

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Resistencia de Poblaciones de Maíz Morado Peruano (*Zea mays* L.) a la Pudrición
de Tallo y Mazorca por *Fusarium* spp.

Por:

YAZMIN MELO JIMÉNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Resistencia de Poblaciones de Maíz Morado Peruano (*Zea mays* L.) a la Pudrición
de Tallo y Mazorca por *Fusarium* spp.

Por:

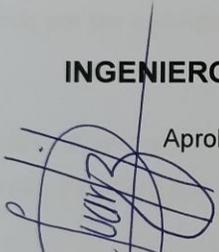
YAZMIN MELO JIMÉNEZ

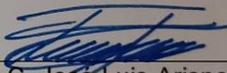
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

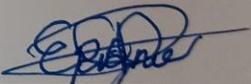
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

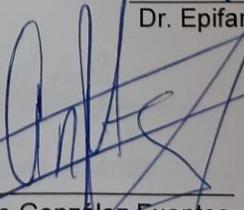
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Agustín Hernández Juárez
Asesor Principal Interno


M.C. José Luis Arispe Vázquez
Asesor Principal Externo


Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor


Dr. Epifanio Castro del Ángel
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2021

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, graficas, 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

Yazmin Melo Jiménez

AGRADECIMIENTOS

A Dios principalmente por la vida, salud, familia, amigos y todas las oportunidades que pusiste en mi camino, sé que hubo obstáculos, pero hoy gracias a ti he podido lograr uno de mis sueños el haber realizado mi carrera y espero cumplir muchos más, porque sé que tu no me dejaras sola. Dios mío estoy en tus manos permíteme lograr mucho más.

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme tus puertas y adoptarme en tu gran casa de estudios, me brindaste conocimientos, nuevas experiencias, amistades y maestros que pusieron un granito de arena para poder llegar a ser quien soy hoy en día, sé que aún me falta mucho que aprender, pero me voy tranquila porque me enseñaste buenas bases para después hacer mucho más.

A mis maestros, que a lo largo de mi estancia en la Narro me enseñaron un mundo dentro del ámbito de la agronomía, gracias por brindarme sus conocimientos, su tiempo y su ayuda para poder superarme como profesionista.

A mis asesores:

Dr. Agustín Hernández Juárez, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis, por poner en mi la confianza y haber logrado terminar satisfactoriamente este proyecto además por brindarme todo el tiempo, apoyo, conocimientos y sobre todo la amistad.

M.C. José Luis Arispe Vázquez, por haber estado en todo momento durante el desarrollo del experimento, tener paciencia y apoyarme para poder lograr un buen trabajo, por tu amistad, tiempo y conocimientos que fueron indispensables.

Dr. Antonio Flores Naveda, por haber apoyado y brindado las herramientas necesarias para poder realizar este trabajo de tesis, además por confiar en mí y ser parte de dicho trabajo.

Dr. Epifanio Castro del Ángel, por los consejos, apoyo y conocimientos para que se llevará a cabo un mejor trabajo.

A mi tío:

Imeldo Jaime Melo Melo, por creer en mí y apoyarme moral y económicamente en todo, gracias a ti he logrado mi gran sueño de terminar mi licenciatura, eres una persona fundamental en mi vida, no sé cómo pagarte todo lo que haces por mí. Gracias.

A mis padres y hermano:

María de los Ángeles Jiménez Tello, Rafael Melo Melo, Ángel Eduardo Melo Jiménez, por ser mi familia y mi apoyo moral, por darme buenos consejos y confiar en que podría terminar esta meta más, por siempre estar para mí a pesar de todo.

A mis amigos y compañeros, por acompañarme a lo largo de nuestra estancia en la universidad y convertirse en parte importante en mi vida porque durante este tiempo compartimos experiencias, aventuras, trabajos, dudas entre otras cosas, además por el apoyo dentro de este proyecto de tesis en especial a mi amiga **Xóchitl Guadalupe Hernández Huerta**.

A la familia Álvarez Saucedo, por ser mi segunda familia, mi familia de Saltillo que me abrió las puertas de su casa y confió en mí, por ser tan amables y apoyarme cuando más lo necesité, gracias por su amistad.

DEDICATORIAS

A mis tíos

Imeldo Jaime Melo Melo y José Luis Jiménez Tello por apoyarme en todo momento durante mi etapa de educación ya que sin su ayuda no pude haber logrado esto, además de siempre estar al pendiente de mí y motivarme para seguir echándole ganas al estudio y salir adelante.

A mis padres

Rafael Melo Melo y María de los Ángeles Jiménez Tello, por ser parte de mi vida y educarme, guiarme por un buen camino, además por brindarme educación y siempre estar al pendiente de mi bienestar.

A mis abuelos

Leonardo Melo Guzmán, Teodora Melo Hernández y Juanita Jiménez Tello †, por ser unas personas llenas de sabiduría que me aconsejaron cuando más lo necesite, en especial en el momento que inicie mi carrera.

A mi Hermano

Ángel Eduardo Melo Jiménez, por ser mi compañero de aventuras y animarme cuando estoy triste, por todo tu apoyo emocional y moral, porque éste es un logro para todos y quiero que tu igual le echés muchas ganas y cumplas todos tus objetivos de vida.

A mi novio

Juan José Pérez Torres, por ser mi compañero y apoyarme en todo momento además de siempre preocuparte por mí, le doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino y seguir juntos a pesar de todo, este logro se suma a muchos que quiero realizar contigo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
Justificación.....	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen del Maíz.....	4
Taxonomía	4
Botánica	5
Importancia del Maíz.....	6
Producción Mundial.....	6
Producción Nacional	7
Principales usos del maíz	8
Consumo humano.....	8
Industrial	8
Animal.....	9
Poblaciones de maíz.....	9
Maíz morado peruano	9

Antocianinas	10
Importancia de las antocianinas	10
Problemática fitosanitaria	11
Plagas	11
Malezas	11
Enfermedades	12
Género <i>Fusarium</i>	13
Generalidades	13
Taxonomía	13
Biología	14
Etiología	15
Sintomatología	15
Distribución geográfica del hongo	16
Importancia como patógeno	17
Daños en maíz por <i>Fusarium</i> spp.	18
Pudrición de mazorca	18
Pudrición de tallo	20
Resistencia de maíz	21
Producción de micotoxinas	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
Localización del experimento	23
Obtención de las cepas de <i>Fusarium</i>	23
Confirmación morfocultural de las cepas de <i>Fusarium</i>	23
Confirmación molecular de las cepas de <i>Fusarium</i>	24
Extracción del ADN	24

Amplificación por Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR).....	24
Prueba de sanidad en semillas (PSS).....	25
Germinación (GER) e Inhibición (INH).....	25
Longitud de plántula (LPL).....	25
Peso fresco de plántulas (PFP)	25
Preparación de suspensión de conidios.....	26
Siembra de las poblaciones de maíz	26
Inoculación.....	27
Manejo agronómico.....	27
Variables evaluadas en la Prueba de Patogenicidad en invernadero (PPI)	28
Emergencia de plántulas (EPL)	28
Longitud de tallo (LTA).....	28
Diámetro de tallo (DTA)	28
Plantas muertas (PMU).....	28
Incidencia y severidad de pudrición en tallo (IPT) e Incidencia y severidad de pudrición en mazorca (IPM) (SPM).....	28
Análisis de resultados	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIONES	50
LITERATURA CITADA.....	51
ANEXOS	76

