

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Plagas y Enfermedades del Cultivo de Maíz con Énfasis en *Fusarium* spp. en el  
Valle del Mezquital, Hidalgo

Por:

**OLLIN OMAR PORRAS BAUTISTA**

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Plagas y Enfermedades del Cultivo de Maíz con Énfasis en *Fusarium* spp. en el  
Valle del Mezquital, Hidalgo

Por:

**OLLIN OMAR PORRAS BAUTISTA**

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría

Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez

Asesor Principal

Ing. Gerardo Rodríguez Galindo

Coasesor

Dr. Víctor Manuel Reyes Salas

Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

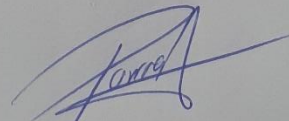
Diciembre del 2023



## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: reproducción de fragmento o textos sin citar la fuente o autor original (copia y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestado los datos de la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamiento de un autor sin citarlo, utilizar material como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Ollin Omar Porras Bautista

## **AGRADECIMIENTOS**

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

Por darme la oportunidad de forjar mi formación profesional; en especial al Departamento de Horticultura por su apoyo y cimiento.

A todos y cada uno de mis profesores que impartieron clases; gracias por su dedicación, tiempo y sobre todo enseñanzas no solo del ámbito profesional también en el personal; en especial a los profesores que forman parte del Departamento de Horticultura quienes a su vez hicieron que mi permanencia en esta universidad y en la carrera fuera de lo más especial.

A la **Dra. Fabiola Rodríguez Aureoles**, por su excelente apoyo y por su dedicación, como catedrática en sus materias impartidas compartiendo sus conocimientos y experiencias.

A mis compañeros de generación en especial a lo que formaron de cerca esta etapa de superación, a mis mejores amigos, Emmanuel Pozos, Alejandro Garrido, Balam, Luis Galindo, Efraín Rivera, Marco Antonio, Juan Carlos, Ana Avilés, José Guadalupe, Gabriel Zamarripa, por formar parte de este camino.

## DEDICATORIA

A mi madre **Sra. Ana Luisa Bautista Gómez**

Quien me ha dado el aliento y vida necesaria para salir adelante y triunfar en la vida.

A mi padre **Sr. Moisés Porras Martínez**

Que me enseñó de que se trata la vida y por sus buenos consejos.

A mi hermana **Nubia Xóchitl Yafte Porras Bautista**

Por las pláticas y momentos amenos.

A esa Gran Mujer **Olivia Anahi Reyes Porras**

Quien me ha dado fortaleza, amor, cariño y apoyo incondicional y por enseñarme el verdadero sentido de la vida, por su puesto a nuestro hijo (Toñito) ya que son toda mi razón los amo. Gracias por haber confiado en mí.

A la familia **Porras Pérez, Sra. Cuquita Pérez, Ayerim Porras y Enrique Porras.**

Por los buenos consejos, confianza y por haberme extendido la mano.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN DE NO PLAGIO</b>	<b>iii</b>
_____	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xi</b>
<b>Resumen</b>	<b>xiii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>II. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>16</b>
Justificación	16
Planteamiento del Problema	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	17
Metodología	17
<b>III. MARCO CONTEXTUAL</b>	<b>17</b>
<b>IV. MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
Origen y Distribución Geográfica del Cultivo	19
Importancia del cultivo	20
Importancia en México	20
Morfología	21
Raíz	21
Tallo:	21
Hojas	21
Flores:	21

Grano: _____	22
<b>Aspectos Agroecológicos del Cultivo de Maíz _____</b>	<b>22</b>
Hídricos _____	22
Temperatura _____	23
Suelos _____	23
Periodos de Siembra _____	23
Preparación del Terreno _____	24
Tipos de Labranza _____	24
Siembra _____	24
Nutricionales _____	24
Cosecha _____	25
<b><i>Principales Plagas del Cultivo _____</i></b>	<b>25</b>
<b>Plagas del Follaje _____</b>	<b>25</b>
<b>Gusano Cogollero _____</b>	<b>25</b>
<b>Gusano Elotero _____</b>	<b>26</b>
<b>Gusano Soldado _____</b>	<b>27</b>
<b>Plagas Rizófagas (atacan la raíz) _____</b>	<b>28</b>
<b>Gusano de Alambre _____</b>	<b>28</b>
<b>Gusano Alfilerillo _____</b>	<b>30</b>
<b>Gallina Ciega _____</b>	<b>32</b>
<b><i>Principales Enfermedades del Cultivo _____</i></b>	<b>32</b>
<b>Mancha del Asfalto _____</b>	<b>32</b>
<b>Podredumbre de Raíces _____</b>	<b>33</b>
<b>Roya _____</b>	<b>34</b>
<b><i>Enfermedad por Fusarium _____</i></b>	<b>35</b>
<b>Nombre Científico _____</b>	<b>35</b>
<b>Clasificación Taxonómica _____</b>	<b>35</b>

Nombres Comunes _____	35
Estatus Fitosanitario _____	35
Distribución Mundial _____	35
Importancia Económica _____	35
Características Morfológicas _____	36
Hospedantes _____	36
Biología _____	37
Requerimientos para el Desarrollo _____	37
Ciclo de Vida _____	38
Síntomas _____	38
Aspectos Epidemiológicos _____	40
Dispersión _____	40
<b>V. PROBLEMÁTICA EN LA REGIÓN VALLE DEL MEZQUITAL _____</b>	<b>42</b>
<b>VI. PROPUESTAS DE MANEJO Y/O MEJORAS _____</b>	<b>43</b>
Medidas Fitosanitarias _____	43
Control Cultural _____	43
Control Biológico _____	44
Control Físico _____	44
Control Químico _____	45
Bioinsumos _____	46
<b>VII. RECOMENDACIONES _____</b>	<b>49</b>
Análisis Fitosanitario _____	49
Análisis de Suelos y Nutrición _____	49
<b>VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS _____</b>	<b>50</b>



<i>IX.</i>	<i>CONCLUSIÓN</i>	<hr/>	<i>51</i>
<i>X.</i>	<i>LITERATURA CITADA</i>	<hr/>	<i>52</i>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fungicidas empleados para el tratamiento de semillas contra <i>Fusarium</i> spp. ....	47
Cuadro 2. Fungicidas empleados para el tratamiento de semillas contra <i>Fusarium</i> spp. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del Valle del Mezquital, Hidalgo, México.....	18
Figura 2: Mapa de México con centro de origen-domesticación y centros de diversificación. ....	20
Figura 3: Daños en el cultivo de maíz por <i>Spoptera frugiperda</i> . A) Perforaciones en hoja y presencia de excremento, B) Larva barrenando en la base de la planta .....	26
Figura 4: Daños ocasionados por <i>Helicoverpa zea</i> en maíz. A) Huevos sobre un estigma; B) Larva de primer instar alimentándose de los estigmas internos de la mazorca; C y D) Diferentes grados de daños en el elote.....	27
Figura 5: Planta de maíz atacada por <i>Mythimna unipuncta</i> en la que se observan excrementos de las larvas en la base de las hojas.....	28
Figura 6: Daño en tallo de maíz causado por larvas de <i>Agriotes</i> spp. ....	29
Figura 7: : Daños de raíz de maíz causados por <i>Diabrotica</i> . ....	31
Figura 8: A) Puntos negros (clípeos) característicos de la presencia de <i>Phyllachora maydis</i> en hojas de maíz. B) Efecto de la mancha de asfalto en mazorcas de maíz.....	33
Figura 9: Escala del daño causado por <i>Fusarium</i> spp., en plántulas de variedades criollas de maíz a los 21 días de la inoculación del hongo .....	34
Figura 10: Síntomas de <i>Puccinia sorghi</i> .....	34
Figura 11: Ciclo de vida generalizado de <i>Fusarium</i> spp., Después de la plasmogamia y la cariogamia, el peritecio produce esporas meióticas recombinantes y clonales respectivamente. Estos forman micelio haploide (HM) que a su vez forman tres tipos de esporas mitóticas. Mientras que las conidas (micro o macroconidias) pueden colonizar al huésped, las clamidosporas, además de la colonización directa del cultivo, pueden pasar el invierno y convertirse en peritecio para reinicia el ciclo cuando las condiciones son favorables .....	39

Figura 12: A) Medula de tallo desintegrada causada por Fusarium. B) Sintomas de pudrición del tallo por Fusarium externo e interno. .... 41

Figura 13: Pudrición de tallo por Fusarium, tallo de maíz enfermo (izquierda) y tallo sano (derecha) ..... 41

## Resumen

Este trabajo de observación se llevó a cabo con el fin de dar alternativas en la producción del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en la región del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, beneficiando a los productores y, así dar soluciones y recomendaciones. Se observó una problemática en el desarrollo del cultivo dado la presencia de pudrición del tallo causada por *Fusarium* spp. la cual ocasiona marchitez desde plántulas hasta planta adulta, causando generalmente pudriciones en los órganos vegetativos, tallo y raíz por lo cual, provocan daño en el desarrollo de la planta y por ende reducen el rendimiento. En consecuencia, a ello en el presente trabajo se muestra información sobre las plagas y enfermedades para su identificación y su manejo adecuado, como una serie de recomendaciones.

**Palabras clave:** Pudrición, tallo, *Fusarium* spp, marchitez, vegetativos, raíz, manejo agronómico.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.), presenta diversos problemas fitosanitarios para su producción, dentro las principales se encuentran las malezas, enfermedades e insectos plaga (Reséndiz *et al.*, 2016), estos destacan debido al daño que ocasionan y se estima que provocan pérdidas en rendimientos de 30%, estos se presentan desde el establecimiento del cultivo hasta el almacenamiento del grano (Valdez-Torres *et al.*, 2012).

En el estado de Hidalgo la producción de maíz es beneficiada por las aguas residuales con la cual son irrigadas los cultivos, debido a ello algunos productores no tienen necesidad de invertir en la fertilización inorgánica, sin problema obtienen buenos rendimientos de los mismos, en el estado se estima un total de 55, 126 ha., sembradas en la modalidad de riego de las cuales 33, 286 ha corresponden al Valle del Mezquital y 168, 062 de temporal (Gómez, 2021). Generalmente la baja de productividad del maíz se debe a factores bióticos y abióticos, así como también por diversas enfermedades, resaltando la importancia de la enfermedad como), roya (*Puccinia sorghi*), pudrición del tallo y mazorca por *Fusarium* spp, presente en diversas regiones del estado de Hidalgo (Gómez, 2020).

