

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Consumo y almacenamiento de maíces (*Zea mays* L.) de subsistencia y comercial
y su relación con *Fusarium* spp.

Por:

BELEM BRAVO MORALES

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Consumo y almacenamiento de maíces (*Zea mays* L.) de subsistencia y comercial
y su relación con *Fusarium* spp.

Por:

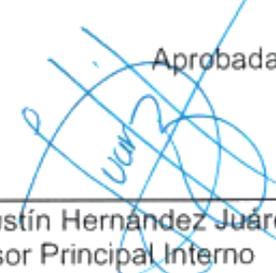
BELEM BRAVO MORALES

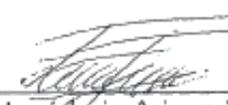
TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Agustín Hernández Juárez
Asesor Principal Interno


Dr. José Luis Arispe Vázquez
Asesor Principal Externo


Dr. Epifanio Castro del Ángel
Coasesor


Dr. Juan Mayo Hernández
Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2022

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 fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al 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

belem

Belem Bravo Morales

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, **a Dios** por darme salud y voluntad para continuar con mis estudios, por acompañarme en mis alegrías y sobre todo por darme la fortaleza para seguir adelante en mis malos momentos.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme las puertas, acogerme y brindarme cada uno de sus espacios y servicios; los cuales fueron elementales durante mi formación académica. ¡**Gracias, mi Alma Terra Mater!**

A mis Asesores:

Dr. Agustín Hernández Juárez por la confianza y el apoyo en la realización de esta investigación.

Dr. José Luis Arispe Vázquez por el tiempo y apoyo en la revisión de este trabajo.

Dr. Juan Mayo Hernández por el acompañamiento, la confianza, los conocimientos que me transmitió y la grata amistad que me brindó.

A mi hermana: Lucero por qué es y siempre será mi razón de salir adelante.

A mi cuñada porque ya eres una hermana más, gracias por las atenciones que le brindas a la familia.

A mi amiga Lupita, por la amistad tan transparente y sólida que me brindo; por su cariño, confianza y paciencia, gracias por caminar conmigo en esta etapa.

A mis amigos de la universidad: Noemi; gracias por tu amistad, tu compañía y por los momentos felices que tanto atesoró; Mayte gracias por tu cariño y complicidad; Dani (güero) mil gracias por tu amistad, por acompañarme en mis momentos tristes y encontrar la manera de subirme el ánimo, y a Fernando; muchas gracias por escucharme y apoyarme siempre.

A mis mejores amigos: Berna por estar desde el día 1 en esta etapa, gracias por ser parte de mis sueños; por las cosas positivas que has aportado en mi vida, gracias por confiar en mí, por tus consejos y por tu cariño; a mi amiga Azul, por demostrar lealtad en todos estos años de amistad, por los momentos inolvidables que llenan mi alma; gracias por siempre estar.

A mis amigos de la empresa Ozblu: Adán; gracias por los buenos momentos vividos dentro y fuera de la empresa, por aprender y crecer juntos en lo laboral gracias también a Thalía, Carmen y Luis; por su amistad y gracias al destino por hacernos coincidir en un momento tan importante en nuestra vida profesional, a todos los quiero y admiro.

DEDICATORIA

A mis padres: Por la valentía que mostraron al dejarnos salir de casa en busca de nuestros sueños.

Profesor Juan Bravo Carrera

Gracias por los consejos, el amor y la confianza que en mi depositaste, gracias por siempre encontrar la manera de salir adelante y nunca desistir. ¡Te amo papa!

Isabel Morales

Gracias por ser una madre incondicional, valiente, firme y segura; gracias por el amor, la protección y el apoyo que siempre me has brindado. ¡Te amo infinitamente!

A mi hermana Xóchitl:

Gracias por apoyarme hasta donde tu alcance te lo ha permitido, gracias por tu protección, por la confianza y por el amor que siempre me has brindado.

A mi hermano Yhair (QEPD)

Siempre te admire por ser una persona dedicada y comprometida en todo lo que hacías; por la sencillez y el carisma que te caracterizaba, puedo decir que logre lo que un día tu hubieses querido realizar, este logro te lo dedico con mucho amor, sé que desde el cielo me acompañas y celebras cada logro conmigo, Te amo hermano.

A mis abuelos:

Perfecto Morales (QEPD), Catarina Martínez (QEPD) por su amor y sus consejos de vida y a mi abuela Senorina Carrera por el amor que siempre me ha brindado.

A mis sobrinos, en especial a: Heyder Ronny, Derick Jetzer, Juan Diego

Gracias por ser el alma de la familia y por llegar a alegrarme más la vida. Quizá ahora no entiendan mucho el impacto que han provocado en mi vida, pero ustedes significan el amor más real e inocente que pueda existir.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Declaración de no plagio.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
Justificación.....	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Situación Actual de la Producción de Maíz en el Mundo	4
Producción Nacional y Estatal de Maíz en México.....	4
Razas de Maíz en el Mundo.....	5
Principales Hongos Perjudiciales en Granos de Maíz.....	5
Género <i>Fusarium</i>	5
Generalidades e Importancia.....	5
Clasificación taxonómica (EPPO, 2020)	6
Biología.....	7
Distribución geográfica	7
Micotoxinas de importancia	7

Factores que intervienen en la formación de micotoxinas	8
Toxinas por <i>Fusarium</i>	8
Pudrición de Mazorcas de Maíz por <i>Fusarium</i> spp.	9
Pudriciones del Tallo por <i>Fusarium</i> spp.	9
Ciclo de Vida de <i>F. verticillioides</i>	10
Principales rutas de infección	11
Diseminación	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Estudio Socioeconómico y Cultural del Cultivo de Maíz	13
Material genético	13
Colecta de Material Genético	14
Ubicación del Procesamiento de Muestras	15
Aislamiento de Fitopatógenos de Tallo y Mazorca de maíz	15
Purificación de los Patógenos Mediante Cultivos Monoconidiales.....	17
Identificación Morfológica y Morfométrica a Nivel de Género y Especie.....	17
Identificación Molecular.....	18
Extracción de ADN.....	18
Amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (PCR)	18
Secuenciación	19
Análisis de Datos	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
Identificación morfológica y morfométrica	27
CONCLUSION	32
LITERATURA CITADA.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Encuesta realizada a familias en localidades de los estados de Puebla y Morelos	13
Cuadro 2. Genotipos de maíz criollos e híbridos utilizados en esta investigación	14
Cuadro 3. Incidencia de especies de <i>Fusarium</i> identificados en granos, así como la producción de maíz y periodos de almacenamiento en Puebla y Morelos.....	23
Cuadro 4. Incidencia de especies de <i>Fusarium</i> identificados en tallos, así como la producción de maíz y periodos de almacenamiento en Puebla y Morelos.....	23
Cuadro 5. Medias del consumo de maíz en los estados de Puebla y Morelos.....	25
Cuadro 6. Consumo de productos derivados del maíz, así como de carne y derivados del ganado en los estados de Puebla y Morelos.....	25
Cuadro 7. Producción de maíz en los estados de Puebla y Morelos.....	27
Cuadro 8. Medias de los análisis morfo-métricos por tipo de especie.....	30
Cuadro 9. Identificación molecular por tipo de especie de <i>Fusarium</i> y su porcentaje de identidad con otras especies en la base molecular de BLAST en NCBI.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida del hongo en semillas de maíz.	10
Figura 2. Rutas de entrada de <i>F. verticillioides</i> a la planta de maíz.	12
Figura 3. Localización de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.	14
Figura 4. Pigmentación exterior en tallos de maíz.....	15
Figura 5. Muestra de tallo rotulado y mazorca de maíz utilizadas para el aislamiento de <i>Fusarium</i> spp.	16
Figura 6. Vista superior de las colonias de especies de <i>Fusarium</i> purificadas y aisladas de maíz.	28
Figura 7. Estructuras particulares de cada especie de <i>Fusarium</i>	29
Figura 8. Marcadores moleculares de las especies de <i>Fusarium</i> identificadas....	31

RESUMEN

Una de las enfermedades de mayor importancia en México y en todos los países donde se cultiva el maíz, corresponde a la pudrición de la mazorca; la cual reduce el rendimiento del cultivo y afecta la calidad y cualidades fitosanitarias de las semillas. *Fusarium* Link (Nectriaceae) es el género más común que ocasiona pudrición de mazorca y tallo en el cultivo de maíz. Especies de *Fusarium* se aislaron de granos y cortes de tallo con pigmentaciones de color morado, café y marrón de diferentes genotipos de maíz; las cuales se identificaron morfo-molecularmente mediante claves taxonómicas, con el uso del software Dinocapture 2.0, así como por extracción de ADN mediante el método CTAB y amplificación de la región ITS1 e ITS4 por PCR. Se identificaron cuatro especies; *Fusarium equiseti*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium incarnatum* y *Fusarium napiforme* con una identidad de 98 a 100% en un rango que abarcó desde 690 a 800 pb. Los genotipos con mayor incidencia de *Fusarium* spp. fueron Pioneer 30F35 en San Miguel, Teotlalco, Puebla y el Criollo Blanco en Contla, Puebla, con 35.2 y 39.6% en granos y 44.44 y 26.7% en tallos por *F. verticillioides* y con menor incidencia los genotipos, Tiburón de Tetelilla, Morelos, con presencia de tres especies de *Fusarium* y con incidencia sólo en granos con 1.5, 3.7 y 29.2% por *F. incarnatum*, *F. verticillioides* y *F. napiforme* respectivamente, y el genotipo Pioneer P4028W de Tepalcingo, Morelos, con incidencia solo en granos con 2.2% por *F. verticillioides*, y de 13.7 a 28.9% en granos y tallos por *F. equiseti*. El maíz es el principal alimento en muchas localidades de México, sin embargo, debido al alto consumo de este y sus derivados, así como al alto consumo de carne de bovino alimentado con este maíz puede actuar como vía de ingesta de micotoxinas. Existe la necesidad de implementar medidas de calidad que garanticen la producción inocua de granos para el consumo animal y humano, y evitar posibles enfermedades por contaminación directa e indirecta.

Palabras clave: *Fusarium equiseti*, *Fusarium incarnatum*, *Fusarium napiforme*, *Fusarium verticillioides*, incidencia, pudrición de tallo y mazorca, severidad.