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Principales enfermedades en maíz.....	12
Cuadro 2. Datos de las medias de los análisis morfo-moleculares por tipo de especie	32
Cuadro 3. Referencia de caracteres morf-metricos similares en gran parte a los identificados en nuestra investigación.....	33
Cuadro 4. Porcentaje de germinación e inhibición de semillas de poblaciones de maíz peruano en estudio	35
Cuadro 5. Porcentaje de incidencia y severidad de semillas de tres poblaciones de maíz peruano en estudio.....	39
Cuadro 6. Porcentaje de emergencia de las plantas de las poblaciones de maíz peruano en estudio	41
Cuadro 7. Porcentaje de incidencia de pudrición en tallos de tres poblaciones de maíz peruano en estudio	45
Cuadro 8. Porcentaje de incidencia y severidad de pudrición en mazorca de tres poblaciones de maíz peruano en estudio.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principales países productores de maíz a nivel mundial.....	7
Figura 2. Principales estados productores de maíz en México.	8
Figura 3. Distribución geográfica de <i>Fusarium</i> spp. (SAGARPA, 2013).....	17
Figura 4. Pudrición de mazorca por <i>F. graminearum</i> y por <i>F. verticillioides</i>	19
Figura 5. Daño en tallo ocasionado, A= por <i>F. verticillioides</i> , y B= por <i>G. zeae</i>	21
Figura 6. Ubicación del área de trabajo.	23
Figura 7. Suspensión de conidios de cepas de <i>Fusarium</i> spp.	26
Figura 8. Inoculaciones de <i>Fusarium</i> spp., sobre las poblaciones de maíz morado peruano en las tres etapas.....	27
Figura 9. Marcadores moleculares de las especies de <i>Fusarium</i> identificadas.....	30
Figura 11. Características microscópicas de cada especie.....	31
Figura 12. Longitud de plántula en la PSS de maíz peruano en evaluación.	36
Figura 13. Peso fresco de plántulas en la PSS de maíz peruano en evaluación.	38
Figura 14. Longitud de tallo de plantas de maíz peruano evaluado durante cuatro meses.	42
Figura 15. Diámetro de tallo de plantas de maíz peruano evaluado durante cuatro meses.	43
Figura 16. Porcentaje de plantas muertas de maíz peruano en evaluación.....	44

RESUMEN

El maíz morado peruano tiene importancia sociocultural principalmente por sus antocianinas; ya que actúan como antioxidante natural y anticancerígeno. Este cultivo es comúnmente dañado por patógenos, destacando *Fusarium* spp., con pudriciones, que reducen la calidad y el rendimiento de las cosechas, además, tienen la capacidad de producir micotoxinas. El objetivo de la presente investigación fue determinar la resistencia de tres poblaciones de maíz morado peruano a *Fusarium* spp. Se aislaron e identificaron morfo-molecularmente tres cepas de *Fusarium* mediante claves taxonómicas, con el software DinoCapture 2.0, así como la extracción del rDNA y PCR; de éstas cepas, se realizó una suspensión de conidios de 1×10^8 esporas mL^{-1} , y se inoculó el maíz en tres etapas; la primera al momento de la siembra, a los 15 días después de la emergencia y 30 días antes de la floración. La evaluación se llevó a cabo sobre la emergencia, el crecimiento vegetativo, plantas muertas, el tallo y la mazorca, con la finalidad de determinar la incidencia y severidad de la enfermedad. Los datos se sometieron a un análisis de varianza con arreglo factorial AxB, donde; A= poblaciones de maíz y B = *Fusarium* spp., y comparación entre medias con una prueba de rango múltiple de Tukey ($p= 0.05$), utilizando el software estadístico SAS. Las especies identificadas fueron *F. verticillioides*, *F. napiforme* y *F. equiseti* con una identidad de 91 al 100%, respectivamente. La especie *F. equiseti* fue la más patogénica, con 51.11 y 57.82% de incidencia y severidad, mientras que *F. napiforme* fue la que ocasionó el menor daño con 26.66 y 23.29% respectivamente. La población tres fue la más susceptible al daño por *Fusarium* spp., con 51.82% de severidad, por otro lado, la población uno fue la que presentó el menor daño, con apenas 41.78%, de modo que, esta población mostró aparentemente cierto grado de resistencia a *Fusarium* spp. en estudio (58.22%). La población uno presentó cierto grado de resistencia a *Fusarium* spp. con un buen comportamiento en las variables agronómicas evaluadas.

Palabras clave: poblaciones, *Fusarium* spp., antocianinas, micotoxinas, resistencia.

INTRODUCCIÓN

El maíz *Zea mays* L. (Poaceae) es el cultivo más representativo de México debido a su importancia social, cultural y económica, y ocupa el octavo lugar en producción a nivel mundial (FAO, 1993; ASERCA, 2018; USDA, 2019). La producción de maíz en el mundo para el ciclo 2018-2019 fue de 1, 148.48 millones de toneladas (Mt) y los principales países productores con el 74.8 % de la producción mundial son Estados Unidos (32.6 %), China (22.9 %), Brasil (9.0 %), Argentina (4.5 %) y Ucrania (3.4 %) (FAOSTAT, 2021). En el ciclo 2020 México obtuvo una producción de 27.18 Mt de maíz, destacando como los principales estados productores Sinaloa (21.4 %), Jalisco (14.2 %), Michoacán (7.3 %), Estado de México (7.1 %) y Guanajuato (6.2 %) (SADER, 2020; SIAP, 2020).

El maíz morado peruano, tiene características especiales debido a los pigmentos que posee, llamados antocianinas, que pertenecen al grupo de los flavonoides; adicionalmente, éste maíz aporta cantidades importantes de almidón (80%), azúcares (10%), proteínas (11%), minerales (2%) y vitaminas (complejo B y ácido ascórbico) (Guillén-Sánchez *et al.*, 2014). Las antocianinas son importantes ya que actúan como antioxidante natural y anticancerígeno (Garzón, 2008; Salinas *et al.*, 2012), además, por ésta razón tienen impacto sobre las características sensoriales de los alimentos (Aguilera *et al.*, 2011).

En el maíz como en el resto de los cultivos, se presentan distintos problemas fitosanitarios, como son plagas y enfermedades, que causan pérdidas significativas a los agricultores y amenazan la seguridad alimentaria (FAO, 2020). Uno de los principales problemas fitosanitarios es el género *Fusarium* Link (Hypocreaceae), éste patógeno está distribuido a nivel mundial (en más de 32 países) y afecta a más de 80 cultivos de importancia comercial (Seminis, 2017). La mayoría de las especies de *Fusarium* son saprófitas, de modo que, algunas especies son económicamente significativas debido al devastador impacto que pueden tener en las cosechas (CANNA, 2020). La severidad de esta enfermedad en maíz causa un efecto directo en

la disminución del rendimiento, por ejemplo, para el centro de México, oscilan entre 6-55% (González *et al.*, 2007).

Fusarium es el principal hongo que afecta la productividad del maíz en el mundo; cuando las condiciones ambientales son favorables, éste patógeno daña los tejidos de la planta y es capaz de provocar pudrición en órganos como la raíz, tallo y la mazorca (De la Torre-Hernández *et al.*, 2014); dichas 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, y son las enfermedades más graves en el maíz y a menudo dañan diferentes órganos al mismo tiempo (Li *et al.*, 2019). El incremento de las pudriciones se asocia a distintos factores bióticos y abióticos, como son el manejo agronómico, condiciones ambientales, plagas, enfermedades entre otros (Figueroa-Rivera *et al.*, 2010).

El género *Fusarium* produce micotoxinas en el tejido y en los granos del maíz, lo que disminuye su calidad y por lo tanto su rendimiento (Paliwal, 2001), y las principales micotoxinas producidas por algunas de las especies de éste género son fumonisinas, tricotecenos y zearalenonas, las cuales pueden afectar la salud de personas y animales (Mendoza *et al.*, 2003; Abrunhosa *et al.*, 2012; Villa *et al.*, 2014; Ozono, 2017).