Otros factores limitantes del rendimiento, son las enfermedades causadas por diversos factores bióticos y abióticos. Dentro de las enfermedades causadas por patógenos destacan las producidas por el género *Fusarium*, el cual se encuentran naturalmente en el suelo y en ocasiones puede estar asociado a las pudriciones de raíz y tallos de muchas plantas (Hernández *et al.*, 2007). Este hongo, en maíz puede causar daño en todas las etapas del cultivo. En semilla, el micelio puede invadir y ocasionar manchas en las cubiertas externas, causando además disminución de la germinación por la muerte del embrión (Cisneros, 2004; Morales *et al.*, 2007; González *et al.*, 2007). En plántula y planta adulta, debilita y pudre la raíz, ocasionando acame. En el maíz, la pudrición de tallo y mazorca está asociado con *F. verticillioides* (=moniliforme) Sheld y *F. graminearum* Schwbe (González *et al.*, 2007). Sin embargo, la incidencia de enfermedades está relacionada con la susceptibilidad intrínseca de algunos

materiales de maíz, el manejo agronómico y las condiciones ambientales a las que se exponen las plantas durante su desarrollo, no obstante, sería de gran utilidad identificar genotipos de maíz resistentes a la pudrición de tallo y mazorca, los cuales darían ventaja para el manejo eficiente y económico de esta enfermedad (González *et al.*, 2007).

*Fusarium verticillioides* es uno de los hongos fitopatógenos principales en el cultivo de maíz. Este microorganismo penetra a la planta por distintas áreas, como puede ser la raíz, el tallo o la mazorca. Al ser un hongo presente en suelo, infecta principalmente de manera sistémica o vascular a las plántulas, la infección puede iniciar desde la germinación de las semillas, este hongo es capaz de translocarse desde la raíz al tallo y llegar a la mazorca. También puede llegar a la mazorca por el estigma, esto sucede cuando existe un inoculo aéreo que, transportado por agua de lluvia, de forma mecánica mediante lesiones, generalmente ocasionadas por plagas que fungen como vectores. *F. verticillioides* es capaz de producir cantidades importantes de enzimas líticas y micotoxinas que contribuyen al proceso infeccioso, compuestos que pueden representar un problema importante al estar presentes en productos agrícolas debido a los efectos adversos que pueden ocasionar en animales y humanos (Torre-Hernández *et al.*, 2014).

## II. MARCO METODOLÓGICO

### **Justificación**

A pesar de la importancia que reviste la producción de grano de maíz en México ocupando el octavo lugar en producción de maíz en el mundo, con 28 millones de toneladas en las dos principales modalidades de cultivo (temporal y riego). Se considera que las pérdidas que van de 10 a 20% se debieron a plagas y enfermedades, lo cual justificara la búsqueda de herramientas tecnológicas que pudieran ser empleadas para la protección de un producto tan importante para México y para la región del Valle del Mezquital, Hidalgo como es el maíz.

Las perdidas en este cultivo pudieran evitarse si se contara con la tecnología adecuada y si se diera a conocer de manera oportuna la tecnología existente, particularmente para contrarrestar el daño ocasionado por *Fusarium spp.* el cual causa la pudrición del tallo y daños significativos en el cultivo de maíz en la región.

### **Planteamiento del Problema**

Durante la permanencia en prácticas profesionales se observó la realización de un buen protocolo en la producción de maíz en la región y a pesar de ello, se logró detectar cierto margen de pérdidas, principalmente debido a la pudrición del tallo ocasionada por *Fusarium spp.* Al respecto, se sabe de la existencia de diversas herramientas tecnológicas para contrarrestar esta enfermedad, las cuales, aunado a la realización de buenas prácticas agrícolas y un estudio y diagnóstico oportuno, podrían enmendar algunas fallas durante los sistemas de producción, reducir la presencia de esta y otras enfermedades y mejorar el desarrollo del cultivo durante las diferentes fases y etapas fenológicas del maíz.

### **Objetivo General**

Buscar alternativas para que los productores de maíz de la región del Valle del Mezquital, Hidalgo reduzcan la presencia de plagas y enfermedades en sus



cultivos en particular en la ocasionada por *Fusarium spp.* causante de la pudrición del tallo.

### **Objetivos Específicos**

- Conocer el desarrollo de las plagas y enfermedades en el cultivo de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo.
- Determinar las mejores prácticas de manejo de plagas y enfermedades con énfasis en *Fusarium spp.* en el Valle del Mezquital, Hidalgo.
- Identificar los problemas asociados con el hongo en la zona del Valle del Mezquital, Hidalgo.

### **Metodología**

El presente trabajo se realizó por medio de la observación efectuada durante la realización de mis prácticas profesionales en una empresa dedicada a la producción y comercialización de semilla de maíz en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo. Así mismo, mediante una investigación exhaustiva sobre el tema en medios electrónicos y herramientas bibliográficas.

## **III. MARCO CONTEXTUAL**

El Valle del Mezquital es una de las diez regiones que dividen al estado de Hidalgo en México; geográficamente, se sitúa en lo alto de la meseta mexicana, a 60 kilómetros de la ciudad de México, entre las coordenadas 20°19'60" N y 99°15'0 W. Con una altitud entre 1,700 metros y 2,100 metros sobre el nivel del mar, como se muestra en la (Figura 1).

La distancia aproximada del Valle del Mezquital a la capital de estado es de 78.4 km. Se caracteriza por ser una zona semiárida, con temperaturas muy calientes por el día y bajas temperaturas por la noche, y por tener escasa precipitación

pluvial. De acuerdo con datos del censo de población y vivienda 2010, tiene una población de 895, 866 habitantes.



Figura 1: Mapa del Valle del Mezquital, Hidalgo, México (Román, Raúl, 2021).

El Valle del Mezquital, en Hidalgo, se caracteriza por ser una región dedicada, en gran medida, a la agricultura, la cual representa 59% de la producción total del estado la cual complementa con la ganadería. Posee una superficie de 2, 098, 700 ha, de las cuales 618, 532 ha son destinadas para el uso agrícola, que representa 29.5% del área total. De esta superficie agrícola se establecen con maíz 253, 016 ha (40.9%), de las cuales 89.7% (227, 021 ha) se siembran en el ciclo agrícola primavera – verano y el resto (10.3%) en otoño – invierno.

## IV. MARCO TEÓRICO

### Origen y Distribución Geográfica del Cultivo

El maíz (*Zea mays* L.) es una aportación de México al mundo, y su origen es la región geográfica denominada mesa central que se ubica a 2,500 metros de altitud y en específico el Valle de Tehuacán en el Estado de Puebla (SIACON, 2008).

Sobre los centros de origen y diversidad del maíz se han realizado diversos estudios a lo largo de varias décadas; estas investigaciones señalan que el maíz apareció entre los años 9,000 y 5,000 AC (Turret y Serratos, 2004). Kato *et al.*, (2009), con base en los resultados de un amplio estudio de la morfología de los cromosomas paquiténicos de los maíces y sus parientes silvestres (Teocintle y *Tripsacum*), desarrollaron una teoría que propone que el maíz se originó y fue domesticado en varias regiones entre México y Guatemala; dicha teoría fue denominada como teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz, la cual define cinco centros de origen – domesticación: 1) Mesa central de México, 2) región de altura media en los estados de Morelos, México, Guerrero y sus alrededores, 3) región centro – norte de Oaxaca; 4) el territorio comprendido entre los estados de Oaxaca y Chiapas y 5) región alta de Guatemala.

De estas rutas de migración se conformaron cuatro macro regiones o centros de diversificación primaria del maíz: I) Mesa Central, II) Oaxaca, Chiapas y Guatemala, III) Occidente de México y IV) Norte, de donde fueron emergiendo las diversas razas y se presentó una concentración de la diversidad del maíz, la cual se muestra en la (Figura 2).



Figura 2: Mapa de México con centro de origen-domesticación y centros de diversificación (Kato et al., 2009).

### Importancia del cultivo

El maíz es uno de los principales cereales a nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar en cuanto a volumen de producción. Es el cultivo más importante, ya que forma parte de la dieta básica de la alimentación humana y pecuaria (SAGARPA, 2014).

### Importancia en México

En México, centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), existen 59 razas de acuerdo con la clasificación más reciente basada en características morfológicas e isoenzimáticas (Sánchez et al., 2000), que representan un significativo porcentaje de las 220 a 300 razas de maíz existentes en el continente americano (Kato et al., 2009).

SADER (2020) El cultivo de maíz se producen principalmente dos variedades de maíz: blanco y amarillo. El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional. De acuerdo al documento Expectativas Agroalimentarias 2021, elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), esta producción incluye tanto el maíz amarillo como el blanco. En el año agrícola 2020, la producción de grano totalizo 27 millones 707 mil 775 toneladas, lo que significó un aumento de 1.8 por ciento en comparación con los 27 millones 228 mil 242 toneladas de un año atrás (2019).

### **Morfología**

El maíz es una plantas anual, herbácea, monoica; presenta gran desarrollo vegetativo, alcanzando de 2 m a 2.5 m de altura, por lo tanto (Ospina, 2015), describe la morfología de los órganos del maíz de la siguiente manera:

**Raíz:** Es el primer componente del embrión que brota cuando la semilla germina, las raíces pueden profundizar hasta 1.8 m. El mismo sistema radical presenta tres tipos de raíces:

- Las raíces primarias.
- Las raíces adventicias.
- Las raíces de sostén.

**Tallo:** Es el soporte de hojas, flores, frutos y semillas, su función es transportador sales minerales y agua desde la raíz hasta la parte aérea de la planta; está compuesto por una epidermis exterior protectora, una pared de haces vasculares y una medula de tejido esponjoso color blanco.

**Hojas:** Posee entre 15 y 30 hojas que crecen en l aparte superior de los nudos, la cara superior de la hoja es pilosa, y la cara inferior es glabra, tiene numerosas estomas que permiten el proceso respiratorio.

**Flores:** El maíz es una planta monoica, es decir, presenta en la misma planta flores masculinas y femeninas. Las flores masculinas se agrupan en una panícula

terminal llamada espiga, y las femeninas se reúnen en varias panojas o mazorcas que nacen de las axilas de las hojas del tercio medio de la planta.

**Grano:** Es el fruto de la planta, compuesto por una cariósida que consta de tres partes; la pared, el endospermo triploide y el embrión diploide. Los granos se organizan en hileras cada una con 30 a 60 granos, una mazorca puede tener de 400 a 1000 granos.