INTRODUCCIÓN

El cereal más ampliamente distribuido a nivel mundial es el maíz, este cultivo ocupa el tercer lugar en producción, seguido por el trigo y el arroz (SIACON, 2007). El grano de maíz es una fuente importante de carbohidratos y proteínas; sin embargo, existen factores que limitan el rendimiento y la calidad del maíz entre ellos hongos de importancia económica. Toda la planta puede ser aprovechada y los derivados de este cultivo incluyen alimento, forraje y materia prima para la industria (FAO, 1993).

El maíz en los ambientes tropicales es atacado por un gran número de patógenos que causan importantes daños económicos a su producción (FAO, 1993). En México ningún otro cultivo tiene tanta importancia como el maíz. El maíz grano representa 85% del volumen nacional de cereales y 2.8% de la producción mundial, ocupando el cuarto lugar (SAGARPA, 2013), por otro lado, las enfermedades fúngicas presentes en el cultivo de maíz afectan raíz, tallo y mazorca principalmente, pudrición del tallo y mazorca es ocasionada por *Gibberella/Fusarium* Link (Nectriaceae) (Levin *et al.*, 2003).

En *Fusarium* son importantes las fumonisinas, zearalenonas y los tricotecenos, en el género *Aspergillus* son comunes las aflatoxinas; mientras que en *Penicillium* se destaca la síntesis de la patulina, la citrina y la ocratoxina (Sharma, 2004). *Fusarium* puede ocasionar múltiples daños en toda la etapa vegetativa de la planta, 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; González *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2007), mientras que en plántula y planta adulta, debilita y pudre la raíz, ocasionando acame. En el maíz, la pudrición de tallo y mazorca está asociada con *F. verticillioides* (=moniliforme) Sheld y *F. graminearum* Schwabe (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 maíces resistentes a la pudrición de tallo y mazorca, los cuales darían gran ventaja para el manejo eficiente y económico de esta enfermedad (González *et al.*, 2007).

Los hongos fitopatógenos pueden causar graves pérdidas en términos económicos y producción, por lo tanto, el paso crucial en el manejo de enfermedades en condiciones naturales de campo es detectar adecuadamente el patógeno. Además, para la salud humana las micotoxinas han representado una amenaza latente, pues pueden actuar como un asesino silencioso ya que su consumo en dosis muy pequeñas no induce síntomas clínicos evidentes, pero con el tiempo puede traer graves consecuencias sobre la calidad de vida (Borja y Calvo, 2017). En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue conocer la importancia socioeconómica y cultural del consumo de maíces criollos y comerciales en municipios de los estados de Puebla y Morelos, así como la identificación morfo-molecular de especies del género *Fusarium* asociadas a los genotipos cultivados.

Justificación

El estudio de las micotoxinas de los cultivos en el mundo es importante económica y socialmente, y más para México por el cultivo de maíz, ya que es la principal fuente de alimento para la población, sin embargo, es afectado por especies del género *Fusarium*, de las cuales, algunas son productoras de micotoxinas que podrían afectar la salud de las personas al consumirlas directa o indirectamente.

Objetivo General

Conocer la importancia del consumo de maíz y su almacenamiento en sistemas de subsistencia y comercial, así como la identificación de los fitopatógenos asociados al maíz en los diferentes sistemas de producción.

Objetivos Específicos

- Identificar dos o más especies de *Fusarium* asociadas a las pudriciones de mazorca y tallo.
- Analizar el consumo y almacenamiento de maíz de sistemas de subsistencia y comercial.
- Identificar molecular, morfológica y morfométricamente los fitopatógenos asociados al maíz en sistemas de subsistencia y comercial.

Hipótesis

Se espera encontrar al menos dos especies toxigénicas del género *Fusarium* y un consumo de maíz igual o menor a la media nacional en México, así como una producción y almacenamiento de maíz en los estados de Puebla y Morelos igual o superior al 50% de los entrevistados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Situación Actual de la Producción de Maíz en el Mundo

El maíz *Zea mays* L. (Poaceae) es uno de los cereales que más se produce y consume a nivel mundial, la producción se centra en cuatro países: Estados Unidos, China, Brasil y Argentina, cubriendo un total de más de 2 tercios de la producción mundial. En 2019, la producción obtenida a nivel mundial fue de 1,148,487,291 t, con una superficie cosechada de 197,204,250 ha, con un rendimiento promedio mundial de 5.8 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2019).

Producción Nacional y Estatal de Maíz en México

México ocupa el 8° lugar en producción mundial de maíz, una tercera parte del territorio de siembra en el país está destinado al cultivo de maíz. En 2019, México tuvo una producción de 27,228,242 t a nivel mundial, con una superficie cosechada de 6,690,449 ha, con el rendimiento promedio nacional de 3.4 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2019). Sinaloa se posiciona como uno de los principales estados productores de maíz grano en México, en el ciclo 2020 la producción alcanzada por dicho estado fue de 6,298,369 t, representando el 23%, seguido de Jalisco con 3,943,009 t (14.4%) de la producción nacional, mientras que, en Morelos, se cultivaron 38,124.00 ha con un volumen de producción de 149,243 t, donde, Tepalcingo, Morelos, alcanzo un volumen de producción 18730 t de maíz grano; representando el 6.24% de rendimiento (SIAP, 2020).

El Estado de Puebla tiene tradición ancestral en el cultivo del maíz, al ser cuna de su domesticación, por resguardar especies nativas y por ser el quinto productor a nivel nacional con más de un millón de toneladas anuales (Osorio-García *et al.*, 2015).

Razas de Maíz en el Mundo

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson y Cutler, 1942).

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz (Goodman y McK, 1977), de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría para México (Anderson, 1946; Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández y Alanís, 1970; Ortega, 1986; Sánchez 1989; Sánchez *et al.*, 2000).

Principales Hongos Perjudiciales en Granos de Maíz

La pérdida en la producción de maíz para grano se asocia con su manipulación durante la cosecha en el campo, almacenaje, transporte y procesamiento para el consumo humano o animal (Padrón- Martínez *et al.*, 2013).

La contaminación fúngica en granos de maíz representa importantes pérdidas económicas a la producción agrícola, además del deterioro del valor nutritivo de los granos. Los hongos que comúnmente atacan al maíz tanto en campo como en almacén pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*; estos patógenos son productores potenciales de micotoxinas, las cuales pueden causar daños a la salud de quienes las ingieren (Hernández *et al.*, 2007; Montes *et al.*, 2009).

Género *Fusarium*

Generalidades e Importancia

Los hongos del género *Fusarium* son ascomicetos filamentosos, presentando un micelio bien desarrollado, septado y conidióforos característicos. Son considerados principalmente como hongos de campo (Sumalan *et al.*, 2013). De las más de 100 especies de *Fusarium* descritas, sólo 12 de ellas pueden considerarse patógenas

para el humano, entre ellas destacan *F. solani*, *F. oxysporum* y *F. verticillioides* (Tapia, 2014).

El género *Fusarium* esta mundialmente distribuido e infecta una alta gama de cultivos, incluyendo maíz; infecta específicamente granos, plántulas, mazorcas, raíces o tallos, además causa diversas enfermedades. Este patógeno es un problema agrícola muy importante reduciendo el rendimiento y calidad de los granos, además de la producción de toxinas responsables de enfermedades graves en los seres humanos y animales (Leyva-Mir *et al.*, 2017).

Estos patógenos vegetales se pueden dividir en tres grupos en función del tipo de enfermedad que producen. Un primer grupo, cuyo representante principal es *F. oxysporum*, provoca marchitamiento vascular en el huésped, en segundo lugar, estarían las podredumbres de raíz causadas por *F. solani* y por último las especies que provocan enfermedades en plantas gramíneas (*F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* y *F. culmorum*) (Price, 1984).

Las enfermedades causadas por *Fusarium* spp. pueden ser muy agresivas en climas húmedos; en las zonas donde la humedad es baja, la infección es causada casi de manera exclusiva por 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).

Clasificación taxonómica (EPPO, 2020)

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hipocreales

Familia: Hipocreaceae

Género: *Fusarium* Link ex Grey

Biología

Fusarium pertenece a un género cosmopolita de hongos imperfectos, están ampliamente distribuidos en el suelo y en partes de las plantas subterráneas y aéreas, y restos de las plantas (Gordon, 1959; Booth, 1971; Burgess, 1981). Se han descrito estados sexuales (teleomorfos) para algunas especies de *Fusarium*. Todos los teleomorfos conocidos de *Fusarium* spp. están incluidos en el orden Hypocreales de Ascomycota (Samuels *et al.*, 2001).

Fusarium spp. producen clamidosporas, resistentes a las condiciones adversas, permitiendo que el hongo sobreviva períodos 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, sin embargo, 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).

Distribución geográfica

El género *Fusarium* presenta una distribución cosmopolita y es endémico de zonas maiceras de todo el mundo (Mendoza *et al.*, 2003). La presencia y daños ocasionados en maíz por *Fusarium* han sido reportados en los estados de Tamaulipas, Chiapas, Durango y Guanajuato (Moreno, 1996; Hernández *et al.*, 2007).

Micotoxinas de importancia

Las micotoxinas con mayor interés son las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, patulina, tricotecenos, zearalenona; correspondiendo principalmente a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* (Ayala, 2007).

Factores que intervienen en la formación de micotoxinas

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de proliferación fúngica y de la contaminación de micotoxinas. Siendo los principales: temperatura, humedad, tipo de suelo, susceptibilidad del cultivo, madurez de los granos en el momento de la cosecha, los daños mecánicos por insectos y/o pájaros sobre el grano y el tipo de almacenamiento. El impacto económico de las micotoxinas es enorme, estimándose que casi el 25% de las cosechas a escala mundial es afectado anualmente por hongos toxigénicos, que generan problemas al reducir la capacidad nutritiva del cereal en los alimentos, aumentan los costos de producción y la mortalidad e incrementan la susceptibilidad a enfermedades infecciosas (Ayala, 2007).

Toxinas por *Fusarium*

Requena *et al.* (2005) Indicaron que *Fusarium* tiene la capacidad de producir una amplia gama de micotoxinas y pueden clasificarse en: Tricotecenos estrogénicos, o micoestrógenos donde los más importantes son la zearalenona y el zearalenol y tricotecenos no estrogénicos incluyendo: vomitoxina o deoxinivaleno, fumonisina B1, toxina T-2, diacetoxiscirpenol, monoacetoxiscirpeno, triacetoxiscirpenol y escirpentriol.