En la actualidad, la mayoría de los híbridos de maíz son susceptibles a estas enfermedades, por lo que hoy en día la resistencia a la pudrición de mazorca y tallo tiene un gran interés debido a la detección de micotoxinas de *Fusarium* en el grano principalmente; se sabe que esta característica se hereda de manera cuantitativa y para poder evaluarla es necesario emplear diferentes métodos de inoculación artificial, épocas y concentración de esporas (Mesterházy *et al.*, 2012). El control de la pudrición por *Fusarium* en maíz mediante medidas agronómicas y químicas no es muy eficaz, es necesario recurrir al desarrollo de genotipos de maíz con resistencia y es importante para reducir la pérdida de rendimiento y evitar la contaminación por micotoxinas (Li *et al.*, 2019).

Justificación

El control tradicional de la pudrición por *Fusarium* spp. en maíz no ha resultado del todo favorable, por un lado, los productos químicos son poco efectivos, ocasionan problemas a la salud y por otro, los fitopatógenos generan resistencia a estos productos, aunado a que estos fitopatógenos producen micotoxinas que dañan a la salud humana y animal. La búsqueda de alternativas de control de *Fusarium* en maíz, pone de manifiesto la búsqueda de híbridos resistentes a este fitopatógeno, que protejan al cultivo, reduciendo el daño y consecuentemente menor producción de micotoxinas, favoreciendo la producción e inocuidad del maíz.

Objetivo general

Identificar poblaciones de maíz morado peruano resistentes a la pudrición en tallo y mazorca por *Fusarium* spp.

jk

Objetivos específicos

Identificar morfo-molecularmente especies de *Fusarium*.

Estimar la incidencia y severidad en semilla de maíz morado peruano ocasionada por *Fusarium* spp.

Estimar la incidencia y severidad en tallo y mazorca por *Fusarium* spp. en la etapa de cosecha de tres poblaciones de maíz morado peruano.

Evaluar el efecto de *Fusarium* spp. sobre parámetros agronómicos de tres poblaciones de maíz morado peruano.

Hipótesis

Al menos una población de maíz presentará resistencia o menor daño de pudrición en tallo y mazorca por *Fusarium* spp.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Maíz

Desde hace 7 000 o 10 000 años, el maíz es considerado como una de las primeras plantas cultivadas (Carrillo, 2009) y México es el centro de origen, domesticación y diversificación (Kato *et al.*, 2009); y en América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz, de las cuales 64 (29%) se han identificado y descrito en su mayoría para México, es decir, 59 razas se pueden considerar nativas (CONABIO, 2020), donde, muchos agricultores se encargan día con día que dichas razas se sigan produciendo en el país.

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, es una planta domesticada y altamente productiva (Sánchez, 2014), procede de un antepasado de tipo silvestre; un cereal de grano duro, contenido en una vaina, en el que cada semilla estaba protegida por una cubierta formada por dos valvas, el teocintle (Asturias, 2004). Actualmente, en México se concentra el mayor número de variedades de maíz blanco, azul, gordo, dulce, chiquito, bofo, vendeño, conejo, dulcillo del noroeste, chapalote y amarillo, que forman parte de nuestra alimentación diaria, además de ser utilizado en la actualidad como forraje para la ganadería (ASERCA, 2018).

Taxonomía

El género *Zea* pertenece a la familia Poaceae que comprende más de 600 géneros (Kato *et al.*, 2009), a continuación, se muestra la clasificación taxonómica del maíz:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Paricoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

Botánica

Paliwal (2001) mencionó que la planta de maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y de producción anual y actualmente se puede describir de la siguiente manera:

Tallo

El tallo es simple erecto, de elevada longitud, robusto y sin ramificaciones. No presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal.

Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina, presenta una panícula de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral.

Hojas

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas y paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades.

Raíces

Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

Importancia del Maíz

Hoy en día el maíz es un cereal ampliamente difundido, mostrándose como el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, además de que es el primer cereal en rendimiento de grano por ha (FAO, 2021).

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial, de modo que, es uno de los alimentos básicos más importantes tanto para los humanos como para los animales, además, sirve como fuente de un gran número de productos industriales y debido a sus grandes propiedades permiten utilizarlo como biocombustible (Bembibre, 2011); es por mucho el cultivo agrícola más importante de México (Pinedo *et al.*, 2009), desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social con un consumo promedio *per cápita* al año de 196.4 kg (Cruz *et al.*, 2012).

Los pequeños productores son los encargados principalmente de la siembra en su forma comercial, esencialmente de variedades nativas que aportan alrededor de 60% de la producción nacional y al unirse con los medianos productores (de hasta 10 t/ha), suman el 91% de la superficie sembrada, lo que significa que juntos aportan del 75% de la producción nacional de maíz (SADER, 2020).

Producción Mundial

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2021) indica que durante el ciclo comercial 2018/19 la producción mundial de maíz fue la segunda más alta de la historia, con 1.148 Mt, lo cual representa un incremento de 4.2% con respecto al ciclo anterior, es decir, 48.2 Mt (Fig. 1).

De acuerdo con el USDA (2019), durante el ciclo 2018/19 los cinco principales países productores que concentraron el 74.8% de la producción mundial fueron Estados Unidos (32.6%), China (22.9%), Brasil (9.0%), Argentina (4.5%) y Ucrania (3.4%), y México ocupó el octavo lugar con 2.5% de la producción mundial; en cuanto al consumo mundial, al final del ciclo comercial 2018/19, se ubicó en un máximo histórico de 1,148 Mt, de las cuales 705 Mt (62.5% del consumo total) se destinan para consumo forrajero y 422 Mt (37.5 %) se destina para consumo humano e industrial.

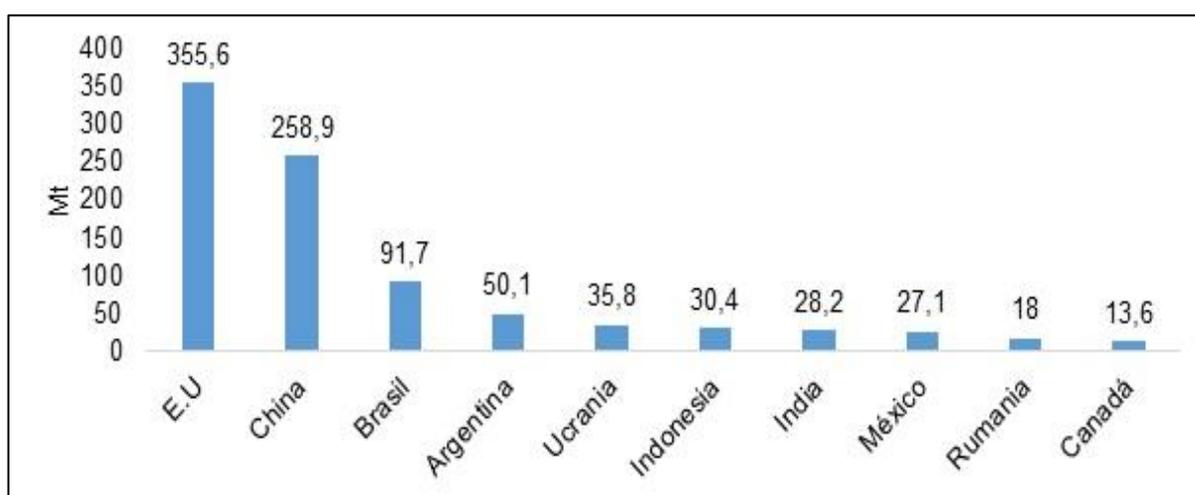


Figura 1. Principales países productores de maíz a nivel mundial.