### **Aspectos Agroecológicos del Cultivo de Maíz**

El maíz es una planta dotada de una amplia capacidad de respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente, y tiene alto nivel de respuesta a los efectos de la luz. Actualmente, existen diversidad de cultivares útiles para su cultivo bajo condiciones naturales muy distintas de las propias de su hábitat original (Deras, 2009).

#### **Hídricos**

Es un cultivo de regadío, exigente en agua, de aproximadamente 5 mm al día. Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo (dependiendo de la etapa fenológica), en plantas pequeñas se requiere de menor cantidad de agua, pero si mantener una humedad constante. La cantidad, distribución y eficiencia del agua son factores importantes en la producción del maíz. El calor y la sequía durante el periodo de polinización, a menudo causan la desecación del tejido foliar y la formación deficiente del grano. Un estrés hídrico durante la etapa de la floración el rendimiento del grano puede ser afectado seriamente (Deras, 2009 y Bonilla, 2009).

La floración es el periodo más crítico porque de ello depende el cuajado y cantidad de producción. En esta fase lo más recomendable es mantener riegos que mantengan la humedad para obtener una polinización eficaz y un buen cuajado de granos. Para el engrosamiento y maduración de elote o mazorca se puede disminuir la cantidad de agua aplicada. En general, el maíz necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo (Deras, 2009 y Ortas, 2008).

## **Temperatura**

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Necesita de bastante luminosidad y por eso en climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura del suelo debe de situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C, a partir de los 30°C se pueden aparecer problemas debido a la mala absorción de nutrientes minerales y agua. El maíz es una planta con mucha superficie foliar que se traduce en una gran capacidad para la fotosíntesis, pero también para la evapotranspiración, es por ello que la planta es muy sensible a temperaturas altas a estrés hídrico. La temperatura ideal para la fructificación oscila entre los 20 a 30°C (Ortas, 2008).

## **Suelos**

Las mejores condiciones se pueden encontrar en suelos que presenten buenas condiciones tales como textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención de agua. Se puede cultivar con buenos resultados en suelos que presenten un pH de 5.5 a 8 (de ácido a ligeramente alcalino), aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (pH entre 6 y 7). Un pH fuera de estos rangos puede afectar mucho en la disponibilidad de ciertos elementos nutricionales produciendo una deficiencia o toxicidad. El maíz es medianamente tolerante a los contenidos de sales en el suelo o en las aguas de riego. Las sales retrasan la nacencia de semillas, sin afectar sus porcentajes de emergencia (un contenido de sales totales solubles de 0.5% en el suelo, o bien, 15.3 gr·lt<sup>-1</sup> en la solución del suelo). Las plantas mueren cuando la concentración alcanza valores de 1.5% a 43 gr·lt<sup>-1</sup> (Deras, 2009).

## **Periodos de Siembra**

Las fechas de periodo de siembra del cultivo de maíz fluctúan del 15 de marzo al 30 de abril, en zonas de temporal eficiente en los valles altos como Hidalgo, Puebla, Toluca, mientras que en Sinaloa la siembra óptima para la producción de grano es del 25 de octubre al 30 de noviembre. Se recomienda una distancia

entre surcos de 80 centímetros (cm), con una densidad de población de 70 mil plantas por hectárea (Perea, 2017).

### **Preparación del Terreno**

De acuerdo a las recomendaciones de SIAP-SAGARPA (2009), el cultivo se puede establecer con éxito bajo los diversos requerimientos:

### **Tipos de Labranza**

Se puede distinguir tres clases: convencional, mínima y de conservación. En la región la más usual es la convencional, donde el productor realiza labores como son: subsuelo, barbecho, rastreos, nivelación, surcado y escarificación principalmente.

### **Siembra**

Puede ser manual o con maquinaria de precisión. La siembra se debe llevar a cabo cuando el suelo tenga una temperatura de al menos 12°C. La semilla debe de colocarse a una profundidad de 5 cm, en el suelo plano o en surcos y con una separación de líneas de 0.8 a 1 m. la separación entre plantas debe de ser de 10 a 15 cm. En suelos de barrial, la siembra puede establecerse en seco o en húmedo; en suelos de aluvión se sugiere sembrar en húmedo. En siembras en seco se recomienda depositar la semilla en el lomo del surco, a 5 cm de profundidad; en húmedo se eliminan los bordos hechos por el riego de asiento, posteriormente un rastreo y se siembra en el fondo del surco (INIFAP, 2003).

### **Nutricionales**

Un maíz que alcanza las 12 ton·ha<sup>-1</sup> necesita de alrededor de 264 kg·ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N), 48 kg·ha<sup>-1</sup> de fósforo (P) y 48 kg·ha<sup>-1</sup> de azufre (S) respectivamente (García, 2008). Ciampitti *et al.* (2008), señalan que un programa de fertilización donde se incluyen la aplicación de N, P y S es de mucha importancia y esencial para optimizar el rendimiento del cultivo, incrementar la rentabilidad y mejorar la eficiencia de uso de nutrimentos (proveniente del suelo y del fertilizante) por parte del cultivo. Los rendimientos obtenidos por Ciampitti *et al.* (2008), con aplicaciones de NPS alcanzaron las 11.42 kg·ha<sup>-1</sup> mientras que en un tratamiento



testigo la producción de maíz fue de solo 5.731 kg·ha<sup>-1</sup>. La demanda de Nitrógeno en el maíz no es la misma durante todo el ciclo, la mayor demanda de nitrógeno para el maíz sucede durante la floración, aproximadamente a los 50-70 días después de la siembra y cuando se tiene el jilote (Viramontes *et al.*, 2005).

## **Cosecha**

La cosecha para grano seco debe realizarse cuando el grano este en madurez fisiológica (cuando en la base del grano se observa una capa negra). Entre las practicas comúnmente usadas para la cosecha en grano seco se puede mencionar:

- Dejar las plantas enteras en pie tal como se desarrollaron.
- Cortar la parte superior de las plantas (espiga, flor masculina o panoja), para permitir una mayor exposición de las mazorcas al sol.
- Doblado o quebrado. Este proceso consiste en doblar la parte superior de la planta o solamente la mazorca, para que la punta quede hacia abajo. Con esta práctica se pretende evitar que el agua de lluvia penetre al interior de la mazorca para evitar que se pudran los granos por *Fusarium* y disminuir el daño de los pájaros (INIAP, 2011).

## **Principales Plagas del Cultivo**

El maíz es seriamente afectado por diversas plagas que llegan a causar daños de consideración, ya que pueden reducir seriamente los rendimientos (INIFAP, 2003).

### **Plagas del Follaje**

#### **Gusano Cogollero**

En maíz el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* se alimenta generalmente de follaje, de forma ocasional llega alimentarse del elote; como larva, penetra el cogollo de plantas pequeñas preferentemente de 10 a 60 cm de altura, su presencia se detecta al observar hojas perforadas. El daño foliar de maíz se caracteriza generalmente por la alimentación irregular y excremento húmedo parecido ala aserrín cerca del cogollo del maíz y las hojas superiores de la planta.

Los daños son más severos en zonas tropicales y subtropicales. Con temperaturas mayores a 30°C y poca precipitación, la larva se alimenta del cogollo en los primeros cinco días y posteriormente se dirige a la base de la planta para barrenar el tallo sin que este se caiga y refugiarse dentro del el, a diferencia de un trozador que corta el tallo por lo que la planta cae (Bautista, 2006; Bohnenblust y Tooker, 2012; Bautista y Morales, 2016) (Figura 3).



Figura 3: Daños en el cultivo de maíz por *Spoptera frugiperda*. A) Perforaciones en hoja y presencia de excremento, B) Larva barrenando en la base de la planta (A) Ruiz-Galván, I; B) Bautista y Morales, 2016).

### **Gusano Elotero**

En maíz el gusano elotero *Helicoverpa zea* ataca preferentemente frutos, los cuales dañan al alimentarse, esto facilita la entrada de otros insectos plaga o de microorganismos que causan enfermedades en la planta. Las plantas jóvenes de maíz tienen agujeros seriados en las hojas después que *H. zea* se alimenta de la hoja apical. En las plantas grandes, los huevos se encuentran en os estigmas, de los cuales se alimentan las larvas que emergen y avanzan hasta la mazorca, donde se alimentan de los estigmas internos y de los granos lechosos en la punta de la mazorca, generalmente solo se puede encontrar una larva

grande por mazorca. El daño por lo general es en la punta de la mazorca, pero puede incrementarse al resto de la misma (CABI, 2020) (Figura 4).



Figura 4: Daños ocasionados por *Helicoverpa zea* en maíz. A) Huevos sobre un estigma; B) Larva de primer instar alimentándose de los estigmas internos de la mazorca; C y D) Diferentes grados de daños en el elote (A) y B) Tulli et al., 2015; C) Burkness, 2014; D) Nelson, 2008.

### **Gusano Soldado**

En maíz el gusano soldado *Mythimna unipuncta* es una planta voraz que consume la totalidad de las plantas hospedantes, en especial las gramíneas; en el caso del maíz deja mordeduras circulares de gran extensión que llega a eliminar toda la superficie de la hoja excepto la nervadura central, como rastro deja una gran cantidad de excrementos en las axilas de las hojas (Gobierno de Aragón, 2001) (Figura 5).



Figura 5: Planta de maíz atacada por *Mythimna unipuncta* en la que se observan excrementos de las larvas en la base de las hojas (Gobierno de Aragón, 2001).

## **Plagas Rizófagas (atacan la raíz)**

### **Gusano de Alambre**

El género *Agriotes spp.* Se alimenta de semillas recién germinadas, raíces y plántulas de maíz. Las larvas se alimentan de líquidos y la digestión es extraoral, y en general presentan de 3 a 5 estadios larvales, que toman de 2 a 5 años en desarrollarse (Andrews *et al.*, 2008), dependiendo de la calidad y la disponibilidad del alimento, algunas especies de pequeño tamaño pueden completar su ciclo de vida en 2 años. Sin embargo, si las condiciones no son las adecuadas, puede extenderse hasta 5 años (Andrews *et al.*, 2008).