Las fumonisinas son producidas esencialmente por *F. moniliforme* y existen 6 tipos de fumonisinas, B1, B2, B3, B4, A1 y A2. Sin embargo, las que suelen encontrarse con más frecuencia y las más importantes son la fumonisina B1 (FB1) y la B2 las cuales se pueden encontrar como contaminantes naturales, en los cereales, preferencialmente en el maíz y subproductos del maíz (Gimeno, 2011).

La fumonisina B1 es estable a largo plazo; sin embargo, el proceso de nixtamalización (condiciones alcalinas y de alta temperatura) provoca su degradación. Los efectos tóxicos de las fumonisinas se encuentran relacionados con enfermedades en animales, como la leucoencefalomalacia equina y el edema pulmonar porcino. Se considera que, en humanos, el consumo de maíz con este

contaminante podría estar asociado al desarrollo de cáncer de esófago (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2016).

Pudrición de Mazorcas de Maíz por *Fusarium* spp.

Las pudriciones de mazorcas de maíz causadas por *Fusarium* normalmente son atribuidas a dos especies de este género: *F. graminearum* y un complejo de hasta cuatro especies relacionadas a *F. verticillioides*. Hongos de este género están relacionados también con otras enfermedades del maíz como pudrición de semillas, plántulas, raíces y tallos y en ocasiones hasta manchas foliares (Martinson, 1990).

Fusarium infecta la planta a partir de la raíz, para alcanzar los entrenudos del tallo, con lo cual logra colonizar el sistema vascular y viaja por el xilema, infectando la parte aérea de la planta; los conidios de los hongos pueden ser transportados por el aire, la lluvia y los insectos, hasta lograr ser depositados sobre la planta; una vez ahí, si logran llegar a los pelos de la mazorca (estigmas), estarán en capacidad de alcanzar el grano de maíz (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2016).

Pudriciones del Tallo por *Fusarium* spp.

Estas pudriciones aparecen en las últimas etapas del desarrollo de la planta y causan un daño importante desde el inicio del desarrollo del grano hasta su madurez fisiológica. Hay tres hongos principales que causan estas pudriciones: son especies de *Diplodia*, *Fusarium* y *Gibberella*. La pudrición causada por los hongos del género *Fusarium* comprende varias especies: *F. verticillioides* (*Gibberella fujikuroi*) y *F. graminearum* (*Gibberella zeae*). La pudrición comienza enseguida después de la polinización y afecta las raíces, la base de la planta y los entrenudos bajos y la enfermedad progresa a medida que la planta madura; se rompen los tallos y ocurre una maduración prematura como en otras pudriciones. Las plantas pueden permanecer erectas aun cuando estén secas, pero caerán fácilmente al ser golpeadas; como en la pudrición causada por *Gibberella* la médula se desgarran y los tejidos circundantes se decoloran (FAO, 2021).

Ciclo de Vida de *F. verticillioides*

El ciclo de vida de este hongo está compuesto de un estado saprofítico y otro parasítico, durante el estado saprofítico *F. verticillioides* obtiene los nutrientes de los tejidos muertos produciendo estructuras infectivas para establecer una enfermedad.

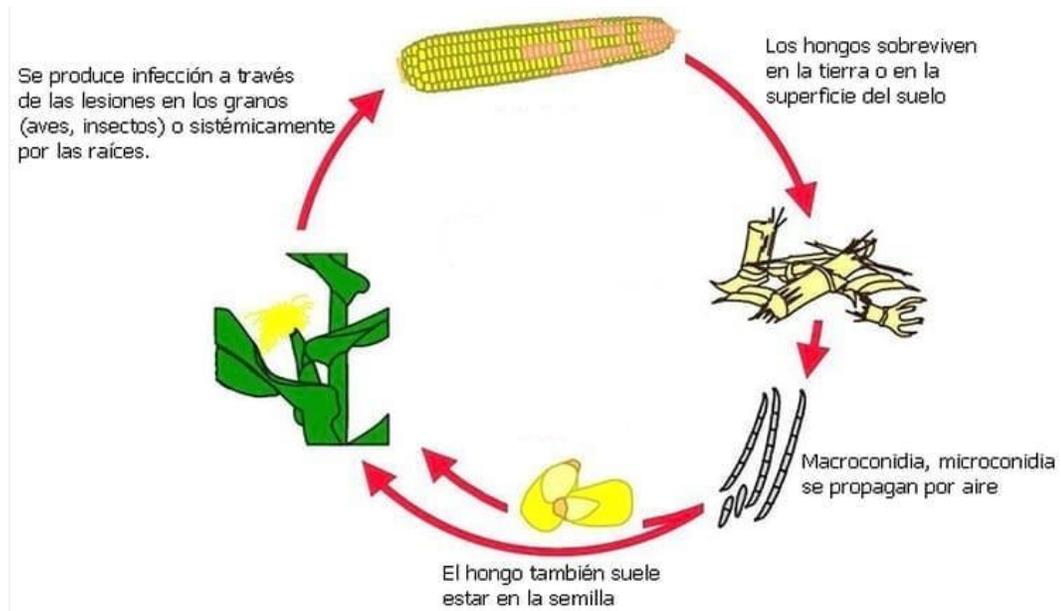


Figura 1. Ciclo de vida del hongo en semillas de maíz (Araque, 2012).

Por otro lado, durante el estado parasítico, el hongo obtiene sus nutrientes de las células del hospedante después de una colonización intracelular. Las enfermedades sintomáticas y la muerte de las plantas de maíz no son muy comunes, pero el estado parasítico es responsable de la pérdida económica. En los tejidos enfermos se encuentran altas concentraciones de fumonisinas y en la fase asintomática con frecuencia contiene bajas concentraciones; esto es importante para la salud del ser humano, ya que el maíz asintomático es utilizado para su alimentación (Cantú-Rodríguez, 1998).

Principales rutas de infección

El hongo *F. verticillioides* utiliza múltiples rutas de entrada a la planta para colonizar distintos tejidos y de esa manera causar diversas enfermedades a lo largo del desarrollo.

1. Infección sistémica de las plántulas. Ocurre durante y desde la germinación de la semilla, y a lo largo del establecimiento de la plántula. Este patógeno penetra de forma directa el pericarpio y a las células de la epidermis de la raíz tres días después de que se siembran las semillas inoculadas. Las hifas colonizan las células del parénquima del escutelo y llegan hasta el córtex. Entre 25 y 30 días, las raíces y el mesocotilo ya se hallan colonizados y pueden mostrar síntomas de pudrición, dependiendo de la cantidad de inóculo y de factores ambientales (Murillo *et al.*, 1999).
2. Infección de la mazorca por medio del estigma. La vía más común para que *F. verticillioides* infecte a la mazorca es a través del estigma. Sucede cuando el inóculo aéreo y las conidias transportadas por el agua de lluvia se depositan en el estigma. De esa forma se facilita el acceso a las células del pericarpio y la hifa del hongo crece en la superficie de la cutícula para poder acceder al grano, a través de la parte inferior del canal estilar, incluso en ausencia de lesiones mecánicas (Duncan y Hawar, 2010).
3. Infección del tallo y la mazorca por daño mecánico. Al alimentarse, varios insectos plagas del maíz horadan las mazorcas y los tallos de la planta. Este daño mecánico funciona como ruta de entrada para las conidias de *F. verticillioides*. Además, hay insectos que actúan como vectores del hongo, ya sea dispersándolo a lo largo de la superficie de la planta hacia los granos o, bien, transportándolo a través de grandes distancias. Otros vectores descritos son el gusano elotero, los trips y los gorgojos (Gilbertson *et al.*, 1986).

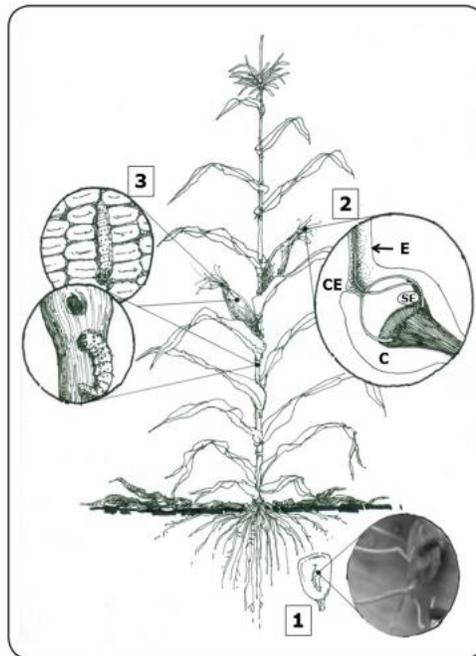


Figura 2. Rutas de entrada de *F. verticillioides* a la planta de maíz. 1. Infección sistémica de plántulas. El hongo sobrevive en la semilla o en el suelo de donde accede a la plántula e infecta las raíces. 2. Infección a través del estigma. Las conidias del hongo son depositadas en el estigma (E) y penetran a través de la parte inferior del canal estilar (CE). C: carpelo, SE: saco embrionario. 3. Infección a través de heridas. El hongo accede al tallo y/o a la mazorca a través de lesiones mecánicas causadas por insectos al alimentarse (Hernández *et al.*, 2014).