Producción Nacional

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020) reportó una producción nacional durante el ciclo agrícola 2020 de 27.17 Mt y el 86.7% de la producción fue maíz blanco, 12.9% maíz amarillo y 0.4% otros tipos de maíz (azul, pozolero y de otros colores). Dentro de las principales entidades productoras de maíz se encuentran Sinaloa (28.6%), Jalisco (9.7%), Michoacán (6.6%), Estado de México (5.7%) y Chihuahua (5.6%); estados productores que representan el 56.2% de la producción nacional (Fig. 2).

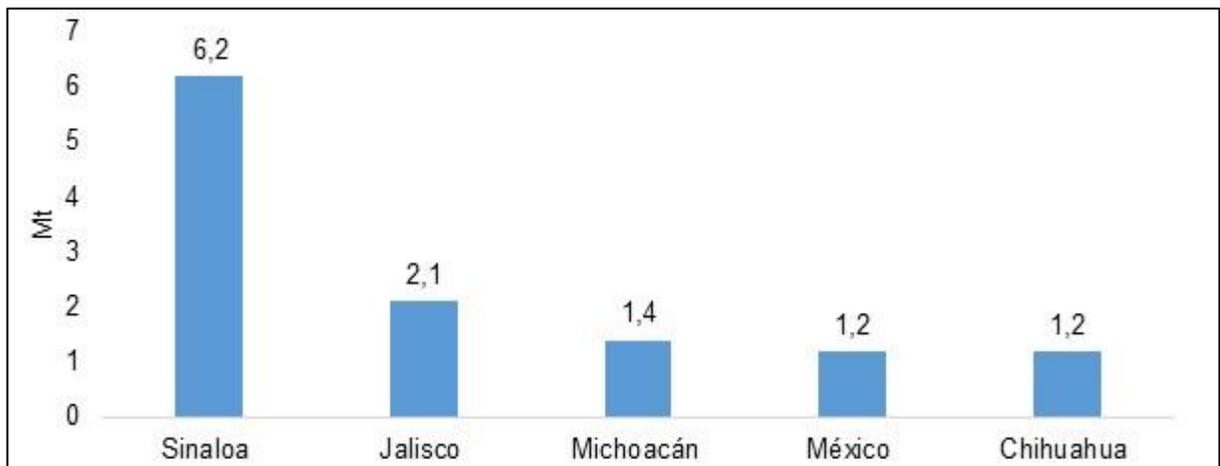


Figura 2. Principales estados productores de maíz en México.

Principales usos del maíz

El maíz se distingue por sus múltiples posibilidades de utilización (ILSI, 2006), en México el uso alimenticio es el predominante, sin embargo, para el resto del mundo es importante como insumo en alimentos balanceados para animales y en la industria (González, 2021).

Consumo humano

El maíz es consumido por las personas debido a su amplio aporte de nutrientes, por ejemplo; carbohidratos, grasas, calorías, hierro (Penelo, 2019), además, se considera al maíz como un elemento estratégico para la seguridad alimentaria en sus distintas formas de uso y valores socioculturales, principalmente para el medio rural (González-Cortés *et al.*, 2016).

Industrial

Se emplea para uso industrial como la producción de bioetanol, fabricación de pinturas, disolventes, productos cosméticos, polímeros biodegradables, entre otros. Los procesamientos que se hacen al grano son molienda húmeda, molienda seca, obtención de aceite del germen extraído en ambas moliendas y producción de bioetanol, dichos procesos generan subproductos que son destinados a la alimentación animal (Izquierdo *et al.*, 2013).

Animal

La mayor parte de la producción mundial de maíz es destinada a la alimentación animal (Schoijet, 2005). La planta de maíz es un excelente forraje para el ganado, debido a su alto contenido de almidón y bajo contenido de fibra que hacen que sea una alta fuente de concentración de energía (Mendoza y Ricalde, 2016).

Poblaciones de maíz

Las poblaciones nativas de maíz, comúnmente denominadas criollas, han sido preservadas por los productores a través de numerosas generaciones. En algunas poblaciones coexisten con organismos benéficos y patógenos en condiciones microecológicas específicas, factores que han permitido la conservación de la diversidad genética del cultivo (Briones *et al.*, 2015).

Maíz morado peruano

El maíz morado es una planta oriunda de América, que tiene el epispermo de las semillas (granos) y la tusa (coronta) de color morado, lo que le otorga características especiales a los pigmentos que poseen (entre 1.5 y 6.0%), llamados antocianinas, que pertenecen al grupo de los flavonoides. Debido a su alto contenido de antocianinas (cianin-3-glucosa C3G que es su principal colorante) y compuestos fenólicos, actúa como un poderoso antioxidante natural y anticancerígeno, teniendo además propiedades funcionales debido a estos compuestos bioactivos, además, tiene una composición rica en fitoquímicos, que tienen efectos benéficos en nuestro cuerpo, como; neutralizar los radicales libres y actuar como antimutagénico (Guillén-Sánchez *et al.*, 2014).

El maíz morado pertenece a la raza *Kculli*, y se ha cultivado en la región andina peruana desde hace aproximadamente el año 900 a.C. y se utiliza en el país para infundir color, en bebidas tradicionales y postres (Gálvez *et al.*, 2017), además, gran

parte de la producción del maíz morado se queda en Perú y el resto es exportado hacia otros países (Delmaíz, 2020).

Antocianinas

Las antocianinas son las responsables de la gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul, se encuentran acumulados en las vacuolas de la célula llamadas antocianoplastos, además, poseen diferentes funciones en la planta, como son la atracción de polinizadores para la posterior dispersión de semillas y la protección de la planta contra los efectos de la radiación ultravioleta y contra la contaminación viral y microbiana (Garzón, 2008). Las antocianinas están presentes en diferentes órganos del maíz, tales como: mazorca, granos, cascara y seda; sus pigmentos antociánicos son normalmente encontrados disueltos uniformemente en la solución vacuolar de células epidérmicas (Aguilera *et al.*, 2011).

La principal fuente de antocianinas son frutas rojas, bayas y uvas rojas, cereales, maíz morado, vegetales y vino rojo entre otras bebidas. El maíz morado es beneficioso para la salud, ya que tiene fitoquímicos útiles y actualmente se puede utilizar como fuente de antioxidantes (Khamphan *et al.*, 2018).

Importancia de las antocianinas

El interés por los pigmentos antociánicos se debe a su probable papel en la reducción de las enfermedades coronarias, cáncer, diabetes, efectos antiinflamatorios y mejoramiento de la agudeza visual y comportamiento cognitivo (Garzón, 2008). Aguilera *et al.* (2011) aludieron que las antocianinas son importantes por dos razones; la primera por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos y la segunda, por su implicación en la salud humana a través de diferentes vías. Las antocianinas del grano de maíz rojo y azul/morado se han evaluado por sus actividades biológicas especialmente su actividad antioxidante, dicha actividad tiene relevancia por su relación con efectos anti-carcinogénicos, además se sabe que las antocianinas también tienen actividad antimicrobiana y antiproliferativa (Salinas *et al.*, 2012).

Problemática fitosanitaria

Dentro de los problemas fitosanitarios que afectan al maíz están las malezas, los hongos y los insectos (AS, 2017).

Plagas

Los insectos plaga causan importantes daños en el cultivo de maíz, por ejemplo; en la semilla, las raíces, el tallo, las hojas y el fruto, sin embargo, unos pocos son de importancia económica (Páliz y Mendoza, 2014). Por lo tanto, durante el ciclo del cultivo se debe de tomar el control adecuado para que la población de insectos no afecte la producción del maíz y por ende cause daños económicos.

Los ataques de plagas pueden provocar daños mecánicos en mazorca y granos, lesiones que pueden contribuir a la diseminación de patógenos como los hongos, además, algunas de las plagas más importantes en el cultivo de maíz son: Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), barrenadores *Diatraea* spp. Guilding (Lepidoptera: Crambidae) plagas rizófagas (Coleópteros), trips *Frankliniella* spp. Karny (Thysanoptera: Thripidae), chicharritas (Hemiptera: Cicadellidae), moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), pulgones *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae), entre otras (De León, 2003).