Las larvas de gusano de alambre tienen dos periodos de actividad, uno de marzo a mayo y otro de septiembre a octubre. En primavera después de la siembra, el ataque se dirige a plantas jóvenes, al alimentarse del endospermo de las semillas en germinación, el resultado son plántulas débiles o semillas abortadas, reduciendo, así, la densidad poblacional y en consecuencia el rendimiento del

cultivo. En verano y principios de otoño, los daños afectan a las raíces, en este caso el resultado afecta a la calidad del producto. Los ataques a cereales son reconocidos por el amarillamiento de las extremidades de las hojas y de la hoja central. En la parte enterrada, cerca del grano, se distingue una zona desgarrada o completamente seccionada, una sola larva puede destruir varias plantas sucesivamente. El daño es producido por larvas de todos los estadios. En las plántulas de maíz recién germinada los daños se reconocen por el marchitamiento debido al daño provocado por la mordedura de la larva a la altura de base del tallo. El cultivo de maíz las larvas causan tres tipos de daño; vaciando las semillas al alimentarse en el germen, mordiendo el coleóptilo emergente o alimentándose de las raíces adventicias (Agronomía para todo el mundo, 2013) (Figura 6).



Figura 6: Daño en tallo de maíz causado por larvas de *Agriotes* spp (A) Gray et al., 2001, B) Jarvi, 2009, C) Vernon y D) Glen, 2009).

## **Gusano Alfilerillo**

*Diabrotica virgifera zea*, el daño principal por diabroticas lo realiza la larva al alimentarse de las raíces, produciendo túneles, lo que resulta en tallos curvos o inclinados o hasta cortarles y en ocasiones barrenan la parte subterránea del tallo. Las plantas dañadas presentan síntomas de falta de agua, aun cuando exista buena humedad en el suelo, además de disminuir la capacidad de anclaje y soporte, lo que ocasiona el acame en maíz (Posos, 1989).

El acame puede comenzar en la etapa de verticilo medio y continuar hasta la madurez (De León, 2017). Algunas veces las raíces se llegan a regenerar y se observa que las plantas caídas vuelven a levantarse formando el típico “cuello de ganso”, que es cuando el tallo se dobla desde la base. Generalmente estos síntomas se observan en forma de manchones o rodetes y, si en casos de muy alta infestación se observa en toda la parcela, ocasionado la caída y la muerte de las plantas, debido a que la planta tiene menos raíces y no pueden absorber el agua y los nutrimentos necesarios para su desarrollo. El pico de consumo de raíces por las diabroticas se presenta desde fines de junio a mediados de julio, cuando las raíces del maíz pueden ser destruidas (SAGARPA, 2005).

El adulto también causa daño en los estigmas del maíz, después de la emergencia de la espiga y la liberación de polen, esos se alimentan de los estigmas del jilote y polen, siendo el polen su alimento preferido. Si los adultos son numerosos pueden cortar los estigmas y reducir la polinización al final de la temporada, y si los estigmas son mascados hasta dentro de los totomoxtles o chalas, se puede observar poca formación de grano en la mazorca a falta de polinización (SAGARPA, 2005; De León, 2017), Foster y Molina (2000 citado por De León, 2017) mencionaron que 10 a 20 diabroticas que se encuentren en el estigma, pelos o sedas de jilote son suficientes para afectar seriamente en el periodo de la polinización, ocasionando disminuciones en la producción, cuando este periodo está completo, los pelos o sedas se tornan color café o se secan por lo que ya no es de interés para los adultos. El maíz sembrado tardíamente es más probable que sea dañado por adultos.

Los adultos ocasionalmente se alimentan de granos en desarrollo de algunos elotes, el daño es usualmente significativo (KSU, 1991). La pérdida de grano resultante puede variar ampliamente dependiendo del número de larvas por planta, época de siembra, humedad disponible, fertilidad del suelo, viento, y condiciones generales de clima durante el desarrollo del cultivo (Turincio, 2007). Las diabroticas recién emergidas también pueden alimentarse de hojas de maíz, en el caso de que no se tenga disponible, provocando una apariencia como de pergamino (SAGARPA, 2005). Estos adultos pueden consumir los márgenes de las hojas y perforar hojas tiernas cercanas a la base de la planta (De León, 2017). Otros de los daños en maíz que pueden causar los adultos de Diabroticas es la transmisión de virus como el virus moteado clorótico que puede causar necrosis letal en conjunción con el mosaico enano del maíz o mosaico de rayas de trigo Potyvirus. También puede ser vector del patógeno de la marchitez bacteriana del maíz (*Pantoea stewartii*) (De León, 2017) (Figura 7).



Figura 7: : Daños de raíz de maíz causados por Diabrotica por sp., (Purdue University, 2014; Capinera, 2014; NC State Extension, 2015).

## **Gallina Ciega**

En un cultivo de maíz la relación entre la densidad de las larvas de tercer estadio y las plantas jóvenes perdidas, indica que la presencia de cuatro gusanos por metro cuadrado es un factor crítico, una situación, asimismo mostrada en relación con el rendimiento de grano. En plantas de mayor envergadura, el nivel umbral será superior, y plantas maduras vigorosas pueden compensarse por el daño (King, 1994).

Las larvas provocan daño al alimentarse de las raíces de las plantas de maíz, en casos severos pueden llegar a matar a la planta y afectar de manera significativa el rendimiento del cultivo. Las larvas son del tipo escarabeiforme de color blanco cremoso, de cabeza café rojiza, llegan a medir 5-7 cm de largo dependiendo de la especie. Pasan por 6 a 8 instares, durante los dos primeros se alimenta de las raíces tiernas y materia orgánica, durante los siguientes instares la larva se muestra más voraz y se alimenta sólo de las raíces provocando mayores daños (FMC, 2008).

## **Principales Enfermedades del Cultivo**

De acuerdo a SAGARPA (2007), el sembrar fuera de las fechas recomendadas, propia que durante todo el año haya plantas en diverso estado fenológico accesibles para los patógenos y vectores. Por esta razón, las enfermedades que en años anteriores no eran de importancia económica, actualmente han incrementado su potencial de riesgo.

### **Mancha del Asfalto**

Los síntomas de la enfermedad se presentan de forma más clara a partir de la etapa de hoja bandera hasta la floración. El primer síntoma es la presencia de pequeños puntos negros que varían de 0.5 a 20 mm de diámetro provocados por el hongo *Phyllachora maydis* (Martínez y Espinosa, 2014).

Afectaciones severas en etapas tempranas impiden el llenado del grano; cuando el hongo afecta las hojas; en la etapa de llenado del grano (lechoso) o una etapa anterior, se cosechan mazorcas con granos deshidratados y de poco peso,



además se aprecian granos germinados por la acción de los patógenos, lo cual reduce el rendimiento de grano (Martínez y Espinosa, 2014) (Figura 8).



Figura 8: A) Puntos negros (clípeos) característicos de la presencia de *Phyllachora maydis* en hojas de maíz. B) Efecto de la mancha de asfalto en mazorcas de maíz (Martínez y Espinosa, 2014).

### **Podredumbre de Raíces**

Pudrición de raíz por *Fusarium*, puede ocurrir en una amplia gama de condiciones del suelo, pero generalmente causa pudrición de la raíz en plántulas y plantas jóvenes en condiciones frescas (14°C). los síntomas generalmente se limitan a las raíces y el tallo inferior e incluyen un sistema de raíces más pequeño con menos raíces secundarias. El síntoma más común de la pudrición de la raíz por *Fusarium* es una lesión de color marrón alrededor del nodo de las plantas maduras, lo que resulta en la pérdida de la masa, un rendimiento reducido y una menor calidad del grano (Mergoum *et al.*, 1989). La lesión marrón oscuro es un síntoma diagnóstico de la pudrición por *Fusarium*. Si la enfermedad es grave, las plantas pueden madurar temprano, producir granos marchitos, tener espigas blancas que pueden estar desprovistas de granos y tener un aspecto bronceado o blanqueado, o morir prematuramente. Ocasionalmente, uno o más macollos en una planta pueden morir (Adesemoye *et al.*, 2015) (Figura 9).

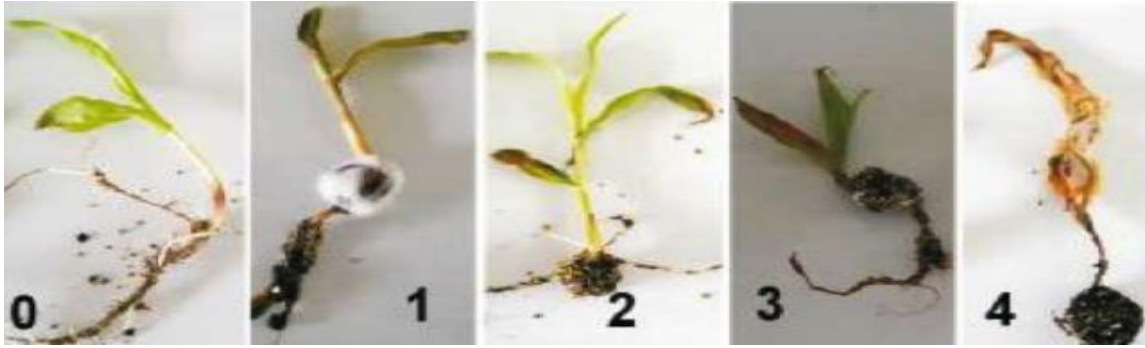


Figura 9: Escala del daño causado por *Fusarium* spp., en plántulas de variedades criollas de maíz a los 21 días de la inoculación del hongo (Figuroa-Rivera et al., 2010).

### Roya

La roya (chahuixtle) se manifiesta principalmente en las hojas, aunque puede afectar el tallo y la envoltura de la mazorca. Se puede en forma de pústulas circulares o elongadas de color pardo o amarillentas, esparcidas sobre las hojas, cuando el hongo espórtula, las pústulas se tornan de color café, rojizas o casi negras. En las siembras realizadas a partir del mes de febrero, el incremento de temperatura, acompañado de nieblas, favorecen el proceso de las epidemias de royas, con reducciones en la producción, hasta el 15% (INIFAP, 2003) (Figura 10).



Figura 10: Síntomas de *Puccinia sorghi* (Dpto. Parasitología, UAAAN, 2014).

## **Enfermedad por *Fusarium***

### **Nombre Científico**

*Fusarium spp.* (EPPO, 2020).

### **Clasificación Taxonómica**

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium spp.* (EPPO, 2020)

### **Nombres Comunes**

- Podredumbre de raíces.
- Pudrición por fusarium.
- Marchitez por fusarium.

(CABI, 2020; Seminis, 2020).

### **Estatus Fitosanitario**

De acuerdo con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias No. 8 “Determinación de la situación de una plaga en un área” (CIPF, 2017), *Fusarium spp.* Se encuentra presente en México.