Diseminación

Las especies de este género están ampliamente distribuidas en el suelo y en partes aéreas de las plantas afectadas (Booth, 1986). El hongo puede sobrevivir en el suelo como micelio o como esporas en ausencia de sus anfitriones, y si se encuentra cerca una planta hospedera, la infección puede iniciar en las raíces (Ma *et al.*, 2013). El hongo puede sobrevivir sobre los residuos de plantas afectadas, y la dispersión de las esporas se realiza por medio del viento (diseminación a larga distancia) y la lluvia (diseminación a corta distancia). Una vez que se desarrolla sobre el grano de maíz, tanto la temperatura como el agua libre en el grano determinarán las tasas de crecimiento del hongo (Tribo, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio Socioeconómico y Cultural del Cultivo de Maíz

Para obtener información de los consumidores de maíz y sus derivados, así como los métodos de su almacenamiento en los estados de Puebla y Morelos, se diseñó una encuesta semiestructurada con preguntas cuantitativas y cualitativas a 200 familias por estado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Encuesta realizada a familias en localidades de los estados de Puebla y Morelos

Sobre el consumo de maíz y sus derivados

- ¿Edad?
 - ¿Número de integrantes en la familia?
 - ¿Consumen maíz criollo o híbrido?
 - ¿De qué color es el maíz que consumen?
 - ¿Consumen productos derivados del maíz?
 - ¿Cuántas veces a la semana consumen productos derivados del maíz?
 - ¿En qué cantidad consumen productos derivados del maíz?
 - ¿Consumen carne y/o derivados de ganado que incorpora en su dieta maíz?
 - ¿De qué carne consumen?
 - ¿Cuántas veces a la semana consumen carne?
 - ¿En qué cantidad consumen carne?
-

Sobre el almacenamiento del maíz

- ¿Producen maíz?
 - ¿Almacenan el maíz para consumo o lo venden?
 - ¿En qué almacenan el maíz?
 - ¿Aplican algún producto cuando está almacenado el maíz?
 - ¿Qué producto utilizan en el almacenamiento del maíz?
 - ¿Por cuánto tiempo almacenan el maíz?
-

Material genético

Los materiales en estudio se obtuvieron al final del ciclo de producción (noviembre, 2019) de nueve parcelas de maíz destinadas para grano (consumo humano y animal) en los municipios de Contla, San Miguel, Teotlalco Puebla; Tepalcingo y Tetelilla en el estado Morelos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Genotipos de maíces criollos e híbridos utilizados en esta investigación.

Origen del material genético	Genotipo
Tetelilla, Morelos	Pioneer P4028W
Tepalcingo, Morelos	Pioneer P4028W
Tetelilla, Morelos	Tiburón
San Miguel, Teotlalco, Puebla	Criollo Negro
San Miguel, Teotlalco, Puebla	Pioneer 30F35
San Miguel, Teotlalco, Puebla	Zapata 2
Contla, Teotlalco, Puebla	Criollo Blanco
Contla, Teotlalco, Puebla	Criollo Negro
Contla, Teotlalco, Puebla	Pioneer 30F35

Colecta de Material Genético

De cada genotipo, en plantas con ciclo fenológico completo, se tomaron al azar 15 mazorcas de 10 hileras centrales y 15 cortes de tallos con pigmentaciones en el exterior (Fig. 3) entre el cuarto y quinto entrenudo, las muestras se colocaron en bolsas de papel de estraza, protegidas en hieleras de poliestireno expandido, se identificaron y trasladaron al Departamento de Parasitología de la UAAAN en Saltillo, Coahuila.

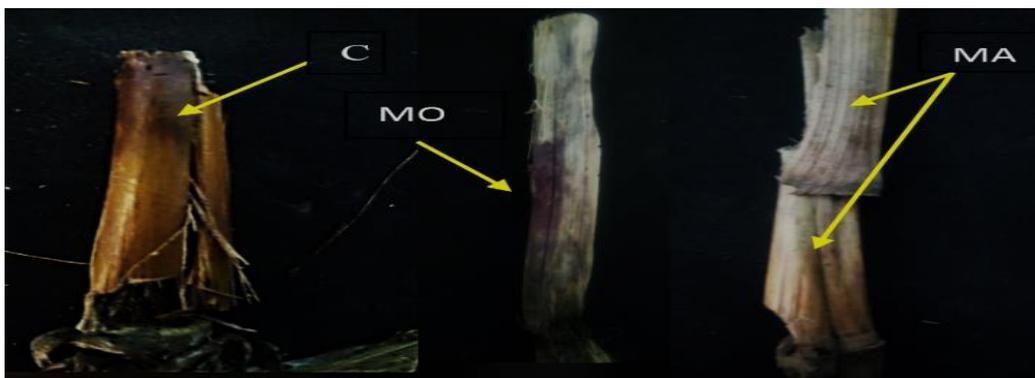


Figura 3. Pigmentación exterior en tallos de maíz. C=Color café, Mo= Color morado, MA= Color marrón.

Ubicación del Procesamiento de Muestras

En cuanto al análisis y procesamiento de muestras, esto se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 21'13" LN, 101° 01' 56" LO, 1610 msnm) (Fig. 3).



Figura 4. Localización de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Aislamiento de Fitopatógenos de Tallo y Mazorca de maíz

Las muestras de tallo se seccionaron en cortes de 1cm² de plantas sanas e infectadas (Fig. 4). Esta actividad se realizó bajo campana de flujo laminar, las cuales se desinfectaron superficialmente con hipoclorito de sodio al 3% durante 2 min (tres veces) y en agua destilada por 1 min (tres veces), posteriormente se dejaron secar por 10 min, y enseguida tres cortes se colocaron en placas de Petri con medio de cultivo Spezieller Nährstoffarmer Agar (SNA) (1 g de KH₂PO₄, 1 g de KNO₃, 0.5 g de MgSO₄·7H₂O, 0.5 g de KCL, 0.2 g de glucosa, 0.2 g de sacarosa y 20 g de agar en un 1L de agua destilada) + antibiótico (Gentamicina, 1 mL L⁻¹). Las placas de Petri se sellaron y mantuvieron en una cámara de crecimiento para

microorganismos (Yamato®) mantenidos a 26°C por 168 h. Se realizaron 15 réplicas por genotipo, correspondiendo una repetición a una placa de Petri con tres cortes.

El aislamiento de fitopatógenos del grano (Fig. 5) se determinó de acuerdo con el Sistema Nacional de Sanidad de Semillas (SNHS, 2020). Primero, los granos se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 3% (2 veces) y posteriormente se enjuagaron con agua destilada por 1 min (2 veces). La siembra fue realizada en charolas de polietileno sobre dos capas de papel secante estéril (previamente humedecidas), 50 granos fueron seleccionados al azar y distribuidos uniformemente en la charola, dando un total de 20 réplicas por genotipo, finalmente las charolas se rotularon y se mantuvieron a 25 ± 2 °C por 48 h en cámara bioclimática, posteriormente, se congelaron a -20 °C durante 24 h, y por último se mantuvieron a temperatura ambiente ($25 \text{ °C} \pm 2$) por 264 h, alternando 12:12 h luz blanca: oscuridad.



Figura 5. Muestra de tallo rotulado y mazorca de maíz utilizadas para el aislamiento de *Fusarium* spp.

Purificación de los Patógenos Mediante Cultivos Monoconidiales

Se extrajeron tres explantes de 6 mm de diámetro de cada colonia de hongo aislado y se colocaron en tubos de ensayo con 9 mL de agua destilada estéril y se extrajo 1 mL para enseguida depositarlo en una placa de Petri con medio SNA y con una varilla de dispersión se diseminó uniformemente sobre toda la placa, 24 h después se tomó solamente un conidio germinado y se colocó en placas de Petri con SNA y se mantuvieron a 25 ± 2 °C por 120 h en una incubadora de crecimiento para microorganismos.

Identificación Morfológica y Morfométrica a Nivel de Género y Especie

Los diferentes hongos aislados se montaron en portaobjetos con azul de algodón y cubreobjetos, para posteriormente ser observados en microscopio compuesto (Olympus cx21led) con el objetivo de 40 y 100X e identificados a nivel de género. La identificación a género se basó en la estructura y características morfológicas como forma de macroconidios y microconidios, formación de clamidosporas y las estructuras de los conidióforos, así como características macroscópicas de la colonia, para la identificación se apoyó en las claves taxonómicas para géneros de hongos imperfectos de Barnett y Hunter (1998).

Los géneros obtenidos fueron identificados morfológica y morfométricamente a nivel especie, con el tamaño y forma de macroconidias; tamaño, presencia o ausencia de microconidios, formación de clamidosporas y las estructuras de los conidióforos. Para la identificación morfológica se utilizaron las claves del manual de laboratorio de Fusarium de Leslie y Summerell (2006) y la clave interactiva para Fusarium de Seifert (1996). Para la morfometría se realizaron 100 mediciones en cada una de las estructuras antes mencionadas utilizando un microscopio digital con cámara integrada y apoyo del software DinoCapture 2.0 (Dino-lite, 2021). También se documentó el crecimiento en PDA, color, textura de colonias y el tipo de micelio de las mismas especies.

Identificación Molecular

Extracción de ADN

Se utilizó el método de bromuro de cetil-trimetil amonio (CTAB) (Almeyda et al., 2001), para ello, partiendo de cepas axénicas, micelio de cada cepa de *Fusarium* spp. se maceró en mortero con pistilo de porcelana previamente esterilizados, al cual se agregaron 500 μ L de extracción con: NaCl 1.4 mM, EDTA 20 mM, PVP 1% Tris Base 100 mM (pH 8) y 200 μ L de B-mercaptoetanol. El producto de la maceración se colocó en tubos eppendorf estériles de 1.5 mL, se incubó a 65°C por 45 min a 15 rpm y se agitó en un vortex por 30 s. Enseguida se añadió a la muestra 500 μ L de SEVAG (cloroformo-alcohol isoamílico, 24:1) y posteriormente se centrifugó a 1200 rpm durante 15 min. Se recuperó el sobrenadante y se pasó a otro tubo, y se agregó igual volumen de isopropanol frío y se mantuvieron a -20 °C por 24 h. Transcurrido ese tiempo, se centrifugó a 1200 rpm durante 10 min, los tubos se decantaron y finalmente la pastilla de ADN obtenida de los diferentes aislamientos se re-suspendió en 60 μ L de agua libre de nucleasas y se almacenó a 4 °C.

Amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

Se hizo la amplificación de la región ITS1 e ITS4. Se realizó una mezcla para la amplificación en un volumen final de 15 μ L, compuesto por 5.8 μ L de agua MQ, 2.5 μ L de buffer (10X), 0.5 μ L de dNTP's (10mM), 2.5 μ L de cada iniciador ITS1 (5'TCC GTA GGT GAA CCT GCG G3') e ITS4 (5'TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC3'), 0.2 μ L de Taq-polimerasa, 0.2 μ L de ADN Taq-polimerasa y 1 μ L de ADN. Las reacciones de amplificación se efectuaron usando un termociclador bajo el siguiente programa: 1 ciclo de 95°C 3min, seguido de 35 ciclos a 95°C por 10 s, 57 °C por 30 s y 72 °C por 45 s, finalizando con un ciclo de polimerización de 72°C por 5 min. Los productos de la PCR se corrieron en geles de agarosa al 1% y se visualizaron bajo luz UV.