Malezas

Una maleza es cualquier planta que presenta peligro o causa daños al hombre, el IICA (2013), señaló que los primeros 30 días del desarrollo del cultivo de maíz, es muy crítico, debido a la presencia de malezas, por lo que se debe de asegurar que crezca libre de este problema fitosanitario, ya que éstas son las causantes del 10 al 84% de la reducción en su rendimiento. Las principales malezas que afectan al cultivo de maíz son las de hoja ancha, las de hoja angosta (gramíneas) y las ciperáceas.

Enfermedades

El cultivo de maíz es susceptible a varias enfermedades, que logran afectar la fisiología y el desarrollo normal de las plantas; éstas enfermedades son de gran importancia debido a los daños económicos y a la reducción del rendimiento, es por eso que se deben detectar a tiempo y emplear medidas de control o bien utilizar variedades resistentes o tolerantes a los distintos patógenos (De Rossi *et al.*, 2016).

De acuerdo a Varón y Sarria (2007), las enfermedades son favorecidas por las condiciones ambientales, el tipo de suelo, la susceptibilidad de los materiales y en el caso de las enfermedades de origen viral, por las condiciones que favorezcan la migración, establecimiento y supervivencia de los insectos vectores. En el cuadro 1 se muestran las enfermedades de mayor importancia en el cultivo de maíz en México (Ruíz, 2018).

Cuadro 1. Principales enfermedades en maíz

Enfermedades causadas por hongos	Enfermedades causadas por bacterias	Enfermedades causadas por virus
Enfermedades foliares	Pudrición de tallo	Achaparramiento
Pudrición de tallo y carbones	Marchites de Stewart	Rayado fino del maíz
Pudrición de mazorca	Rayado foliar bacteriano	

Los hongos son el grupo más numeroso de patógenos (agentes causales), que persisten en el suelo y rastrojo, y pueden provocar enfermedades como podredumbre de tallo y raíz y una de las enfermedades foliares más importantes del maíz (Sillon, 2021), ocasionando grandes pérdidas económicas (Pérez *et al.*, 2012) y dentro de los hongos de mayor importancia que causan pudriciones en maíz tenemos al género *Fusarium/Gibberella* Link (Nectriaceae), *Diplodia* P. (Botryosphaeriaceae), y *Aspergillus* P. Micheli ex Haller (Trichocomaceae) (DSTDP, 2014).

Género *Fusarium*

Generalidades

Las especies de este grupo cosmopolita de hongos se encuentran ampliamente distribuidos en el suelo y son capaces de colonizar la parte aérea y subterránea de las plantas, así como restos vegetales y otros sustratos orgánicos (Camacho, 2012). El género *Fusarium* fue descrito por primera vez en 1809 por Link, quien lo definió como especies de forma hialina, con esporas no septadas que nacían en un estroma, con forma de canoa o banana, el cual era el carácter primario distintivo. Es un grupo de hongos filamentosos que son considerados oportunistas ya que tienen la capacidad de crecer a 37 °C (Tapia y Amaro, 2014).

El género *Fusarium* es un problema agrícola importante debido a que reduce la calidad y el rendimiento (Leyva *et al.*, 2017), pueden vivir de manera saprofita sobre residuos de estos cultivos. Las especies patógenas de este género pueden causar marchitamientos y pudriciones. Algunas especies producen micotoxinas, que son metabolitos secundarios capaces de provocar enfermedades severas en animales y humanos que ingieren productos contaminados con ellas (Marín, 2010).

Las especies de *Fusarium* causan un amplio espectro de infecciones y de las más de 100 especies descritas, solo 12 de ellas pueden considerarse patógenas para el humano, entre ellas destacan *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Fusarium oxysporum* Schltdl. y *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (sinónimo de *F. moniliforme* Sheldon, teleomorfo *Gibberella moniliformis* (Sheldon) Wineland (Salah *et al.*, 2015).

Taxonomía

La taxonomía para este género es bastante compleja por lo que ha sufrido diversos cambios desde las primeras descripciones hechas por Link en 1803 (De la Torre-Hernández *et al.*, 2014). De acuerdo a investigadores como Leslie y Summerell (2006), la clasificación de *Fusarium* se ubica de la siguiente manera:

Reino: Fungi

División: Ascomycota

Subdivisión: Pezizomycotina

Clase: Sordariomycetes

Subclase: Hypocreomycetidae

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium* Link

Biología

Fusarium es un género de hifomicetos, anteriormente clasificado en Deuteromycetes y actualmente es considerado un género anamórfico afiliado a los Hipocreales (Ascomycetes). La etapa sexual (teleomorfos) de muchas especies importantes se encuentran en *G. moniliformis* (Gordon y Martyn, 1997; Gómez, 2008).

Arbeláez (2000) citando a Nelson (1981), mencionó que las especies de *Fusarium* se caracterizan por producir colonias de crecimiento rápido y tres tipos de esporas: microconidios, macroconidios y clamidosporas. Los microconidios son esporas unicelulares, sin septos, hiliadas, de elipsoidales a cilíndricas, rectas o curvadas. Los macroconidios, son esporas de pared delgada, fusiformes, largas, moderadamente curvadas, con varias células y de tres a cinco septos transversales, con la célula basal elongada y atenuada. Las clamidosporas son esporas formadas a partir de la condensación de células de las hifas o de los macroconidios y se caracterizan por poseer paredes bastante gruesas, lo que las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables. Las clamidosporas se forman simples o en pares, son terminales o intercalares y son las principales responsables de la sobrevivencia del hongo en tejidos muertos de plantas hospedantes o en el suelo (Seifert, 1996).

Etiología

El género “*Fusarium*” hace referencia a la forma asexual y en general se considera que el estado sexual de éste hongo (*G. moniliformis*) no es frecuentemente encontrado en la naturaleza (Carmona y Scandiani, 2010). El hongo *Fusarium* habita en el suelo en forma de micelio o en cualquiera de las formas de esporas, aunque mayormente sobrevive en forma de clamidosporas. Se propaga a través del agua o de implementos agrícolas y una vez estando éste patógeno en el suelo puede permanecer en él por tiempo indefinido (FAO, 2021). Los tubos germinales de las esporas, o el micelio del hongo penetra en las raíces o a través de heridas; así éste patógeno se propaga entre las células a través de la corteza de la raíz hasta llegar al xilema. Dentro del xilema, el micelio del hongo se ramifica y produce microconidios que son llevados hacia la parte superior de la planta, infectando tallo y ápice. Una vez alcanzado el punto donde termina el movimiento ascendente, el micelio penetra la pared superior de los vasos y produce más microconidios en los otros vasos, para avanzar lateralmente por la planta (Villaverde, 2018).

El comportamiento del hongo *Fusarium*, nos puede afectar en las primeras etapas de cualquier cultivo ya que éste patógeno se caracteriza por permanecer en el suelo para después causar graves daños viéndose afectada la producción (Lori *et al.*, 1997).

Sintomatología

Fusarium puede causar efectos negativos en los cultivos, como son: marchitamiento vascular, decadencia radicular, putrefacción del pie y del tallo, lesiones de las hojas, podredumbre del fruto, fusariosis de la espiga en cereales y descomposición postcosecha (Koppert Biological Systems, 2020). *Fusarium* spp., en el maíz ocasionan marchites desde plántulas hasta planta adulta, causando generalmente pudriciones en los órganos vegetativos, como hojas, tallo y raíz (Figuroa-Rivera *et al.*, 2010).

