al haber alta incidencia de *Fusarium oxysporum* e en el material la germinación y el vigor de la semilla se vio afectado debido a que no alcanzo su madurez fisiológica.

## CONCLUSIÓN

De acuerdo con las características morfológicas observadas en las macroconidias y clamidosporas se corrobora con la literatura que el hongo que se presentó en las semillas es *Fusarium oxysporum* por lo tanto se concluye que las semillas de maíz del híbrido HS-5G utilizadas en este trabajo de investigación presentaron una incidencia del 70 % del hongo *Fusarium oxysporum* lo cual repercutió a la no germinación de las mismas en la prueba de germinación y vigor.

## LITERATURA CITADA

Agarwal, V.K. and J.B. Sinclair. 1987. Principles of seed Pathology. Vol.1 CR.C. Inc. U.S.A. 168 p.

Alexopoulos, C.J. and C.W Mims. 1979. Introductory mycology. Third Edition. John Wiley and Sons. New York, U.S.A. 632 p.

Bentazos-Mendoza, E., Ramírez-Fonseca A. L., Coutiño-Estrada B., Espinoza-Paz N., Sierra-Macías M., Zambada-Martínez A., y Grajales-Solís M. 2009. Híbridos de maíz resistentes a la pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz. Agricultura Técnica En México 4 (35): 391-400.

- Beltrán, F. J., J. M. Ribaut, D. L. Beck and D. González de León. 2003. Genetic diversity specific combining ability and heterosis in tropical maize under stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 43:797-806
- Booth. 1975. The present status of *Fusarium* taxonomy. *Annual review of phytopathology.* 13: 83- 93.
- Booth, C. 1971. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute. CAB International. Kew, Surrey, England. 237 p.
- Chungu, C., Mather D. E., Reid L. M., and Hamilton R. I. 1996. Inheritance of kernel resistance to *Fusarium graminearum* in maize. *The Journal of Heredity* 87 (5): 382-85.
- CIMMYT, 2003. Manual ensayos para la semillas maíz y trigo. Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F. México.
- Copeland, L.O. and M.B. McDonald. 1985. Principales of Seed Science and Techology. Second Edition. McMillan Publishing Company. U.S.A 221 p.
- DGSV-CNRF. 2011. *Fusarium oxysporum*. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (DGSV-CNRF). Ficha técnica. SAGARPA-SENASICA. México, D.F. 5 p.
- Di Menna M.E., Lauren D.R. y Hardacre A. (1997) *Fusarium* and *Fusarium* toxins in New Zealand maize plants. *Mycopathologia*, 139, 165–173.
- Dickson, J. G. 1963. Enfermedades de las plantas de gran cultivo. Barcelona, España: Salvat Editores. 107p.
- ELIKA. 2013. Fumonisinias. Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria consultada en [www.elika.net](http://www.elika.net). El día 04 de enero de 2016.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2010. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org>

- FAOSTAT. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultada en <http://faostat.fao.org> El día 15 de noviembre de 2015.
- Fenwinck K., A 1988. Seed production of agricultural crops. First Edition Longman Scientific and Technical. Great Britain. 227 p.
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2014 [www.financierarural.gob.mx](http://www.financierarural.gob.mx).
- Frihilich, G. 1970. Enfermedades y plagas de las plantas tropicales, descripción y lucha. Editorial UTEHA. México, 376 p.
- Garcés de Granada, E., Orozco de Amézquita, M., Rocío, B. G., Valencia, H. 2001. *Fusarium oxysporum* El hongo que nos falta conocer. Acta Biológica Colombiana. Vol. 6. No. 1
- Glenn, A. E. 2010. Mycotoxigenic *Fusarium* species in animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 137:213-240.
- Gómez, E. 2008. Caracterización de cepas toxigenicas del genero *Fusarium* mediante técnicas de biología molecular pp 225.
- IICA-BID-PROCIANDINO. 1989. IX Seminario. Manejo de Enfermedades y Plagas del Maíz. Ed. por B. Ramakrishna. Quito, Ecuador. 201 p.
- Iltis, H.H 1993. From teosintle to maize: the catastrophic sexual transmutation. *Science* 222: 886-894
- Kistler, H. C. 1997. Genetic diversity in the plant- pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology*. 87: 474-479.
- Koehler, B. 1959. Corn ear rots in Illinois, Illinois Agricultural Experimental Station. Bulletin 639.
- Lew, A., Adler, A. and Edinger, W. 1991. Moniliformin and the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*). *Mycotoxin Res.* 7:71-76.