### **Distribución Mundial**

El género *Fusarium* presenta distribución cosmopolita y es endémico de zonas maiceras de todo el mundo (Mendoza *et al.*, 2003).

### **Importancia Económica**

Las especies de fusarium se encuentran entre los patógenos de plantas más comunes y extendidos en el mundo y son de gran importancia económica (Leslie y Summerell, 2006). Muchas especies de plantas se ven afectadas con al menos

una enfermedad ocasionada por fusarium (Nelson *et al.*, 1981; Leslie y Summerell, 2006). La American Phytopathological Society informo que 81 de 101 plantas económicamente importantes tienen al menos una enfermedad por fusarium ([www.apsnet.or / online / common / search.asp](http://www.apsnet.or / online / common / search.asp)). En maíz, *Fusarium* ataca numerosas plantas y cereales que son importantes para la nutrición humana y animal. Infecta específicamente ciertas partes de ellos, como granos, plántulas, mazorcas, raíces o tallos, además, causa diversas enfermedades, provocando la reducción del rendimiento comercial y disminuyendo la calidad del producto (Montiel – González *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2007; Lamprecht *et al.*, 2011).

### **Características Morfológicas**

A nivel laboratorio, *Fusarium spp.* Presenta características microscópicas propias de la especie. La fiálide es generalmente fina, en forma de botella; simple o ramificada; cortas o largas; monofialídica (que emergen esporas de un poro de la fiálide) o polifialídica (de varios poros). Los macroconidios presentan forma de medialuna, hialinos y septados. Los microconidios, son ausentes en algunas especies, poseen varias formas (fusiformes, ovals, clavadas, entre otras), agrupaciones (estructuras mucoides llamadas “falsas cabezas”) en cadenas largas o cortas. De igual forma, pueden observarse las clamidosporas características con doble pared gruesa, lisa o rugosa; de manera aislada, en pareja o en grupo (Tapia y Amaro, 2014).

En campo, *Fusarium.* se puede identificar porque forma lesiones hundidas de color negro o marrón en la base de los tallos, además, pueden presentarse manchas rojizas en los pecioloos cercanos a la copa de la planta y, a veces, masas de micelios rosadas o blancas que se crecen en la base de los esquejes o en la copa de una planta (Buechel, 2018).

### **Hospedantes**

El género fusarium tiene distribución mundial, varias de sus especies son patógenas e infectan a una amplia gama de cultivos entre los más importantes

se encuentra el maíz (*Zea mays L.*) trigo (*Triticum spp.*), avena (*Avena sativa L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*), entre otros. (Santos – Gerardo *et al.*, 2017).

## **Biología**

*Fusarium* pertenece a un género cosmopolita de hongos imperfectos y es de interés agrícola porque numerosas especies causan enfermedades de una amplia gama de especies de plantas (Nelson *et al.*, 1981), están ampliamente distribuidas en el suelo y en partes de plantas subterráneas y aéreas y resto de plantas (Booth, 1971; Burgess, 1981; Gordon, 1959).

*Fusarium spp.* Produce clamidosporas, resistentes al secado y a las condiciones adversas, permiten que el hongo sobreviva periodos prolongados en el suelo, mientras que los conidios, se producen en un esporodio, que es una masa de conidióforos (tallos que contienen conidios) colocados firmemente juntos. Hay dos tipos de conidios: macroconidios (esporas grandes y multicelulares) y microconidios (esporas pequeñas y unicelulares). Los conidios generalmente no se transmiten por el aire, pero el hongo puede transmitirse por el aire en trozos de restos de plantas infectadas, en polvo o en salpicaduras de agua (Koike *et al.*, 2019).

## **Requerimientos para el Desarrollo**

Las enfermedades causadas por *Fusarium spp.* Pueden ser muy agresivas en climas húmedos; en las zonas donde la humedad es baja, la infección la causa casi de manera exclusiva el inóculo presente en residuos de cereales infectados que permanecen en el suelo. El patógeno invade directamente la base de los tallos, cerca o debajo de la superficie del suelo, o entra a la planta a través de las raíces (Cook, 2010). Las esporas de hongos luego germinan en el área afectada (herida), favorecida por la alta humedad y temperaturas (Mokobi, 2020).

La enfermedad por *Fusarium spp.* Es más severa cuando existe un desbalance de nitrógeno en relación con el potasio, sobre todo una disminución de la provisión de nitrógeno en etapas avanzadas del ciclo y un exceso de nitrógeno en relación al potasio en las primeras etapas (Herbario virtual, 2020). Además,

especies del género *Fusarium* producen una diversidad de tipos de micotoxinas, especialmente en granos, las más frecuente son zearalenona, fumonisina, moniliformina y tricotecenos (toxina T – 2 / HT – 2, deoxinivalenol, diacetoxiscirpenol, nivalenol). (Logrieco *et al.*, 2002; Desjardinsm 2006; Nesic *et al.*, 2014).

### **Ciclo de Vida**

El inoculo primario está presente en los rastrojos y en el suelo, indicándose la infección en etapas tempranas del cultivo. La podredumbre de las raíces comienza en etapas vegetativas, pero pasa desapercibida hasta que comienza la migración de fotosintatos de la base del tallo a las espigas, con su consecuente debilitamiento. Como la mayoría de los agentes del suelo causales son habitantes del suelo, la enfermedad se considera mocíclica, ya que, aunque puede haber infecciones secundarias, las perdidas dependen del inoculo presente en los lotes al momento de la siembra (Fauba, 2020) (Figura 11).

El hongo ingresa al xilema y crece hacia arriba, tapando el tejido y reduciendo el movimiento del agua. Se producen toxinas que hacen que el follaje se vuelva amarillo (Koike *et al.*, 2019) .

### **Síntomas**

*Fusarium* spp. en maíz puede causar daño en todas las etapas del cultivo, puede atacar las plantas en su follaje, raíces, y, en algunas ocasiones, en semillas de árboles de vivero, provoca una gran cantidad de síntomas, desde manchas foliares hasta marchites y pudrición de los esquejes, la copa, el bulbo y hasta de la raíz (Figueroa – Rivera *et al.*, 2010; Buechel, 2018).

En maíz, la pudrición de tallo y mazorca está asociado con *F. verticillioides* (Cao, 2012).

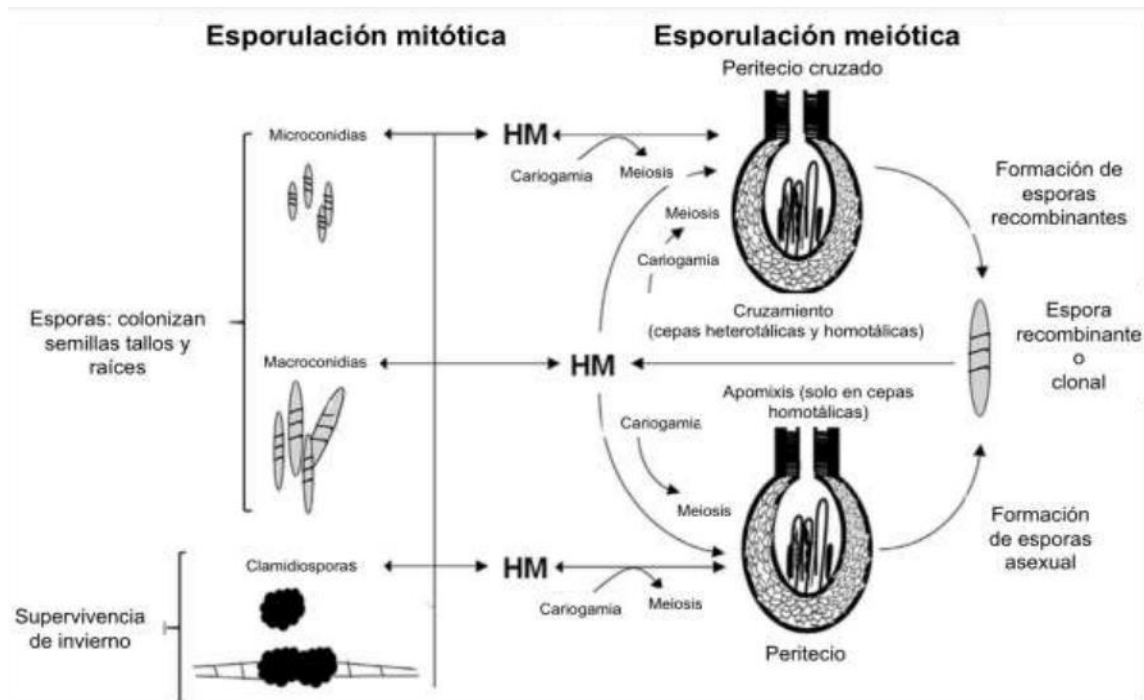


Figura 11: Ciclo de vida generalizado de *Fusarium* spp., Después de la plasmogamia y la cariogamia, el peritecio produce esporas meióticas recombinantes y clonales respectivamente. Estos forman micelio haploide (HM) que a su vez forman tres tipos de esporas mitóticas. Mientras que las conidias (micro o macroconidias) pueden colonizar al huésped, las clamidiosporas, además de la colonización directa del cultivo, pueden pasar el invierno y convertirse en peritecio para reinicia el ciclo cuando las condiciones son favorables (Dweba et al., 2016).

En plántula y planta adulta, ocasiona acame (doblez o inclinación que sufre el tallo de las plantas). Cuando la enfermedad es severa, las plantas pueden marchitarse y morir rápidamente, conforme progresa la enfermedad, todo el sistema de raíces se torna café con y con frecuencia se pudre la raíz primaria. Aparecen lesiones de color café chocolate al nivel del suelo (o cerca del nivel del suelo), las cuales se expanden al sistema vascular. Esta decoloración vascular café normalmente no se extiende por más de 25 cm sobre el nivel del suelo, lo cual ayuda a diferenciar esta enfermedad de la Marchitez por fusarium. Cuando la humedad es adecuada, se puede observar la esporulación del hongo en las lesiones expuestas (Seminis, 2020).

## **Aspectos Epidemiológicos**

Las temperaturas de suelo frías (20°C) favorecen el desarrollo de la enfermedad (Seminis, 2020). Los marchitamientos de *Fusarium* spp. Son beneficiados por las altas temperaturas del aire y del suelo (24°C a 30°C) y la enfermedad puede o no ocurrir a bajas temperaturas del suelo (por debajo de 20°C). Una planta infectada puede permanecer sin síntomas a temperaturas más bajas (Koike *et al.*, 2019).