Finalmente, los productos de PCR se purificaron mediante el producto isolate II PCR and gel kit.

Secuenciación

Las muestras se secuenciaron en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPYCIT) con el método de didesoxinucleótidos marcados en el secuenciador del Analizador Genético 3130, y la secuencia obtenida se ensambló y comparó con las disponibles en la base de datos del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI), usando la herramienta BLAST para secuencias altamente similares.

Análisis de Datos

El proceso de análisis de los datos de las encuestas obtenidas por las familias se realizó mediante el software Excel® versión 16.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio Socioeconómico y cultural del Cultivo de Maíz

La alta incidencia de *F. equiseti*, *F. verticillioides*, *F. incarnatum* y *F. napiforme* en los granos de los genotipos Pioneer 30F35, Criollo Negro y Zapata 2 de San Miguel, Teotlalco, Puebla, además del Criollo Negro, Criollo Blanco y el Pioneer 30F35 en Contla, Puebla (híbridos y criollos) representan un grave problema, debido a que estos genotipos son utilizados principalmente como alimento para las personas y el ganado, con un alto consumo de maíz, así como sus derivados. Los resultados de las entrevistas realizadas a campesinos en las localidades de estudio muestran que pocas personas saben que consumen maíces híbridos y criollos, desde colores blanco, negro y rojo, y en menor proporción de los entrevistados no saben qué tipo de maíz consumen. El consumo de maíz y sus derivados para estas localidades es de 1.15 y 1.13 kg diarios en un promedio de 6 días (días que consumen maíz) en los estados de Puebla y Morelos, respectivamente, es decir, si hacemos la interpolación a los 7 días de la semana sería un consumo de 0.9554 y 0.9416 kg por día.

Se identificaron tres y cuatro especies de *Fusarium* en Puebla y Morelos, respectivamente, con niveles de incidencia distintos tanto en granos como en tallos, además, se observó que las personas almacenan la cosecha de maíz en un periodo menor de seis meses hasta 1 año, en condiciones no adecuadas (Cuadros 3, 4, 5, 6, 7).

Un almacenamiento seguro depende de la determinación de humedad, puesto que este factor influye en la actividad biológica de un organismo fúngico. Cuando el grano es almacenado con un alto porcentaje de humedad, es más fácilmente atacado por hongos e insectos, dañándolo y acelerando su descomposición (Gonzalez,1995). Los granos de maíz deben almacenarse de tal forma que no se deteriore su calidad. Lo anterior puede lograrse si se controla la humedad del grano,

la humedad relativa y la temperatura ambiente, ya que son determinantes para su conservación (Rosas *et al.*, 2006).

Los daños que pueden producir los granos de almacén son irreversibles al grano, como es la reducción del poder germinativo, ennegrecimiento total o parcial del grano, haciendo mayor énfasis a la producción de micotoxinas, las cuales pueden ser perjudiciales para la salud humana y animal, después de la ingestión de alimento contaminado, inhalación o contacto con la piel y la enfermedad que causan es conocida como micotoxicosis. Las características de una micotoxicosis son: enfermedades no transmisibles; los tratamientos con fármacos y antibióticos tienen poco o ningún efecto; los brotes son frecuentemente temporales; los brotes son usualmente asociados con un producto alimenticio específico; y el análisis de la comida o producto alimenticio revela los signos de la actividad fúngica (SAGARPA, 2016).

Las micotoxinas reducen el desempeño del organismo volviéndolo susceptible a enfermedades afectando principalmente el hígado y llegando a producir cáncer en el humano; en los animales, arriba de ciertas concentraciones tolerables, afectan el desempeño del hato, como reproducción, crecimiento y producción lechera (UNISEM, 2014).

En el cuadro tres se muestran las especies de *Fusarium* encontradas en muestras de granos de maíz provenientes de municipios de Puebla y Morelos. Se identificaron tres y cuatro especies de *Fusarium* en Puebla y Morelos, respectivamente, con niveles de incidencia distintos; en el Estado de Puebla de las tres especies identificadas, *F. verticillioides* presentó la mayor incidencia con un 15%, mientras que en el Estado de Morelos *F. napiforme* fue la especie con mayor incidencia; contrario a Puebla en donde esta especie se presentó con menor incidencia. Se identificaron tres especies de *Fusarium* en el Estado de Puebla, asociado a genotipos criollos que tienden a ser más susceptibles al ataque de patógenos. Del total de las personas entrevistadas, se encontró que en Puebla un mayor número o

de personas producen maíz (42) en comparación con las personas entrevistadas en Morelos que fueron 28 (Cuadro 3).

En el cuadro cuatro se observa el nivel de incidencia de cada especie de *Fusarium*, son diferentes en granos y tallos; la mayor y menor incidencia de hongos en tallos de maíz del material colectado en el Estado de Puebla fueron las especies *F. verticillioides* y *F. napiforme*, mientras que en Morelos *F. incarnatum* manifestó mayor incidencia y la especie *F. equiseti* presentó la menor incidencia.

De las 200 personas entrevistadas en Puebla, el 50% consumen maíz criollo e híbrido, mientras el otro 50% de la población no tiene idea de qué tipo de maíz consumen. En Morelos 40% de las personas entrevistadas consumen maíz de ambos genotipos y el 60% no sabe qué tipo de maíz están consumiendo (Cuadro 5).

Los pobladores que solo consumen maíz criollo en el Estado de Puebla representan un 10% y en Morelos los consumidores de este tipo de maíz representan solo el 1% de la población, haciendo referencia a que la mayoría de los consumidores no saben si es maíz criollo o híbrido el que consumen. Por otro lado, en ambos estados el maíz que más se consume es el de color blanco que representa más del 50% de la población entrevistada.

Cuadro 1. Incidencia de especies de *Fusarium* identificados en granos, así como la producción de maíz y periodos de almacenamiento en Puebla y Morelos

Estado	Especies identificadas	SCIEF	%IIE	%IGE	PQPM	%PQCM	CDM	AM	TA	
									<6M	6-12 M
Puebla	<i>F. equiseti</i>	584	9.735							
	<i>F. verticillioides</i>	926	15.43	29.19	42	21	0.955	Si	24	8
	<i>F. napiforme</i>	242	4.03							
Morelos	<i>F. verticillioides</i>	197	6.56							
	<i>F. napiforme</i>	292	9.73	22.87	28	14	0.941	si	16	4
	<i>F. incarnatum</i>	61	2.03							
	<i>F. equiseti</i>	137	4.55							

SCIEF=Semillas con incidencia de la especie de *Fusarium*, %IIE= % de incidencia individual por estado, %IGE= % de incidencia general por estado, PQPM= Personas que producen maíz, %PQCM= % de Personas que producen maíz, CDM= Consumo de maíz y derivados, AM= ¿Almacenan el maíz?, TA= Tiempo de almacenamiento, <6 M= Menor a 6 meses, 6-12 M= De 6 a 12 meses.

Cuadro 2. Incidencia de especies de *Fusarium* identificados en tallos, así como la producción de maíz y periodos de almacenamiento en Puebla y Morelos

Estado	Especies identificadas	TCIEF	%IIE	%IGE
Puebla	<i>F. verticillioides</i>	44	20	
		27	12	10.3703704
		23	10.13	
Morelos	<i>F. equiseti</i>	38	17	4.19753086
	<i>F. napiforme</i>	18	8	1.97530864
	<i>F. incarnatum</i>	82	37	9.13580247
	<i>F. verticillioides</i>	64	29	7.16049383
	<i>F. equiseti</i>	28.8888889	13	3.20987654

Cuadro 5. Medias del consumo de maíz en los estados de Puebla y Morelos

NPEP	EM	± SD	IPF	± SD	PCMCH	PSCMC	DC	PCC	PSCMH	DC	PCC	PCMCH	PNSTMC	DC	PCC
200	44.35	13.79343	4.54	1.77599	101	15	B	14	65	B	65	21	99	B	99
					CMC	CMH	N	3		N	4			N	5
					37	85	R	1							
NPEM	EM	± SD	IPF	± SD	CMCH	PSCMC	DC	PCC	PCMCH	DC	PCC	PCMCH	PNSTMC	DC	PCC
200	45.75	15.35402	4.695	1.70484	81	2	B	2	53	B	53	22	119	B	119
					CMC	CMH	N	2		N	2			N	20
					26	77	R							R	11

NPEP= Número de personas entrevistadas en el estado de Puebla; NPEM= Número de personas entrevistadas en el estado de Morelos; EM= Edad media de los entrevistados; SD= Desviación estándar; IPF= Integrantes promedio por familia; PCMCH= Personas que consumen maíz criollo e híbrido; CMC=Consumen maíz criollo; CMH= Consumen maíz híbrido; PSCMC= Personas que solo consumen maíz criollo; DC= De qué color es maíz; B= Color blanco; N= Color negro; R= Color rojo; PC= Personas que lo consumen; PSCMH= Personas que solo consumen maíz híbrido; PCMCH= Personas que consumen maíz criollo e híbrido; PNSTMC= Personas que no saben qué tipo de maíz consumen.

Cuadro 6. Consumo de productos derivados del maíz, así como de carne y derivados del ganado en los estados de Puebla y Morelos

NPEP	PCDM	ENVS	D	CDMCP	SD	PCDG	PQCR	PQCP	PQCA	PSCCR	PSCCP	PSCCA
200	200	4.965	6	1.15	0.67063	No	68	133	188	3	4	49
						Si						
						3	197					
NPEM	PCDM	ENVS	CDMCP	SD	PCDG	PQCR	PQCP	PQCA	PSCCR	PSCCP	PSCCA	
200	200	4.97	6	1.13	0.60616	No	65	139	196	0	0	51
						Si						
						2	198					

NPEP= Número de personas entrevistadas en el estado de Puebla; NPEM= Número de personas entrevistadas en el estado de Morelos; PCDM= Personas que consumen derivados del maíz; ENVS= Escala del número de veces que consumen a la semana; D= Dias que consumen maíz y/o derivados; DMCS= Cantidad de derivados del maíz que consume una persona; PCDG= Personas que consumen carne o derivados del ganado; PCR= Personas que consumen carne de res; PQCP= Personas que consumen carne de porcino; PQCA= Personas que consumen carne avícola; PSCCR= Personas que solo consumen carne de res; PSCCP= Personas que solo consumen carne porcina; PSCCA= Personas que solo consumen carne avícola.