- López, A.A.2003. Cuatro mitos mesoamericanos del maíz. En: Esteva. G., y C. Marielle (eds). Sin maíz no hay país. CONACULTA. México, D.F. p: 29-35
- Marasas, W. F. O. 2001. Discovery and occurrence of the fumonisinas: A Historical Perspective. *Environmental Health Perspectives Supplements* 109:239-243.
- Matos, C.S.M., Barrocas E. N., Machado J.C., and Cardoso-Alves F. 2013. Health and physiological quality of corn seeds treated with fungicides and assessed during storage. *Journal of seed science* 35 (1): 10-6
- McGee, D.C. 1988. Maize Disease: A Reference Source for Seed Technologists. APS Press. USA. pp. 13-15
- Méndez-Albores A. y Moreno-Martínez E. 2005. Las Micotoxinas: Contaminantes naturales de los alimentos. *Ciencia*: 7p.
- Merrill, A. Jr., M. Sullards, E. Wang, K. Voss and R. Riley. 2001. Sphingolipid metabolism: roles in signal transduction and disruption by fumonisins. *Environ. Health Persp.* 2:283-289.
- Navarrete M.R. 1986 Factores ambientales y biológicos que influyen en el desarrollo de la enfermedad "Germinación prematura" del maíz causada por *Fusarium moniliforme* sh. Tesis de maestría en fitopatología. Colegio de posgraduados. Montecillos México.
- Nelson, P.E. Taxonomy of fungi in the genus *Fusarium* with emphasis on *Fusarium oxysporum*. p. 27-35. In Re. Ploetz (Ed.). *Fusarium* wilt of banana. American Phytopathological Society Press. St. Paul. 1990.
- Niederhauser, J.S. 1994. Enfermedades del maíz en México. Folleto de divulgación 9. Secretaria de Agricultura y Ganadería, México, D.F. 39 p
- Programa de maíz del CIMMYT. 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. México, D, F: Cimmyt. 114 p.

- Rebell, G. *Fusarium* infections in human and veterinary medicine. p. 210-220. En P.E. Nelson, T.A. Toussoun and R.J. Cook (Eds.). *Fusarium: diseases, biology and taxonomy*. Pennsylvania State University Press. University Park and London. 1981
- Rivas-Valencia, P., Virgen-Vargas J., Rojas-Martínez I., Cano-Salgado A. and V. Ayala-Escobar V. 2011. Evaluación de Pudrición de Mazorca de Híbridos de Maíz En Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* vol.2, n.6: 845-54.
- Rodríguez-Montesoro, R. y De León C. 2008. El cultivo del maíz: temas selectos. México, D.F. COLPOS: Mundi-Prensa México. 127 p.
- Sánchez-Aguilar, P. 2013. La agricultura sustentable. *Ganar-Ganar* 49: 26-28.
- Schumann, G.L. *Plant diseases: their biology and social impact*. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. 1991.
- SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultada en [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). El 10 de octubre del 2015.
- Sinclair J.B 1979 Seed Pathology-the Basic. In: Proceedings short course for seedmen. Mississippi State, U.S.A Vol. (21): 7-15p
- Smith, I. M., Dunez, J., Lelliott, R. A., Phillips, D.H. y Archer, S. A. 1988. Manual de enfermedades de las plantas. Ediciones Mundi-Prensa.
- Torres-Sánchez, Luisa y López-Carrillo, Lizbeth. 2010. Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana. *Salud pública Méx.* vol.52, n.5:pp. 461-467.consultada en: [www.scielo.org.mx/scielo](http://www.scielo.org.mx/scielo). El día 23 de enero del 2015.
- Varón-De-Agudelo, F y Sarria-Villa C. A. 2007. Enfermedades del maíz y su manejo: compendio ilustrado. Palmira, Colombia. 55 p.

Vesonder, RF. and C.W Hessel Tine. Metabolites of *Fusarium*. p. 350-364. En P.E. Nelson, T.A. Toussoun and RI Cook (Eds.). *Fusarium: diseases, biology and taxonomy*. Pennsylvania State University Press. University Park and London. 1981.

Zenteno-Zevada M. 1963. Estudios sobre hongos parásitos de gramíneas de la república mexicana. III. Pruebas de inoculación en plántulas de maíz con *Giberella fujikuroi* (Saw) Wr. An. Inst. Biol. UNAM. 34: 69-83.

## APÉNDICE

### Análisis estadístico

Procedimiento: ANDEVA

Variable dependiente: Incidencia

Fuente	DF	ANDEVA SS	Cuadrado de la media	F -Valor	Pr > F
Repetición	26	21985.54090	845.59773	.	.
Tratamiento	0	0.00000	.	.	.
Error	0	0.00000	.		
<b>Total</b>					
<b>Correcto</b>	26	21985.54090			

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
1	69.6296296

**Dónde:**

T1=HS-5G