## **Dispersión**

*Fusarium* spp. pasa el invierno durante muchos años en el suelo, en los residuos de cultivos de plantas infectadas por clamidosporas (células de micelio de paredes gruesas) o micelio. El hongo puede sobrevivir en el suelo, plantas infectadas y raíces del huésped, en comparación con los patógenos que propagan las partes aéreas de las plantas. Sin embargo, los procesos por los cuales *Fusarium* spp. infecta a sus huéspedes no se conocen muy bien (Haruhisa y Hyakumachi, 2004).

La infección primaria es transmitida por semillas o se produce como infección de las raíces en la punta de la raíz o en pequeñas heridas. El hongo se puede propagar mediante el uso de esquejes infectados u otras formas de propagación vegetativa tomada de plantas sanas pero infectadas (Koike *et al.*, 2019).

Por otra parte, los conidios del hongo se pueden propagar en la tierra, maquinaria agrícola y en agua de riego, además, se dispersan en la atmósfera y se transportan en el aire, colonizando plantas aéreas y causando enfermedades (Seminis, 2020; Buechel, 2018; Koike *et al.*, 2019; Mokobi, 2020). Las especies de *Fusarium* están ampliamente distribuidas y tienen mecanismos de dispersión eficientes, por lo que también crecen en una amplia gama de sustratos (Mokobi, 2020) (Figura 12).



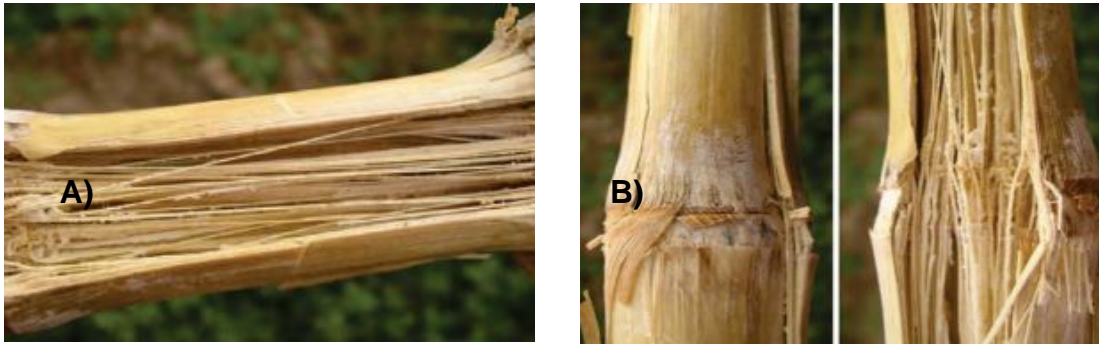


Figura 12: A) Medula de tallo desintegrada causada por Fusarium. B) Síntomas de pudrición del tallo por Fusarium externo e interno (Mark Jeschke, 2020).



Figura 13: Pudrición de tallo por Fusarium, tallo de maíz enfermo (izquierda) y tallo sano (derecha), (Eric Schmelz, country U.S. Department of Agriculture, 2015).

## V. PROBLEMÁTICA EN LA REGIÓN VALLE DEL MEZQUITAL

El Valle del Mezquital está ubicado al sureste del estado de Hidalgo, con una superficie aproximada de 4, 079 km<sup>2</sup>, su clima es templado semidesértico, con una precipitación media anual de 450-500 mm. Es una de las principales zonas de riego, destinándose 34,000 ha al cultivo de maíz, el cual presenta algunos problemas fitosanitarios entre los que destaca la pudrición de tallo, causada por *Fusarium* spp., debido a esto se han realizado estudios para identificar las especies de *Fusarium*. Dichos, estudios arrojan que la principal especie de *Fusarium* en la región del Valle del Mezquital es *Fusarium verticillioides*.

En la región del Valle del Mezquital se observó una alta incidencia de *Fusarium* (muy probablemente *F. verticillioides*) distribuido en las localidades siguientes: Ixmiquilpan, San Salvador, Actopan, Chilcuautla, Mixquiahuala y el Arenal. Es el principal patógeno del cultivo y limitante de la productividad por que ocasiona pérdidas cuantiosas que varían año con año. El clima caliente y húmedo característico del Valle del Mezquital, favorece la infección y la alta incidencia de este hongo en maíz y limita en gran medida la producción de maíz en la región, causando cuantiosas pérdidas económicas debido a sus efectos, daños sobre la planta y la calidad del producto.

## VI. PROPUESTAS DE MANEJO Y/O MEJORAS

### Medidas Fitosanitarias

Para las enfermedades causadas por agentes patógenos transmitidos por el suelo como los marchitamientos por *Fusarium* (que son principalmente de naturaleza monocíclica), los métodos deben estar dirigidos a excluir el patógeno, así como a reducir la cantidad y/o eficiencia del inóculo inicial. Las estrategias deberán incluir (Jiménez – Díaz, 2009; Jiménez – Díaz y Jimenez – Gasco, 2011):

- El uso de material de siembra libre de patógenos.
- Selección del sitio para evitar plantar en suelos de alto riesgo.
- Reducción o eliminación del inóculo de *Fusarium* del suelo.
- El uso de agentes de biocontrol para la protección del material de siembra sano de la infección por inóculo residente o entrante posterior a la siembra.
- Uso de cultivares resistentes independientemente del nivel de resistencia.
- Elección de prácticas de cultivo para evitar condiciones que favorecen la infección de la planta.

### Control Cultural

La incidencia de enfermedades está relacionada con la susceptibilidad intrínseca de algunos materiales de maíz, el manejo agronómico y las condiciones ambientales a las que se exponen las plantas durante su desarrollo son importantes de considerar, entre ellas se encuentran (Jiménez Díaz y Jimenez – Gasco, 2011; Koike *et al.*, 2019; Herbario virtual, 2020):

- Rotación de cultivos para reducir el potencial de la enfermedad en el rendimiento del cultivo, sin embargo, las capacidades de las clamidosporas permiten una larga supervivencia en el suelo.
- Cosecha anticipada y control de enfermedades foliares.
- Siembra perpendicular a los vientos predominantes, para facilitar la recolección de plantas volcadas.

- Plantar semillas certificadas (de alta calidad, usar solo semillas sanas y vigorosas, o mediante el tratamiento de semillas (químico o biológico) y adaptadas para el área geográfica.
- Mantener un balance nutricional entre Nitrógeno / Potasio. La calificación de los suelos y el uso de fertilizantes nitrogenados han sido efectivos para el manejo de *Fusarium* spp.
- Mantener buen drenaje / manejo del riego.

### **Control Biológico**

El uso de hongos micoparasitarios como *Trichoderma harzianum* puede usarse como agente de biocontrol contra fusarium. El parásito ha demostrado tener un efecto antagónico contra *Fusarium* que causa pudrición de tallo, raíz y mazorca (Mokobi, 2020). Por otra parte, el uso del biofungicida comercial *Streptomyces griseoviridis* se puede usar tanto en plantas cultivadas en campo como en invernadero (Koike *et al.*, 2019).

### **Control Físico**

Solarización de suelo: Entre un proceso hidrotérmico que ocurre cuando el suelo húmedo está cubierto con láminas de polietileno o polivinilo de plástico transparente (25 a 50  $\mu$ m) durante un período de alta temperatura y radiación solar intensa. Las temperaturas máximas promedio del suelo solarizado fue 50.7°C a 5 cm y 40.8°C a 15 cm, mientras que las temperaturas máximas promedio del suelo no solarizado fueron 37.6°C y 32.4°C, respectivamente (Jiménez – Díaz y Jiménez – Gasco, 2011).

Inundación: Puede considerarse como un método de desinfección del suelo que perjudica a los patógenos transmitidos por el suelo mediante la reducción de O<sub>2</sub>, el aumento del CO<sub>2</sub> o una diversidad de interacciones microbianas que resultan en sustancias tóxicas para los patógenos en los procesos anaeróbicos (Bruchl, 1987). Las inundaciones pueden usarse como una parte cultural para el manejo de *Fusarium* solo en países donde hay grandes recursos de agua disponibles y

la tierra nivelada es adecuada para la construcción de retención de agua (Jiménez Díaz y Jiménez – Gasco, 2011).

Saneamiento: Este método de control de enfermedades incluye prácticas que eliminan y destruyen (incinerar) fuentes de inóculo de plantas afectadas o escombros infestados. La infección sistémica de la planta huésped que caracteriza por el marchitamiento, dando lugar a la formación de abundantes clamidosporas que pueden incorporarse al suelo después de la cosecha de los cultivos afectados y contribuir a la acumulación de inóculo transmitido por el suelo (Jiménez – Díaz y Jiménez – Gasco, 2011).

### **Control Químico**

Las poblaciones de hongos pueden reducirse del suelo mediante fumigación química (Koike *et al.*, 2019; Mokobi, 2020):

Fumigación de suelo:

- Cloropicrina. No debe utilizarse en suelos pesados en los que se vayan a cultivar claveles o gladiolas, o en viveros de cítricos. Debe de estar retenido en el suelo de 48 a 96 horas.

Sin embargo, la eficiencia de la fumigación del suelo se ve limitada por la supervivencia de los patógenos en las capas del suelo por debajo de la profundidad de la fumigación efectiva, o por la reintroducción de ellos a través de material de siembra infectado o por conidios transportados en el aire o agua de riego (Katan *et al.*, 1997).

Fungicida del suelo:

- Tiofanato – metil. Aplicar como un empapado en la siembra.
- Prodigione. Aplicar como un empapado en la siembra.

## Bioinsumos

Caldo sulfocálcico: Es un producto mineral de uso agrícola. Sirve para la prevención y el control de algunas plagas y/o enfermedades; además de ayudar a superar las deficiencias nutricionales de calcio y azufre en los cultivos, aporta nutrientes para el crecimiento, floración y fructificación de las plantas.

Se compone de tres elementos:

- Azufre
- Cal viva (óxido de calcio)
- Agua natural no clorada

Funciones: El caldo sulfocálcico puede utilizarse como insecticida, fungicida y principalmente como acaricida; muy útil para controlar trips, ácaros, tizón negro, tizón amarillo, polillas nocturnas, hongos como mildiu, cenicienta, botrytis, entre otros.

Aporta nutrientes esenciales para fomentar el crecimiento vegetal y radicular, la floración y fructificación de los cultivos.

El azufre, tiene la capacidad para tratar enfermedades fungosas en los cultivos como: mildiu, oidio, fusarium, roya, entre otras, además de controlar insectos plaga como: ácaros, trips, cochinillas, brocas del café, gusano cogollero, gusano soldado, gusano medidor, etc.