La principal sintomatología que se presenta en el cultivo de maíz (mazorca) es un crecimiento de moho polvoso con una coloración salmón pálido, compuesto por grandes números de esporas y conidios (Mendoza *et al.*, 2006). Los síntomas de la

podrición por *Fusarium* inician con la alteración de la coloración externa de la base del tallo, siendo que las plantas infectadas presentan la médula de color blanco-rosada a rosa-salmón. La podrición afecta las raíces, base de la planta y los entrenudos inferiores, pudiendo llevar al quebrado del tallo y a madurez prematura. La enfermedad inicia comúnmente luego de la polinización y se torna más severa a medida que la planta se acerca a la maduración (Carmona y Scandiani, 2010).

Distribución geográfica del hongo

Los hongos del género *Fusarium* tienen una amplia distribución en el mundo y una gran importancia desde el punto de vista agrícola y económico, presenta una distribución cosmopolita y es endémico de zonas maiceras de todo el mundo (Arbeláez, 2000) y varias de sus especies son fitopatógenas e infectan a una amplia gama de cultivos, incluyendo maíz *Z. mays*, trigo *Triticum* L., avena *Avena sativa* L. y cebada *Hordeum vulgare* L. (Poaceae) (Leyva et al., 2017).

Mundialmente, se distribuyen alrededor de 70 o más especies de *Fusarium* (Fig. 3), de las cuales, algunas son patogénicas para maíz y pueden perjudicar la planta, pero es imprescindible distinguir los modos de acción de cada especie, porque no todas provocan los mismos efectos en la planta. Dichas especies son *Fusarium graminearum* (Schwabe), *F. verticillioides*, *Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg, *Fusarium subglutinans* (Wollenw. & Reinking) PE Nelson, Toussoun & Marasas, *Fusarium globosum* Rheeder, Marasas y PE Nelson, *Fusarium pseudoanthophilum* Nirenberg y O'Donnell, *Fusarium sacchari* (EJ Butler y Hafiz Khan) W. Gams y *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc. (AgroVoz, 2010; Schoch et al., 2020).

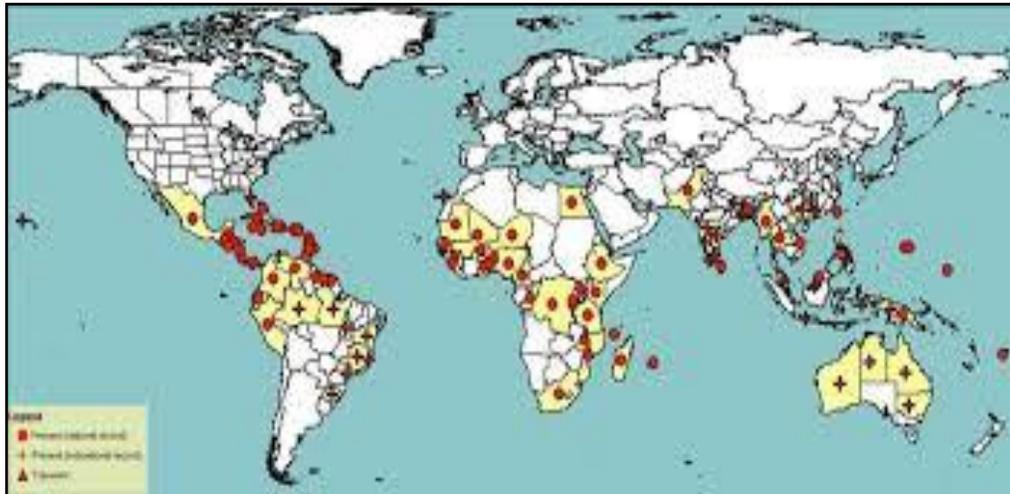


Figura 3. Distribución geográfica de *Fusarium* spp. (SAGARPA, 2013).

Importancia como patógeno

Dentro del género *Fusarium* existe un amplio número de especies y razas, las cuales afectan a muchos cultivos reduciendo así su productividad y valor, de ahí su importancia como patógeno (Watanabe *et al.*, 2011). Debido a las características que posee éste género, como ser un patógeno facultativo, tiene una alta capacidad de sobrevivir en materia orgánica y a su vez puede atacar la planta cuando ésta sufre un desbalance; como se mencionó, es capaz de sobrevivir por largos periodos en el suelo, debido a sus estructuras de resistencia denominadas clamidosporas, por lo que, los principales mecanismos de dispersión son los movimientos de suelo infectado, el agua de escorrentía y el uso de almácigos infectados (Daugovish *et al.*, 2008; Veneros-Terrones *et al.*, 2017).

La infección del patógeno se puede favorecer por la presencia de heridas o aberturas naturales en el sistema radical, sin embargo, el patógeno presenta mecanismos para invadir el tejido por sí solo y sin ayuda de heridas (Kenneth *et al.*, 2018).

Daños en maíz por *Fusarium* spp.

En todas las regiones productoras de maíz del mundo, cada año se presentan enfermedades que afectan el rendimiento y la calidad del grano. Entre las enfermedades que más destacan son las pudriciones de mazorca y tallo, que están inducidas por especies de *Fusarium*, las cuales provocan graves daños en el cultivo (García-Aguirre y Martínez-Flores, 2010).

Las pérdidas mundiales por enfermedades en los distintos cereales son de aproximadamente 9.4% (107.9 Mt) de la producción total. Las pudriciones de la mazorca y tallo causadas por especies de *Fusarium*, se encuentran entre las enfermedades más importantes a nivel mundial, se presentan principalmente en países de África, América y Asia. Las pérdidas de rendimiento que causan las enfermedades del maíz a nivel mundial se encuentra entre 7 y 17% (195.2 Mt). En México la pérdida de rendimiento que causan las enfermedades del maíz, se encuentran entre 7.5 y 38.0% (10.3 Mt). En México se han reportado en la región de Valles Altos, El Bajío y en los estados de Tamaulipas, Sinaloa, Jalisco, Veracruz, Chiapas, Durango, Guanajuato, Sonora principalmente (Hernández-Delgado *et al.*, 2007; Rivas-Valencia, 2011).

La pudrición de mazorca ha causado reducción del rendimiento a nivel nacional de hasta 50% (13.5 Mt), mientras que la pudrición del tallo puede ocurrir con una incidencia (plantas dañadas) hasta 75% y causar pérdidas de 57% (15.5 Mt). Aunque la pudrición de mazorca y del tallo de maíz es causada por diversos géneros de hongos, las especies más frecuentemente reportadas como causantes de éstas enfermedades en México corresponden al género *Fusarium*, al igual que en otras regiones del mundo (Briones *et al.*, 2015).

Pudrición de mazorca

Gibberella zeae (Schwein.) Petch (Nectriaceae) y *F. verticillioides* en el cultivo de maíz provocan pudrición de mazorca y de tallo, y tizón en las plántulas. *G. zeae*, el estado

sexual del patógeno, es más común en las zonas frías y húmedas. Los primeros signos de la infección son la formación de micelios blancos, que van descendiendo desde la punta de la mazorca y dan una coloración rojiza y rosada a los granos infectados (Fig. 4). *F. verticillioides* produce micotoxinas (conocidas como deoxinivalenol, zearalenona y zearalenol) que son tóxicas para varias especies de animales (CIMMYT, 2004).



Figura 4. Pudrición de mazorca por *F. graminearum* y por *F. verticillioides*.