En el cuadro seis se observa el consumo de productos derivados del maíz, carne y derivados del ganado, en la nutrición animal es utilizada en diversas formas: grano entero, molido, forraje y demás. Los resultados obtenidos de las entrevistas indican que de las 200 personas entrevistadas por cada estado, todas consumen derivados del maíz, de estos en Puebla el 34% consume carne de res, 66% consume carne de puerco, 94% consume carne avícola, mientras que en Morelos se tuvo un resultado parecido, 32% consume carne de res, 70% consume carne de puerco y el 98% consume carne avícola, teniendo que la mayoría de las personas consumen carne avícola, siendo Morelos el estado que supera el consumo de dicha carne., en una escala promedio de 5 días a la semana, así mismo tenemos que el 98% de las personas consumen derivados del ganado.

En el cuadro siete se observa la producción y almacenamiento de maíz en los Estados de Puebla y Morelos. En este estudio se observa que en ambos estados la mayoría de las personas (79% en Puebla y 86% en Morelos) no producen el maíz que consumen y las personas que lo producen lo destinan para consumo y venta, otras venden su producción y muy pocas producen únicamente para consumo (el 1% en ambos estados). De los diferentes tipos de almacenamiento, la mayoría utilizan bolsas plásticas (7% en Puebla) y toneles de plástico (3% en Morelos), en el estado de Puebla el menor almacenamiento se da en trojas de madera (2%), mientras que en Morelos tiene el menor almacenamiento en galones de plástico (2%), también se usan costales y cuartos sin ventilación. El tiempo de almacenamiento es menor a los seis meses en ambos estados, tanto en Puebla como en Morelos la mayoría almacena su producción sin aplicar algún producto y los que aplican usan el fosfato de aluminio. En el presente estudio resalta que la mayoría de las personas desconoce cómo manejar un buen almacenamiento de la producción, puesto que las bolsas plásticas generan mayor humedad a los granos y aún más si no existe buena ventilación; igualmente para utilizar el fosfato de aluminio se deben de tomar en cuenta cierta información y capacitación acerca de los peligros y controles de dicha sustancia química.

Cuadro 7. Producción de maíz en los estados de Puebla y Morelos

NPEP	PQPM	PQNPM	DPM	PASC	PACV	PASV	BNP	COS	TIN	CSV	TOP	TM	PAP	QPA	TMA
200	42	158		PASC	PACV	PASV	14	5	5	2	7	1	NAP	SAP	<6 M 6-12 M
			2	29	11								20	12	24 8
NPEM	PQPM	PQNPM	DPM	PASC	PACV	PASV	BNP	COS	TOP	CSV	GAP	PAP	QPA	TMA	
200	28	172		PASC	PACV	PASV	5	3	6	2	1	NAP	SAP	<6 M 6-12 M	
			2	18	8							18	2	16 4	

NPEP= Número de personas entrevistadas en el estado de Puebla; NPEM= Número de personas entrevistadas en el estado de Morelos; PQPM= Personas que producen maíz; PQNPM= Personas que no producen maíz; DPM= Destino de la producción de maíz; PASC=Producción almacenada solo para comer; PACV= Producción almacenada para comer y vender; PASV= Producción almacenada solo para vender; BNP= Bolsas negras de plástico; COS= Costales; TIN=Tinacos; CSV= Cuartos sin ventilación; TOP= Toneles de plástico; TM= Trojas de madera; GAP= Galones de plástico; PAP=¿ Las personas aplican algún producto?; NAP= No aplican ningún producto; SAP= Si aplican algún producto; QPA= ¿Qué producto aplican?; FA= Fosfato de aluminio; TMA=¿ Tiempo del maíz en almacenamiento?; <6 M= Menos de 6 meses; 6-12 M= 6 a 12 meses.

Identificación morfológica y morfométrica

En las cepas de hongos aisladas en granos y tallos de maíz de las nueve localidades, se observaron colonias aplanadas de crecimiento lento y rápido, de colores blanco, naranja y morado (Fig. 6). *F. verticillioides* fue el patógeno que más se encontró en las purificaciones realizadas (A2, A3, A4, A6 y A9), así mismo esta especie muestra diferentes coloraciones y texturas en el mismo medio de crecimiento.

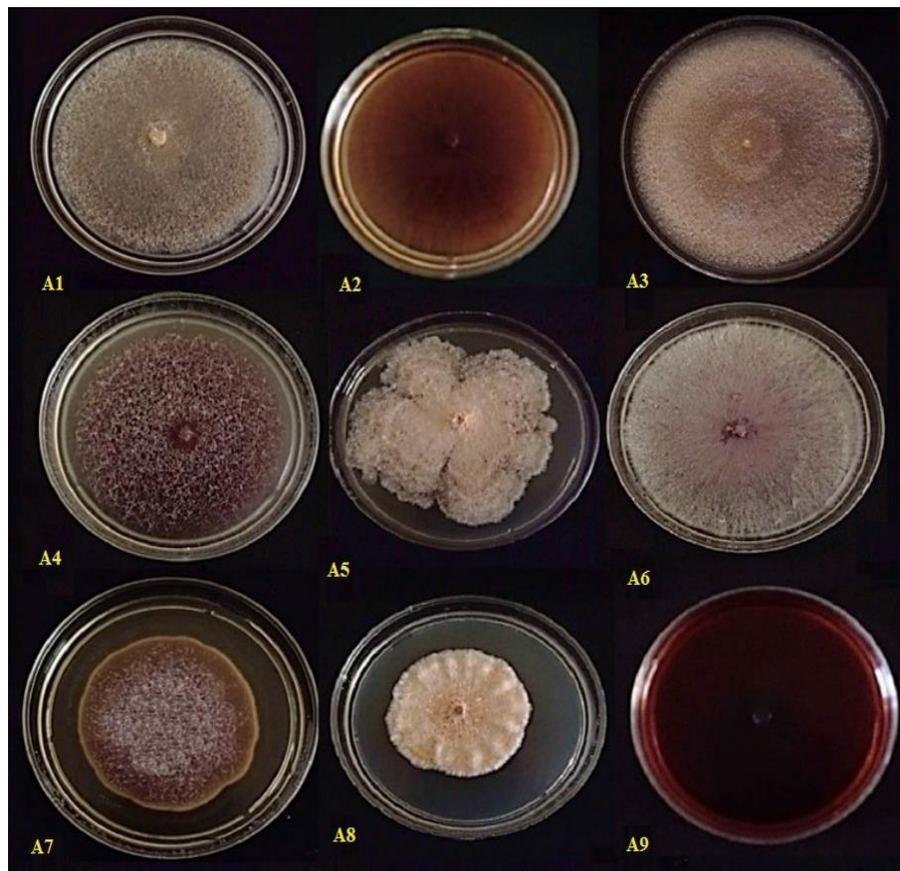


Figura 6. Vista superior de las colonias de especies de *Fusarium* purificadas y aisladas de maíz. A1= *F. incarnatum*, A2= *F. verticillioides*, A3= *F. verticillioides*, A4= *F. verticillioides*, A5= *F. equiseti*, A6= *F. verticillioides*, A7= *F. napiforme*, A8= *F. equiseti*, A9= *F. verticillioides*.

Estos hongos presentan microconidios hialinos de forma de garrote y ligeramente aplanados en cada extremo de 6.597 a 45.788 μm de largo y de 2.537 a 4.760 μm

de ancho, macroconidios de curvos a casi rectos; de 3-9 septos con la célula basal en forma de pie de 34.036 a 79.555 μm de largo y 3.383 a 6.800 μm de ancho, clamidosporas (ausentes en algunas especies) (Cuadro 8), con características macro y microscópicas; características determinantes para especies del género *Fusarium*. Se identificaron un total de cuatro especies, las cuales fueron; *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg con macroconidias de forma de canoa de 34.04 a 44.05 μm y microconidias en forma de garrote (en cadena) de 3.38 a 4.38 μm de largo y ancho, respectivamente, con diferentes colores, pigmentaciones de micelio, correspondiendo a las cepas A2, A3, A4, A6 y A9. Otra especie es *Fusarium incarnatum* (Robergge) Sacc. (= *Fusarium semitectum*) con macroconidios de 39.03 x 6.33 μm y microconidios de 12.0 x 5.05 μm , con presencia de clamidosporas y color del micelio beige, correspondiendo a la cepa A1. Se encontró a *Fusarium napiforme* Marasas, Nelson & Rabie con macroconidios de 53.38 x 5.88 μm y microconidios fusiformes y napiformes de 8.9 x 3.11 μm , micelio de color morado, con clamidosporas que correspondió a la cepa A7. Por último, se encontró *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc con macroconidias y microconidios alargados de 72.45 x 6.19 μm y 79.56 x 6.80 μm respectivamente, correspondiendo a las cepas A5 y A8 de color beige (Figs. 6 y 7, Cuadro 8).

De acuerdo con Nelson *et al.* (1983) algunas especies de *Fusarium* forman clamidosporas como estructura de resistencia y de propagación; estas pueden presentarse solitarias, en cadenas, en grupos, y también pueden presentarse en los conidios. Siendo los conidios la principal característica utilizada para la identificación de especies de *Fusarium*. La identificación de las especies fue basada en características macro y microscópicas siendo las principales el tamaño y forma de macro y microconidios, y la pigmentación del medio. Burgges y col. (1994) mencionan que las características clave para la identificación de especies pertenecientes al género *Fusarium* son: forma de las macroconidias, presencia o ausencia de microconidias, el modo que se forman las macroconidias y finalmente la presencia o ausencia de clamidosporas.

En el estado de Puebla de las tres especies identificadas de *Fusarium*, *F. verticillioides* presentó mayor incidencia con un porcentaje del 15%, mientras que

en el Estado de Morelos *F. napiforme* fue la especie que más sobresalió de las cuatro especies reportadas (cuadro 3), Vega (2012), reportó a *Fusarium* como principal patógeno. La mayor y menor incidencia de hongos en los tallos de maíz del material colectado en el Estado de Puebla fueron las especies *F. verticillioides* y *F. napiforme*, mientras que en Morelos *F. incarnatum* manifestó mayor incidencia y la especie *F. equiseti* presentó menor incidencia (cuadro 4).