La cal viva (óxido de calcio) posee una alta reactividad, lo que le permite incorporarse rápidamente al suelo, realizando su trabajo principal de neutralización. Por ser altamente alcalina, evita la proliferación de bacterias no deseadas en el suelo. Al neutralizar el suelo, el intercambio de nutrientes es más eficiente.

Cuadro 1. Fungicidas empleados para el tratamiento de semillas contra *Fusarium spp.*

<b>Ingrediente activo g/L</b>	<b>Modo de acción</b>	<b>Dosis registro/Qm</b>	<b>Eficacia</b>	<b>Registro COFEPRIS</b>
<b>Difenoconazol-30</b>	Contacto	100-200 cc	Aceptable (60-79%)	Si
<b>Mancozeb-430</b>	Contacto	200-300 cc	Aceptable (60-79%)	Si
<b>Maneb-400</b>	Contacto	250-350 cc	Aceptable (60-79%)	Si
<b>Tebuconazol-25</b>	Sistémico	120-150 cc	Regular (40-59%)	Si
<b>Triticonazol-25</b>	Sistémico	100-200 cc	Regular (40-59%)	No
<b>Fludioxonil-25</b>	Contacto	80 cc	Bueno (80-89%)	Si
<b>Carboxina + tiram 200+200</b>	Sistémico-Contacto	250-450 cc	Bueno (80-89%)	No
<b>Flutriafol + maneb 25+400</b>	Sistémico-Contacto	175-250 cc	Bueno (80-89%)	Si
<b>Flutriafol-25</b>	Sistémico	150-250 cc	Aceptable (60-79%)	Si

Fuente: Zúñiga *et al.*, 2010.

Cuadro 2. Fungicidas empleados para el tratamiento de semillas contra *Fusarium spp.*

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Dosis (por 455 g de semilla)</b>	<b>Registro COFEPRIS</b>
<b>Metalaxyl</b>	44.4-59.1 mL	No
<b>Mefenoxam</b>	1.2-2.5 mL	No
<b>Captan</b>	44.4-118.3 mL	Si
<b>Triticonazol</b>	91.7 mL	Si
<b>Triticonazol + Thiram</b>	162.7 mL	Si
<b>Mancozeb</b>	59.1 mL	Si
<b>Fludioxonil</b>	2.4-4.7 mL	Si
<b>Azoxystrobin</b>	4.5-11.3 mL	Si
<b>Tiabendazol</b>	88.8-118.3 mL	Si
<b>Carboxin</b>	88.8-118.3 mL	Si

Fuente: Adesemoye *et al.*, 2015.

**Nota:** Al elegir un fungicida, tener en cuenta las propiedades generales de ingrediente activo, así como la información relacionada con el impacto ambiental.



## VII. RECOMENDACIONES

Para reconocer el grado de inoculo de *Fusarium* spp. Es necesario realizar un diagnóstico fitosanitario del mismo, además de un análisis de fertilidad, lo que marcara la pauta para implementar medidas de manejo desde el inicio del cultivo.

### **Análisis Fitosanitario**

El diagnostico fitosanitario es la identificación en laboratorio de los agentes causales (Hongos, bacterias, nematodos, virus, malezas, entomología y acarología) que podrían ocasionar problemas fitosanitarios en raíces, hojas, tallos, flores, frutos y semillas en plantas de interés comercial.

El diagnostico fitosanitario es la base del manejo integrado de plagas y enfermedades, permite implementar medidas oportunas para su control, evitando con ello una disminución en el rendimiento o calidad de los cultivos, contaminación del suelo, perdidas en postcosecha, incrementos en el costo de producción y manejo, así como, predisposición a otras enfermedades.

### **Análisis de Suelos y Nutrición**

El análisis de suelos y nutrición es una herramienta que nos permite avaluar el estado físico y nutrimental de diferentes matrices, tales como; suelo, planta, agua, solución nutritiva, composta, sustrato, cal agrícola y fertilizante. Este análisis incluye la determinación de los nutrimentos que contiene cada matriz y que pueden aprovechar los cultivos, así como algunas propiedades físicas que participan en el óptimo desarrollo de la planta para lograr altos rendimientos.

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas del suelo permiten definir un adecuado plan de fertilización del cultivo establecido, ya que los requerimientos nutrimentales son específicos para cada especie. Aunado a esto, los suelos tienen un contenido nutrimental en función de su origen o manejo actual, por lo que es necesario conocer el estatus de cada uno de ellos para definir las dosis de nutrimentos que requiere el cultivo en cada situación.

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los hongos del género *Fusarium*, son considerados principalmente como hongos de campo (Sumalan *et al.*, 2013), ya que causan un sinnúmero de enfermedades en cultivos. Sus daños desencadenan en el hospedante una serie de afecciones generalmente de carácter irreversible, originando pérdidas económicas considerables (García *et al.*, 2007).

El control de los organismos fitopatógenos del suelo es de los más difíciles de lograr; para ello se han desarrollado prácticas culturales, control biológico y control químico, siendo este último el más utilizado por ser económico y eficaz, en comparación con otras medidas (Rubio *et al.*, 2008). Las enfermedades de las plantas causadas por este tipo de hongos se hallan entre factores más importantes que aumentan las pérdidas y afectan los rendimientos de los cultivos. El tratamiento de enfermedades causadas por *Fusarium* spp. Y otros hongos se utilizan funguicidas sistémicos como los benzimidazoles, en este grupo se incluyen el nomil, carbendazim, tiabendazol, y tiofanato (Agrios, 2005).

En general no existe algún método de control adecuado que permita controlar eficientemente las enfermedades del maíz. Algunas medidas preventivas son; el manejo adecuado de los suelos, para evitar la compactación de estos; la rotación de cultivos no susceptibles; el adecuado drenaje del suelo, el uso de semillas sanas o tratadas con funguicidas; una fertilización nitrogenada adecuada, entre otras. De igual manera, se ha intentado con éxito el control biológico de las pudriciones de raíz y tallos ocasionados por *Fusarium* mediante la incorporación de materiales orgánicos como restos de cosecha o compostas. Estas prácticas tienen como fin favorecer el desarrollo de varios hongos y bacterias antagónicas a dicho hongo. Otra opción es el tratamiento a la semilla con esporas de hongos como *Trichoderma*, hongos micorrícicos o con bacterias antagónicas. Sin embargo, hasta ahora ninguno de estos métodos de control biológico se utiliza en la práctica (Agrios, 2006).

## **IX. CONCLUSIÓN**

En el Valle del Mezquital región del estado de Hidalgo, donde está la incidencia de la problemática ya antes mencionada, ya que en ocasiones esta misma puede reducir en un 30% la producción y de la mano la calidad del producto. Dado esta problemática se puede reducir la perdida al implementar las diversas prácticas agrícolas enfocadas en disminuir la presencia de enfermedades y así tener un protocolo establecido para el desarrollo del cultivo. De tal manera que se logra proponer y recomendar algunas estrategias de manejo desde el inicio del cultivo las cuales se consideran que si son aplicadas se lograra obtener un desarrollo óptimo del cultivo.

La información es conocimiento, el conocimiento es solución, la solución es producción, la producción es ingreso económico, y un mayor ingreso es mayor es mayor garantía. Los conocimientos integrados de las y los campesinos en conjunto han conseguido que las diversas prácticas y procesos sean efectivos. Con ello, es posible hacer frente a la problemática ya que es uno de los aspectos más importantes para la producción de alimentos sanos, nutritivos e inocuos.

El campo mexicano tiene potencial y capital humano particularmente en productores de pequeña y mediana escala para elevar producción y productividad.

## X. LITERATURA CITADA

Adesemoye TO, Wegulo SN, Klein RN. 2015. Common Root Rot and *Fusarium* Foot Root Wheat. University of Nebraska. Consultado septiembre 2023. En línea: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1198.pdf>

Agrios, G. N., 2005. Plant Pathology. Fifth Edition. Ed. Elsevier Academic Press San Diego, California. U. S. A. p 632, 992.

Agronomía para el mundo. 2013. Gusano de Alambre (*Agriotes* spp). Consultado agosto de 2023. En línea: <https://agronomoglobal.blogspot.com/2013/06/gusano-de-alambre-agriotes-spp.html>.

Babadoost M. 2018. *Fusarium*: Historical and Continued Importance. Consultado agosto de 2023. En línea: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen74147>

Bautista-Martínez, N. 2006. Insectos plaga. Una guía ilustrada para su identificación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 113 p.

Bohnenblust, E. y Tooker, J. 2012. Fall armyworm as a pest of field corn. *Spodoptera frugiperda* (Smith). Entomological notes. Department of entomology. Pennsylvania State University.

Bonilla, N. 2009. Cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Manual de recomendaciones cultivo de maíz. Instituto nacional de innovación y transferencia en tecnología agropecuaria (INTA). 79 p.

Buechel T. 2018. Perfil de las enfermedades radiculares: *Fusarium*. Consultado agosto de 2023. En línea: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/perfil-de-las-enfermedades-radiculares-fusarium/>

Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L., & López-Herrera, A. D. J. 2019. Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 2019, vol. 42, no 4, p. 357-366.

CABI. 2020. *Fusarium*. Consultado agosto de 2023. En línea: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/24607>

Cao A. 2013. Prevención de la contaminación con fumonisinas en el maíz. Universidad de Vigo-Misión Biología de Galicia. Consultado septiembre de 2023.

En línea:  
[https://digital.csic.es/bitstream/10261/168778/3/Cao\\_Prevencion\\_contaminacion...pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/168778/3/Cao_Prevencion_contaminacion...pdf)

Ciampitti, I.A., & García, F.O. 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte A*, 4(18), 22-28.

CIPF. 2017. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 8 Determinación de la situación de una plaga en un área. Convención Internacional de protección Fitosanitaria. Consultado septiembre de 2023. En línea:  
[https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2017/06/ISPM\\_08\\_1998\\_Es\\_2017-004-22\\_PostCPM12\\_InkAm.pdf](https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2017/06/ISPM_08_1998_Es_2017-004-22_PostCPM12_InkAm.pdf)

Cisneros, L.ME. 2004. *Fusarium verticillioides* (Sacc) Nirenberg en híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Texcoco, Edo de México. 159 p.

Cook R.J. 2010. Fusarium root, crown and foot roost and associated seedling diseases. P. 37-39. In Bockus, W.W., R.L. Bowden, R.M. Hunger, W.L. Morrill, T.D. Murray, and R.W. Smiley (eds.). *Compendium of Wheat Diseases and Pests*. 3rd. Ed. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.