La pudrición por *F. verticillioides* es probablemente el patógeno más común de la mazorca de maíz en todo el mundo; a diferencia de *G. zae*, el daño que causa *F. verticillioides* se manifiesta principalmente en granos individuales o en ciertas áreas de la mazorca. Los granos infectados desarrollan un moho algodonoso o rayas blancas en el pericarpio y germinan estando aún en el olote. Por lo general, las mazorcas invadidas por barrenadores del tallo son infectadas por *F. verticillioides*. El hongo produce micotoxinas conocidas como fumonisinas, que son perjudiciales para los humanos y los animales (Qu *et al.*, 2008), debido al potencial tóxico de sus metabolitos secundarios, las fumonisinas son toxinas carcinogénicas producidas por el hongo en los granos de las mazorcas afectadas (Gaspardo *et al.*, 2012).

Los síntomas específicos son la pudrición de granos en forma aislada o en pequeñas áreas de la mazorca, los granos infectados pueden germinar aun estando en la mazorca, en infecciones tardías se presentan rayas sobre la semilla, no todos los granos enfermos son distinguibles en la mazorca desgranada, debido a que muchos de ellos no muestran síntomas externos y además de que los granos menos dañados

se distinguen por el pericarpio arrugado y menos brillante, por el color café que algunas veces presenta el área que rodea al embrión (ANDES, 2019).

La incidencia de la pudrición de mazorca está relacionada con la susceptibilidad intrínseca del genotipo, el manejo agronómico y las condiciones ambientales a las que se exponen durante su desarrollo, ésta enfermedad causa pérdidas de rendimiento de 23 a 30% (Lanubile *et al.*, 2017).

F. verticillioides es el principal hongo patógeno del cultivo y limitante de la productividad porque ocasiona pérdidas cuantiosas que varían año con año, y cuando las condiciones ambientales son favorables, infecta los tejidos de la planta y es capaz de provocar pudrición en órganos como la raíz, el tallo y la mazorca, por ejemplo; el clima caliente y húmedo favorece la pudrición de la mazorca durante el periodo de llenado de grano (De la Torre-Hernández *et al.*, 2014).

La invasión de éste patógeno en las mazorcas cobra mayor importancia debido al potencial tóxico de los metabolitos secundarios producidos por el hongo, entre los que se encuentran las fumonisinas, sustancias carcinogénicas, como el ácido fusárico, fusarinas, giberelinas, moniliformina, zearalenona, tricotecenos y fumonisinas (Cortez-Rocha *et al.*, 2003).

Pudrición de tallo

Dos especies de *Fusarium* causan pudriciones del tallo en el maíz: *F. verticillioides* que es más común en climas secos y cálidos y es particularmente dañina si comienza antes de la floración, *G. zae* es más común en regiones frías. Son de los agentes causantes de pudrición del tallo más perjudiciales (Velarde *et al.*, 2018).

Los síntomas se presentan en las plantas marchitas, ya que permanecen erectas cuando se secan y aparecen lesiones pequeñas de color café oscuro en los entrenudos inferiores y al partirlos verticalmente, se observa que el floema de los tallos infectados es café oscuro y que hay un oscurecimiento general de los tejidos (Fig. 5), además, en las etapas finales de la infección, la médula es destruida y los tejidos adyacentes pierden su color (SENASICA, 2020; HV, 2021). La podredumbre basal del

tallo puede ser considerada como de fin de ciclo ya que se manifiesta después de la floración, la planta se debilita y se torna vulnerable al quiebre y vuelco (Corteva, 2021; Pioneer, 2021).



Figura 5. Daño en tallo ocasionado, A= por *F. verticillioides*, Y B= por *G. zeae* (CIMMYT, 2004).

Resistencia de maíz

De acuerdo a investigaciones que se han hecho sobre la resistencia a la pudrición de mazorca, no se han encontrado genotipos inmunes a la enfermedad y su mecanismo de resistencia no es bien conocido. Dada la importancia de esta enfermedad en el mundo, varios estudios, con poco éxito, se han enfocado hacia el conocimiento de las características genéticas de la relación patógeno-planta. La resistencia genética ofrece el más amplio potencial para el control de la resistencia a la pudrición de mazorca y tallo causado por *F. verticillioides* (Mendoza *et al.*, 2003).

La identificación de genotipos de maíz resistentes a pudrición de tallo y mazorca podría ser de gran utilidad para el manejo eficiente y económico de esta enfermedad (Mendoza *et al.*, 2006). Además, la resistencia genética a la pudrición de mazorca por *Fusarium spp.*, es de tipo cuantitativa y, por lo tanto, altamente influenciada por el ambiente. La exploración, estudio y conservación de las poblaciones nativas de maíz son de gran importancia, tanto para conocer los patrones de variación conjunta, así como para utilizar la variación genética para resolver el problema de pudrición de

mazorca, mediante resistencia sin buscar fuentes genéticas externas, al mismo tiempo que se conserva la diversidad del maíz y se continúa con su evolución dinámica y progresiva (Betanzos *et al.*, 2009).

Producción de micotoxinas

Khodaei *et al.* (2020) mencionaron que actualmente se han identificado 400 micotoxinas, y las más relevantes son las aflatoxinas, la ocratoxina, la patulina, las fumonisinas, la zearalenona, los tricotecenos y los alcaloides del ergot; dichas micotoxinas son producidas por especies que pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Claviceps* Tul. (Clavicipitaceae) (Abrunhosa *et al.*, 2012)

Las especies de *Fusarium* producen toxinas propias que aumentan su virulencia, sin embargo, algunas fitotoxinas como eniatinas y ácido fusárico son tóxicos para las plantas mientras que las micotoxinas como tricotecenos y fumonisinas son tóxicas para los animales, ya que sus efectos van desde carcinogénicos, mutagénicos, teratógenos, citotóxicos, neurotóxicos, nefrotóxicas, hasta inmunosupresores y esprogenicos, quiere decir que no representan un problema para la salud pública (Villa *et al.*, 2014). La presencia de estos compuestos en productos agrícolas causa gran preocupación, debido a los efectos que ocasiona cuando animales y humanos los consumen (Serrano-Coll y Cardona-Castro, 2015), por otro lado, Mendoza *et al.* (2003) señalaron que algunas micotoxinas como las fumonisinas y tricotecenos han sido caracterizadas como promotoras de cáncer hepático en ratas, y asociadas a la leucoencefalomalacia y en cáncer esofágico en humanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en el área de invernadero y Laboratorio de Fitopatología del Departamento de Parasitología (DP) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 21'13" LN, 101° 01' 56" LO, 1610 msnm) (Fig. 6).



Figura 6. A) Departamento de Parasitología, B) Invernadero de Parasitología.

Obtención de las cepas de *Fusarium*

Las cepas de *Fusarium* spp., fueron proporcionadas por el M.C. José Luis Arispe Vázquez en Julio de 2020; para el incremento de colonias, las cepas se reactivaron en cajas de Petri con medio de cultivo Papa-Destroza-Agar (PDA) y se mantuvieron a 26°C por 168 h.

Confirmación morfocultural de las cepas de *Fusarium*

Esta se basó en la estructura y características microscópicas de 100 conidios (macroconidios, microconidios y clamidosporas), así como características macroscópicas de la colonia, descritas en las claves del manual de laboratorio de *Fusarium* de Leslie y Summerell (2006) y la clave interactiva para *Fusarium* de Seifert (1996), usando el software DinoCapture 2.0 (Dino-lite, 2020).