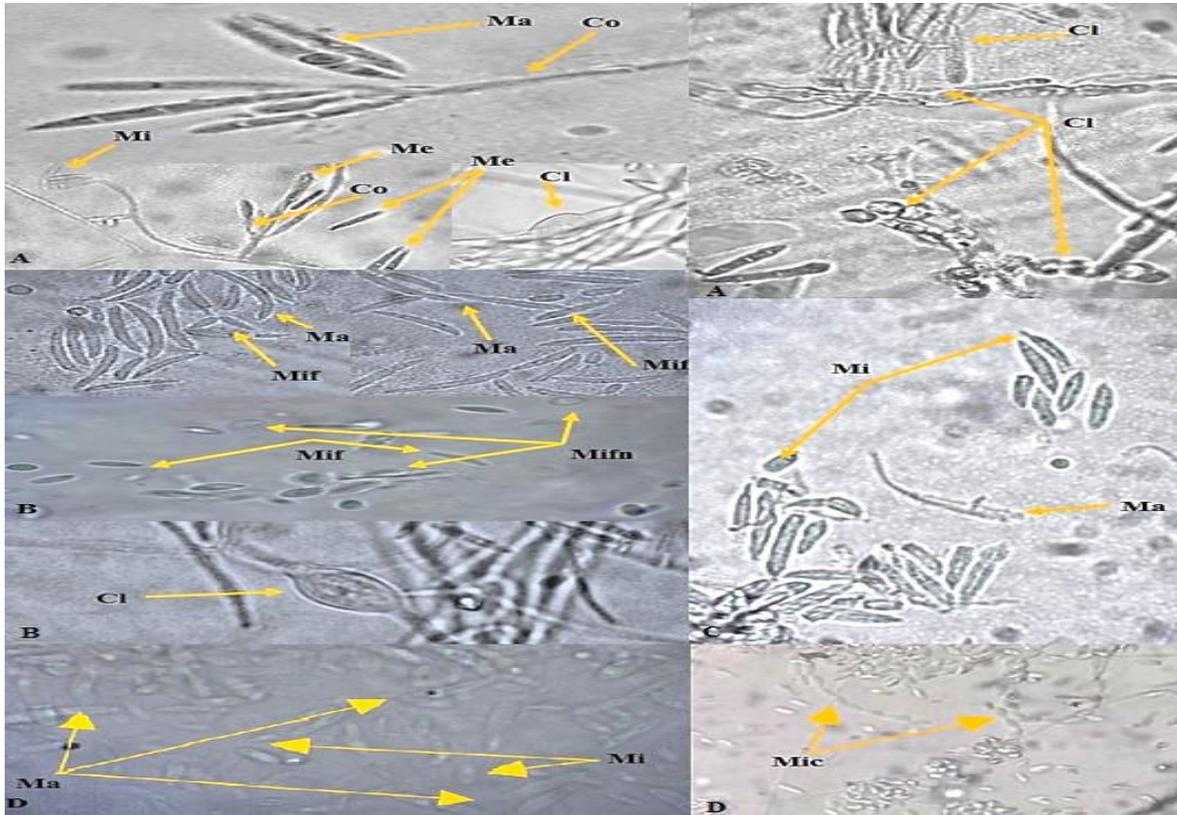


Figura 7. Estructuras particulares de cada especie de *Fusarium*. **A=** *F. incarnatum*, **B=** *F. napiforme*, **C=** *F. equiseti*, **D=** *F. verticillioides*. **Ma=** Macroconidias, **Mi=** Microconidias, **Me=** Mesoconidias, **Co=** Conidióforo, **Cl=** Clamidospora, **Mif=** Microconidias fusiformes, **Mifn=** Microconidias fusiformes y napiformes, **Mic=** Microconidias en cadena.

Cuadro 8. Medias de los análisis morfométricos por tipo de especie de *Fusarium*.

Clave	Patógeno	Macroconidias (µm)				Microconidias (µm)				PCL
		Largo	± SD	Ancho	± SD	Largo	± SD	Ancho	± SD	
A1	<i>F. incarnatum</i>	39.03	9.41667	6.33	1.16951	12	1.53583	5.05	0.93039	Si
A2	<i>F. verticillioides</i>	40.04	14.8608	3.98	0.93155	7.8	1.81653	2.98	0.69867	No
A3	<i>F. verticillioides</i>	34.04	12.63168	3.38	0.79182	6.6	1.54405	2.54	0.59387	No
A4	<i>F. verticillioides</i>	40.08	14.87566	3.98	0.93249	7.8	1.81835	3.01	0.71002	No
A5	<i>F. equiseti</i>	72.45	18.96005	6.19	1.01275	41.7	11.0455	4.34	0.70892	No
A6	<i>F. verticillioides</i>	44.05	16.34688	4.38	1.02471	8.5	1.99818	3.28	0.76853	No
A7	<i>F. napiforme</i>	53.38	8.53363	5.88	1.08289	8.9	1.26072	3.11	1.39604	Si
A8	<i>F. equiseti</i>	79.56	20.81814	6.8	1.112	45.8	12.12796	4.76	0.7784	No
A9	<i>F. verticillioides</i>	39.82	14.77907	3.96	0.92643	7.7	1.80654	2.97	0.69482	No

± SD= Desviación estándar, PCL= Presencia de clamidosporas

Identificación molecular

La amplificación de las cuatro especies de *Fusarium* abarcó desde 690 a 800 pb (Fig. 8) con un porcentaje de identidad molecular de 98 a 100% en la base BLAST en NCBI (Cuadro 9).

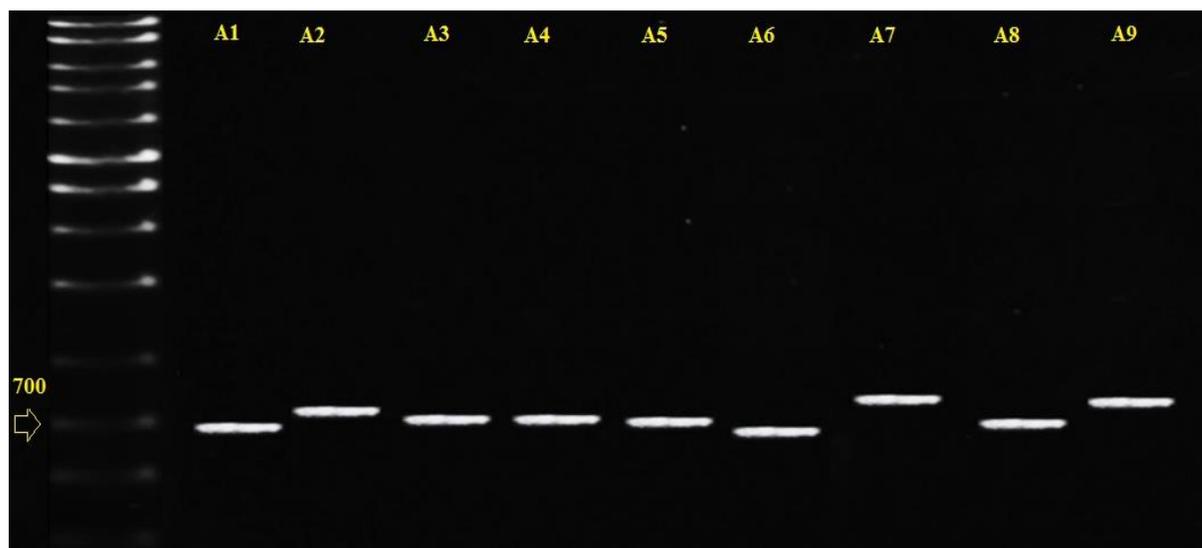


Figura 8. Marcadores moleculares de las especies de *Fusarium* identificadas. A1= *F. incarnatum*, A2= *F. verticillioides*, A3= *F. verticillioides*, A4= *F. verticillioides*, A5= *F. incarnatum*, A6= *F. verticillioides*, A7= *F. napiforme*, A8= *F. equiseti*, A9= *F. verticillioides*.

La identificación molecular presentó coincidencia con la identificación morfológica con el uso de claves y la caracterización morfométrica con apoyo del programa Dinocapture 2.0.

Cuadro 9. Identificación molecular por tipo de especie de *Fusarium* y su porcentaje de identidad con otras especies en la base molecular de BLAST en NCBI.

Patógeno	Pb	Puntaje máximo	Puntaje total	identidad (%)	Acceso
<i>F. incarnatum</i>	710	915	1095	98.6	MW534564.1
<i>F. verticillioides</i>	700	926	926	100	MK790050.1
<i>F. verticillioides</i>	750	689	689	98.48	MN871798.1
<i>F. verticillioides</i>	750	915	915	100	MN121060.1
<i>F. equiseti</i>	690	865	865	98	MT515832.2
<i>F. verticillioides</i>	680	909	909	99.4	MN049928.1
<i>F. napiforme</i>	800	915	915	99.8	MH862670.1
<i>F. equiseti</i>	690	920	1100	100	KR819405.1
<i>F. verticillioides</i>	750	926	926	99.8	MT505436.1

Pb= Pares de bases

CONCLUSIONES

La mayoría de las personas entrevistadas no producen y desconocen el tipo de maíz que consumen.

En ambos estados la producción de maíz lo destinan para consumo y venta, siendo mínima la población que producen únicamente para consumo.

Se encontraron 3 y 4 especies de *Fusarium* en ambos estados (*F. verticillioides*, *F. incarnatum*, *F. napiforme*, *F. equiseti*) con distintos niveles de incidencia en grano y tallos.

En Puebla la especie que presentó mayor incidencia fue *F. verticillioides*, en Morelos destacó *F. incarnatum*.