De la Torre-Hernández, M. E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisinas-síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 17(1), 77-91.

De León PO. 2017. Dinámica de población de diabroticas (Coleoptera: *Chrysomelidae*) en maíz (*Zea mays* L.) utilizando trampas amarillas pegajosas en la comarca Lagunera de Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"-UL. División de Carreras Agronómicas. Departamento de Parasitología. Torreón, Coahuila, México. pp. 51.

Deras, H. 2009. Guía técnica. El cultivo de maíz como centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal (CENTA).

Dweba C, Figlan S, Shimels H, Motaung T, Sydenham S, Mwadzingeni L, Tsilo T. 2016. Fusarium head blight of wheat: Pathogenesis and control strategies. *Crop Protection*. 91.114-122.10.1016/j.cropro.2016.10.002.

EPPO. 2020. Fusarium. Consultado septiembre de 2023. En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG>

Fauba (Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires). 2020. Vuelco del Maíz (Podredumbres de raíces y base del tallo).

Fernández Suarez, R., Morales Chávez, L. A., & Gálvez Mariscal, A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 275-283.

Fertilab. 2023. Laboratorio de Análisis Agrícolas-Suelo, Agua, Planta. Consultado agosto 2023. En línea: <https://www.fertilab.com.mx/>

Figueroa-Rivera, M. G., Rodríguez-Guerra, R., Guerrero-Aguilar, B. Z., González-Chavira, M. M., Pons-Hernández, J. L., Jiménez-Bremont, J. F., ... & Mendoza-Elos, M. 2010. Caracterización de especies de Fusarium asociadas a la pudrición de raíz de maíz en Guanajuato, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 28(2), 124-134.

García-Salazar, E. M. 2019. El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(54).

Gobierno de Aragón. 2001. Oruga defoliadora de gramíneas. Consultado septiembre 2023. En línea: [https://www.aragon.es/documents/20127/674325/HOJAS\\_INFORMATIVAS\\_ORUGA\\_DEFOLIADORA\\_GRAMINEAS\\_2001.pdf/2852b9f1-3425-6406-d8f2-05d028db](https://www.aragon.es/documents/20127/674325/HOJAS_INFORMATIVAS_ORUGA_DEFOLIADORA_GRAMINEAS_2001.pdf/2852b9f1-3425-6406-d8f2-05d028db)

Gómez R. 2020. Informe de resultados: Evaluación de híbridos comerciales de maíz, en El Llano, Mpio. de Tula de Allende, Hgo. Ciclo agrícola P.V. 2020.

Gómez R. 2021. Informe de resultados: Evaluación de híbridos comerciales de maíz UPFIM Mpio. de Francisco I. Madero, Hgo. Ciclo P.V. 2021.

Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. 2020. Evaluación del desarrollo y rendimientos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. Siembra, 7(2), 47-56.

Herbario virtual. 2020. Vuelco de maíz (Podredumbre de raíces y base del tallo). Consultado septiembre de 2023. En línea: [http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page\\_id=175](http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=175)

Hernández, D.S., Reyes, L.A., Garcia, O.G.J., Mayek, P.N., Reyes, M.C.A. 2007. Incidencia de hongos parcialmente toxígenos de maíz (*Zea mays* L.) Almacenado en el Norte de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25: 127-133.

Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A., & Osorio-Hernández, E. 2019. Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(4), 803-813.

INIAP. 2011. Manejo Integrado del Cultivo de Maíz de Altura. Módulos de capacitación para Capacitadores. Módulo IV. Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Quito-Ecuador. 52 pág.

INIFAP. 2003. Guía para la asistencia técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle del Fuerte. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agenda Técnica. 2da. Edición. Juan José Ríos, Sinaloa. 97 p.

INIFAP. 2017. IDENTIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Fusarium* spp., EN MAÍZ DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO. Consultado agosto de

2023. En línea:  
<http://inifapcirne.gob.mx/Congreso/RESUMENES%20EN%20PDF/170.PDF>

Jiménez Díaz RM. 2009. El Nuevo Sistema Agroalimentario Global. Mediterráneo Económico 15, Fundación CAJAMAR, El ejido (Almería), 163.

Jiménez-Díaz R, Jimenez-Gasco MM. 2011. Integrated Management of Fusarium Wilt Diseases. Consultado septiembre de 2023. En línea:  
<https://www.researchgate.net/publication/249009577>

Kato, Y.T.; Mapes, S.C.; Mera, O.L.; Serratos, H.J. y Bye, B.R. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. UNAM-CANABIO editores. Distrito Federal, México. 119 p.

Koike ST, Wilen CA, Raabe RD, McCain AH, Grebus ME. 2019. Fusarium Wilt. Consultado septiembre 2023. En línea:  
<http://ipm.ucanr.edu/PMG/r280100811.html>

Lamprecht SC, Tewoldemedhin YT, Botha WJ, Calitz FJ. 2011. *Fusarium graminearum* species complex associated with maize crowns and roots in the KwaZulu-Natal Province of South Africa. Plant Disease.

Leslie, J.F., y Summerell, B.A. 2006. The Fusarium Laboratory Manual. Blacwell. Iowa USA. 388 p. Massa, L.D.B. 1991.

Martínez SJM, Espinosa PN. 2014. Sugerencias para el control del “Complejo Mancha de Asfalto” del maíz en la Frailesca, Chiapas. Folleto para productos No. 13. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. México. 15 p.

Mendoza EM, López BAO, Oyervides GA, Martínez ZG, De León C, Moreno ME. 2003. Herencia genética y citoplasmática e la resistencia a la pudrición de la mazorca de maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. Revista Mexicana de Fitopatología 21:267-271.

Mera-Ovado L.M, C Mapes-Sánchez. 2009. El maíz. Aspectos biológicos. In: Origen y Diversificación del Maíz: Una revisión Analítica. T.A. Kato, C Mapes, L. M. Mera, J.A Serratos, R. A. Bye (eds). Universidad Nacional Autónoma de



México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México, pp: 19-32.

Moctezuma-López, G., Espinosa-García, J.A., Cuevas-Reyes, V., Jolalpa-Barrera, J. L., Romero-Santillán, F., Vélez-Izquierdo, A., & Bustos Contreras, D. E. 2010. Innovación tecnológica de la cadena agroalimentaria de maíz para mejorar su competitividad: estudio de caso en el estado de Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2010, vol. 1, no 1, p. 101-110.

Mokobi F. 2020. *Fusarium* spp. Consultado septiembre 2023. En línea: <https://microbenotes.com/fusarium-spp/>

Morales-Rodríguez, I., Yañez-Morales, M.J., Silva-Rojas, H.V., García-Santos G., Guzmán-Peña, D.A. 2007. Biodiversity of fusarium species in México associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. *Mycopathologia* 163: 30-31.

Nesic K. Ivanovic S, Nesic V. 2014. Fusarial toxins: secondary metabolites of *Fusarium* fungi. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2014;228:101-120.

Ortas L. 2008. El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales. Comercial de servicios. AGRIGAN, S.A. Boletín n°7.

Ospina, G. 2015. Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas. Medellín-Colombia.

Pérez-García, O. 2023. Diversidad biocultural ligada a maíces nativos de estado de Puebla, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2023, vol. 10, no 2.

Reséndiz, R, Z.; López, S.J.A.; Osorio, H. E.; Estrada D.B., Pecina, M.J.A; Mendoza, C. M.C y Reyes, M.C.A. 2016. Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 20 (59): 3-14.

SAGARPA. 2005. Campaña fitosanitaria del maíz y sorgo en el estado de Guanajuato. Ed. Consejo estatal de Sanidad Vegetal del estado de Guanajuato. 20 p.

Sanchez G., J.J., C.W. Stuber and M.M. Goodman 2000 a. Isozymatic diversity of the races of maize of the Americas. *Maydica* 45: 185-203.

Santos-Gerardo LM, Vega-Portillo HE, Villaseñor-Mir HE, Tlapal-Bolaños B, Vargas-Hernández M, Camacho-Tapia M, Tovar-Pedraza JM. 2017. Caracterización de especies de fusarium causantes de pudrición de raíz del trigo en el bajío, México. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*. 33(2): 142-151.

Seminis, 2020. Podredumbre de cuello y raíces por *Fusarium*. Bayer Cross Desing and Seminis. Consultado septiembre de 2023. En línea: <https://wwwseminis-las.com/recursos/guias-de-enfermedades/tomates/fusarium-crown-root-rot>

SENASICA. 2021. Fichas técnicas de plagas del cultivo de maíz. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Consultado agosto de 2023. En línea: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/fichas-tecnicas-de-plagas-del-cultivo-de-maiz?state=published>

Serna-Saldívar S O, C A Amaya-Guerra. 2008. El papel de la tortilla nixtamalizada en la nutrición y en la alimentación. In: Nixtamalización del maíz a la tortilla. Aspectos nutricionales y toxicológicos. M E Rodríguez-García, S O Serna-Saldívar, F Sánchez-Sinencio (eds). Universidad Autónoma de Querétaro, México, pp: 105-151.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Atlas Agroalimentario. Consultado septiembre de 2023. En línea: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2007. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Secretaria de Agricultura,

Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 208 p.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera. 2011. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Consultado septiembre 2023. En línea: <http://www.siap.gob.mx/index.php?option=comwrapper&viw=wrapper&Itemid=215>

Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). 2008. Anuarios estadísticos 2001-2005. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México.

Tapia C, Amaro J. 2014. Género *Fusarium*. Revista chilena de infectología, 31(1), 85-86.

Torren, FA. 2008. Rodríguez-Montessoro, R; De León, C. In El cultivo del maíz; temas selectos. 1ra. Ed. Mundi-Prensa. 126 p.

Turincio TR. 2007. Evaluación de Insecticidas para el Control de Plagas del Suelo en Maíz. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Jalisco, México. 55 p.

Turret A, Serratos JA. 2004. Context and Backfround on Maize and its Wild Relatives in Mexico. In: Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico. CCA, Montreal Canadá. 55 pp.

Valdez-Torres, J.B.; Soto-Landeros, F.; Osuna-Encino, T. y Báez-Sañudo, A.M. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.). Agrociencia. 46(2): 399-410.

Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta agronómica*, 64(2), 194-205.

Zúñiga J, Lezaun JA, Esparza M, Garnica I. 2010. Enfermedades transmitidas por semillas en trigos y cebadas.