LITERATURA CITADA

- Aceves M.C.A., Gutiérrez L.O., Moreno O.M.E., Mesina E.J.C., and J.G. Samuels. (2001). Especies de *Trichoderma* en suelos cultivados con mango afectado por Escoba de bruja y su potencial inhibitorio sobre *Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*. *Revista mexicana de Fitopatología*, 19 (2), 154-160.
- Almeyda L.I.H., Rocha P.M.A., Piña R.J. and J.P.S. Martínez. (2001). The Use of Polymerase Chain Reaction and Molecular Hybridization for Detection of Phytoplasmas in Different Plant Species in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 19(1):1-9.
- Anderson, E. (1945). Maíz en el nuevo mundo. Nuevos cultivos en el Nuevo Mundo. CM Wilson (editor). McMillan Co. Nueva York. pp.27-42.
- Anderson, E., and H. C. Cutler. (1942). Races of Zea mays: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29: 69- 88.
- Araque, H. (2012). Las Micotoxinas relacionadas con la sequía no son iguales a la Vomitoxina. Disponible en: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/las-micotoxinas-relacionadas-con-t29776.htm> Fecha de Consulta: 12 de Noviembre 2021.
- Ayala, G. A. E. (2007). Alimentos y Micotoxinas, Implicaciones en la seguridad alimentaria. 21 (8), 49-53.
- Barnett H.L., and B.B. Hunter. (1998). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Minnesota, USA, APS Press. 240 p.
- Booth C. (1971). The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycology Institute, Kew, Surrey, England. p. 237.
- Burgess LW. (1981). General ecology of the fusaria, In P. E. Nelson, T.A. Toussoun, and R. J. Cook (Ed.). *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. Pennsylvania State University Press, University Park. p. 225-235.
- Burgess, L. W., Summerell, B. A., Bullock, S., Gott, K. P. and Backhouse, D. (1994). Laboratory Manual for *Fusarium* Research. 3a Ed. Sydney: University of Sydney.
- Calvo-Torras, M.A., Borja-Caicedo, B.E. (2017). Control de micotoxinas en alimentación y salud pública. Sitio: <https://raed.academy/revista-15/control-micotoxinas-alimentacion/>
- Cantú, R.J.M. (1998). Distribución de cepas de *Fusarium moniliforme* productoras de fumonisinas en B1 en maíz, cultivado en el estado de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en microbiología. Universidad Autónoma de Nuevo León. 88 p.
- Cisneros, L.M.E. (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.

- CONABIO. (2020). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Razas de maíz de México. Disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>. Fecha de consulta: 22 de octubre de 2021.
- Cook R.J. (2010). *Fusarium* root, crown and foot roots and associated seedling diseases. 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. p.37- 39.
- Dino-lite. (2021). DinoCapture 2.0: software de imágenes de microscopio. <https://www.dinolite.us/en/dinocapture/>
- Duncan, K.E. & Howard, R.J. (2010). Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 23, 6-16.
- EPPO. (2020). European and Mediterranean Plant Protection Organization *Fusarium*. Disponible en línea: <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG> Fecha de consulta 26 octubre 2021.
- FAO (1993). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *El maíz en la Nutrición Humana*. Roma. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm#Tipos%20de%20maiz>
- FAO. (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Producción de maíz. El maíz en los trópicos-Mejoramiento y producción*. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm> Fecha de consulta: 2 de noviembre 2021.
- FAOSTAT (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Producción mundial del Maíz*. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize> Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021.
- Gilbertson, R. L.; Brown, W. M. Jr.; Ruppel, E. G. and Capinera, J. L. (1986). Association of corn stalk rot *Fusarium* spp. and western corn rootworm beetles in Colorado. *Phytopathology*. 76: 1309-1314 p.
- Gimeno, A., & Martins, M. L. (2011). Micotoxinas y micotoxicosis en animales y humanos. *Special Nutrients, Florida*, 50-53 p.
- González, H.A.; Vázquez, G.L.M.; Sahagún, C.J.; Rodríguez, P.J.E.; Pérez, L.D. (2007). Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric. Tec. Méx.* 33(1): 33-42 p.
- Goodman, M. M. & Bird, R.M. (1977). The races of maize IV: Tentative grouping of 219.Latin American races. *Economic Botany*, 31, pp. 204-221
- Gordon WL. (1959). The occurrence of *Fusarium* species in Canada. VI. Taxonomy and geographic distribution of *Fusarium* species on plants, insects, and fungi. *Can. J. Bot.* 37:257- 290 p.

- Hernández X. E. y G. Alanís F. (1970) Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México- implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.
- Hernández-D. S, Reyes L. MA, García, O. JG, Mayek-P. N, & Reyes M.CA. (2007). Incidencia de Hongos Potencialmente Toxígenos en Maíz (*Zea mays* L.) Almacenado y Cultivado en el Norte de Tamaulipas, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 25(2), 127-133.
- Koike ST, Wilen CA, Raabe RD, McCain A.H., Grebus M.E. (2019). *Fusarium* Wilt. Disponible en: <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r280100811.html> Fecha de consulta: 26 octubre 2021.
- Leslie J.F. and B.A. Summerell, B.A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, Hoboken, 1-2. In: <https://doi.org/10.1002/9780470278376>.
- Levin L., Ridao A., y Castaño F. (2003). Fusariosis de la espiga en el maíz. Facultad de Ciencias Agrarias., INTA. 20a Jornada de actualización profesional en cultivos de verano. Universidad Nacional de Mar de Plata. 165pp.
- Leyva-Mir, S. G., Vega-Portillo, H. E., Villaseñor-Mir, H. E., Tlapal-Bolaños, B., Vargas Hernández, M., Camacho-Tapia, M., & Tovar-Pedraza, J. M. (2017). CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES DE FUSARIUM CAUSANTES DE PUDRICIÓN DE RAÍZ DEL TRIGO EN EL BAJÍO, MÉXICO. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33(2), 142-151p.
- M.E. de la Torre-Hernández, M. Rivas-San Vicente, N. Greaves- Fernández, R. Cruz-Ortega, J. Plasencia. (2010). Fumonisin-Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. Departamento de Bioquímica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México, D.F, 74, pp. 337-345.
- Ma, L. J.; Geiser, D. M.; Proctor, R. H.; Rooney, A. P.; O'Donnell, K., Trail, F. y Kazan, K. (2013). *Fusarium* Pathogenomics. *Annual review of microbiology*. 67: 399-416 p.
- Martinson A.C, (1990). Pudrición de Mazorcas de maíz por *Fusarium* spp. *Revista Científica y Tecnológica de la Escuela Agrícola Panamericana* 31 (1), 1-45.
- Mendoza-Elos, M., Enríquez, E. A., López-Benítez, A., Rodríguez-Guerra, R., Latournerie-Moreno, L., & Herrera, S. A. R. (2003). Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. *Agronomía mesoamericana*, 19-24.
- Moreno ME. (1996). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México. 383 p.
- Murillo, I., Cavallarin, L. & San Segundo, B. (1999). Cytology of infection of maize seedlings by *Fusarium verticillioides* and immunolocalization of the pathogenesis-related PRms protein. *Phytopathology*. 89, 737-747.

- Ortega P. R. y J. J. Sánchez G. (1989) Aportaciones al estudio de la diversidad de maíz de las partes altas de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 12:105-119.
- Osorio-García, N. y López S, H y Ramírez V.H y Gil M. A y Gutiérrez R. (2015). Producción de maíz y pluriactividad de los campesinos en el Valle de Puebla, México. *Nova Scientia*, 7 (14), 577-600. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203338783030>. Fecha de Consulta: 24 de octubre de 2021.
- Padrón, H. Y. M., Delgado, S. H., Méndez, C. A. R., & Carrillo, G. V. (2013). El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México: problemática y perspectivas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 31(2): 126-146.
- Price, D. (1984). *Fusarium* and plant pathology: the reservoir of infection. En the applied mycology of *Fusarium*. 71-93 pp.
- Quiroz-Figueroa, Francisco & Quiroz-Chávez, Jesús & García-Pérez, Luz & Román, Shamir. (2016). Mejoramiento genético del maíz el caso de la fusariosis. *Ciencia y desarrollo*. 42-49.
- Requena, F, Saume, E. y León, A. (2005). Micotoxinas: Riesgos y prevención. *Cría de animales tropicales*. 23 (4): 393-410.
- Rosas, E.C., Castorena, M., Cienfuegos, V., Sánchez, R., Moreno, G., y Cortez-Rocha M.O. (2006). Análisis de la Micobiota y Fumonisin Presentes en Maíz Recién Cosechado en el Estado de Sonora. *Biotecnia*. 8 (2): 41-48
- SADER (2021). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. La identificación temprana, primera barrera contra plagas y enfermedades del maíz. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-identificacion-temprana-primera-barrera-contra-plagas-y-enfermedades-del-maiz>. Fecha de consulta: 12 de marzo 2022.
- SAGARPA (2013). Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185452/revista_271.pdf Fecha de consulta: 25 de febrero 2022.
- Samuels, G.J., Nirenberg, H.I., and Seifert, K.A. (2001). Perithecial species of *Fusarium*. In: B.A. Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W.L. Bryden, and L.W. Burgess (eds.). *Fusarium*. Paul E. Nelson Memorial Symposium. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 392 p.
- Sánchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000). Diversidad isoenzimática y morfológica en las razas de maíz de México. *Botanica Económica*. 54 (1): 43-59.
- Seifert K. (1996). Fuskey. *Fusarium* interactive key. Agriculture and Agri-Food Canada. 65 p.

- Sharma R.P. (2004). Mycotoxins in the food chain: a look at their impact on immunological responses. Proc. Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries. 20vo Annual Symposium Alltech. pp.306-314.
- SIACON. 2007. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. Anuario Estadístico de Producción Agrícola. SAGARPA. México D.F., México. 603 pp.
- SIAP (2020). Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera. Producción de maíz blanco en el estado de Morelos. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/morelos/articulos/produccion-de-maiz-blanco-en-el-estado-de-morelos>. Fecha de consulta: 22 de octubre de 2021.
- SIAP (2020). Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera. Cierre de la producción agrícola. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 18 de octubre 2021.
- Sumalan, R. M.; Alexa, E., y Poiana, M. A. (2013). Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. Chemistry Central Journal, 7(1), 1-12.
- Tapia, C. & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 31(1), 85-86. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>. Fecha de Consulta: 3 de noviembre 2021.
- Tribó F. (2021). Estrategias de Prevención y control para minimizar la contaminación por micotoxinas en maíz. Ficha Técnica Pioneer Hi-Bred Spain, S.L. 2 p.
- UNISEM (2014). Semillas todo terreno. Aflatoxinas y otras micotoxinas en maíz. Disponible en: <https://semillastodoterreno.com/2014/12/aflatoxinas-y-otras-micotoxinas-en-maiz> Fecha de consulta: 2 de Marzo 2022.
- Vega, V. (2012). Hongos Micotoxigenicos y Aflatoxinas en Granos de Maíz de Diferentes Orígenes Geográficos de la República Mexicana. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 79 pp.
- Wellhausen E. J., L. M. Roberts y E. Hernández X. (1951) Razas de Maíz en México, su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 237 p.