Confirmación molecular de las cepas de *Fusarium*

Extracción del ADN

Para la extracción del ADN se utilizó el método CTAB (Murray y Thompson, 1980), para ello, partiendo de cepas axénicas, el micelio de cada cepa de *Fusarium* spp., se maceró en mortero con pistilo de porcelana previamente esterilizados, al cual se agregaron 500 µL de extracción con: NaCl 1.4 mM, EDTA 20 mM, PVP 1% Tris Base 100 mM (pH 8) y 200 µL de B-mercaptoetanol. El producto de la maceración se colocó en tubos eppendorf estériles de 1.5 mL y se incubaron a 65°C por 45 min a 15 rpm y se agitaron en vortex por 30 s. Enseguida se añadió a la muestra 500 µL 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, luego agregamos igual volumen de isopropanol frío y se mantuvieron a -20 °C por 24 h. Transcurrido el 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 µL de agua libre de nucleasas y se almacenara 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 de amplificación en un volumen final de 15 µL, compuesto por 5.8 µL de agua MQ, 2.5 µL de buffer (10X), 0.5 µL de dNTP´s (10mM), 2.5µL de cada iniciador ITS1 (5´TCC GTA GGT GAA CCT GCG G3´) e ITS4 (5´TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC3´), 0.2 µL de Taq-polimerasa, 0.2µL de ADN Taq-polimerasa y 1µL de ADN. Las reacciones de amplificación se efectuaron usando un termociclador bajo el siguiente programa: 1 ciclo de 95°C 3 min, 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 visualizados bajo luz UV. Los productos de PCR se secuenciaron en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica y las secuencias obtenidas, se analizarán en la base de datos del GenBank del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI), usando la herramienta BLAST para secuencias altamente similares.

Prueba de sanidad en semillas (PSS)

La inoculación de cada cepa de *Fusarium* se llevó a cabo directamente a las semillas (previamente desinfectadas). Las semillas se mantuvieron sumergidas durante 5 min en agua destilada estéril y finalmente se colocaron durante 24 h en la suspensión de conidios en la cepa correspondiente de *Fusarium*.

Las semillas se colocaron en placas de Petri con medio de cultivo Czapek-Dox Agar (PhytoTech LABS) y se mantuvieron a 28°C por 192 h, posterior a ese tiempo se evaluó la reacción del fitopatógeno inoculado sobre la semilla, con la finalidad de describir la severidad de la enfermedad, entendida como la cantidad de tejido afectado por la enfermedad, expresada como el porcentaje del área total de la enfermedad (pudrición) y se determinó el grado de incidencia, entendida como el número de semillas que mostraron síntomas de la enfermedad. Además, se evaluaron las variables agronómicas:

Germinación (GER) e Inhibición (INH)

Número de semillas germinadas y no germinadas y se obtuvo el porcentaje de germinación y de inhibición con las siguientes formulas:

$$G(\%) = \left[\frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Semillas totales}} \right] * 100 \quad I(\%) = \left[\frac{\text{Semillas no germinadas}}{\text{Semillas totales}} \right] * 100$$

Longitud de plántula (LPL)

Con ayuda de un vernier se midió la longitud de plántula para obtener un promedio, con respecto al control.

Peso fresco de plántulas (PFP)

Las plántulas fueron pesadas en una báscula analítica de acuerdo al tratamiento y población.

Preparación de suspensión de conidios

De las cepas de *Fusarium* se llevó a cabo la reproducción masiva en placas de Petri en medio de cultivo de PDA sintético, y a cada caja se le agregaron 10 mL de agua estéril y se raspó el micelio de las diferentes cepas de *Fusarium* con una varilla de dispersión estéril y el resultante se puso en un matraz estéril y posteriormente se ajustó la suspensión de conidios a una concentración de 1×10^8 conidios/mL⁻¹ con la cámara de Neubauer (Fig. 7).



Figura 7. Suspensión de conidios de cepas de *Fusarium* spp.

Siembra de las poblaciones de maíz

Se obtuvieron tres poblaciones de maíz del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento (DF) de la UAAAN, provenientes del Departamento de Huánuco, Perú, las cuales fueron proporcionadas por el Dr. Antonio Flores Naveda. La siembra se realizó bajo condiciones de invernadero en contenedores de polietileno de 8-10 kg con suelo agrícola previamente pasteurizado en autoclave a 70-80 °C, además se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos (tres cepas de *Fusarium* y un control) y tres repeticiones y cada una con cinco unidades experimentales (semillas).

Inoculación

Las semillas se desinfectaron, sumergidas en hipoclorito de sodio (NaClO) al 3%, posteriormente se realizaron tres lavados con agua destilada estéril. La inoculación de las cepas de *Fusarium* se realizó directamente a las semillas al momento de sembrar (A), 15 días después de la emergencia (B) y 30 días antes de la floración (C) mediante una herida en los tallos con bisturí estéril, para la 2^{da} y 3^{era} inoculación se hicieron de forma directa a la base del tallo, y en cada inoculación se aplicaron 10 mL/semilla/planta (Fig. 8).



Figura 8. Inoculaciones de *Fusarium* spp., sobre las poblaciones de maíz morado peruano en las tres etapas: (A) a la semilla, (B) en la base del tallo, (C) en la base del tallo con una herida.

Manejo agronómico

Los riegos fueron cada tres días con base en los requerimientos hídricos y a los 40 días se aporcaron las plantas. La fertilización se hizo con UreaBB (nitrógeno) a los 20 días después de la siembra (DDS); FertiPlus (nutrientes orgánicos) a los 35 y 50 DDS; FertiHumus L (ácidos húmicos y fúlvicos) en la etapa de floración. La aplicación de los tres fertilizantes fue de 10 mL/L⁻¹ agua. Durante el crecimiento vegetativo se fue aporcando con más tierra agrícola pasteurizada para evitar el acame.

Variables evaluadas en la Prueba de Patogenicidad en invernadero (PPI)

Emergencia de plántulas (EPL)

Se evaluó la emergencia, entendida como el número de plantas emergidas, expresado en porcentaje.

Longitud de tallo (LTA)

Se midió la distancia (cm) desde la base de la planta hasta la hoja bandera, ésta variable se tomó en cuatro meses diferentes.

Diámetro de tallo (DTA)

Se tomó el diámetro de tallo (cm) con un vernier, en la base de la planta (replicado cuatro veces).

Plantas muertas (PMU)

Se cuantificó el número de plantas muertas durante todo el ciclo del cultivo.

Incidencia y severidad de pudrición en tallo (IPT) e Incidencia y severidad de pudrición en mazorca (IPM) (SPM)

La evaluación de tallo y mazorca se realizó en la etapa de cosecha, a los 270 DDS. Para la evaluación de tallo se hicieron cortes transversales del tallo y se evaluó la incidencia, entendida como el número de tallos que muestren síntomas de la enfermedad.

Para la evaluación en mazorca, se evaluó la incidencia, entendido como el número de mazorcas que mostraron síntomas de la enfermedad y la severidad de la enfermedad (pudrición) mediante criterios propios, según la cantidad de tejido afectado por la enfermedad (% de pudrición) por mazorca.

Análisis de resultados

Los datos de las variables evaluadas de la PSS y la PPI, se ajustaron por raíz cuadrada de arcoseno y se sometieron a un análisis de varianza con arreglo factorial AxB, donde; A =las poblaciones de maíz morado peruano y B =las especies de *Fusarium* y comparación entre medias con una prueba de rango múltiple de Tukey ($p= 0.05$), utilizando el software estadístico SAS® 9.1 (SAS 2002; versión 9.1, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación morfo-molecular

Las cepas presentaron colonias aplanadas de crecimiento lento y rápido, de color blancas, naranjas, moradas, con microconidios hialinos de forma de garrote y ligeramente aplanados en cada extremo de 8.9 a 45.8 μm de largo y de 3.11 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 44.88 a 79.56 μm de largo y 5.88 a 6.800 μm de ancho, clamidosporas (ausentes en algunas especies) características determinantes para especies del género *Fusarium*.

La amplificación de las regiones intergénicas abarcó desde 700 a 800 pb (Fig. 9), las secuencias comparadas con la base de datos de NCBI coincidieron con *F. verticillioides*, *F. equiseti* y *F. napiforme* con características macro y microscópicas de cada especie (Figs. 10 y 11) y con una identidad molecular de 91 a 100% (Cuadro 2).

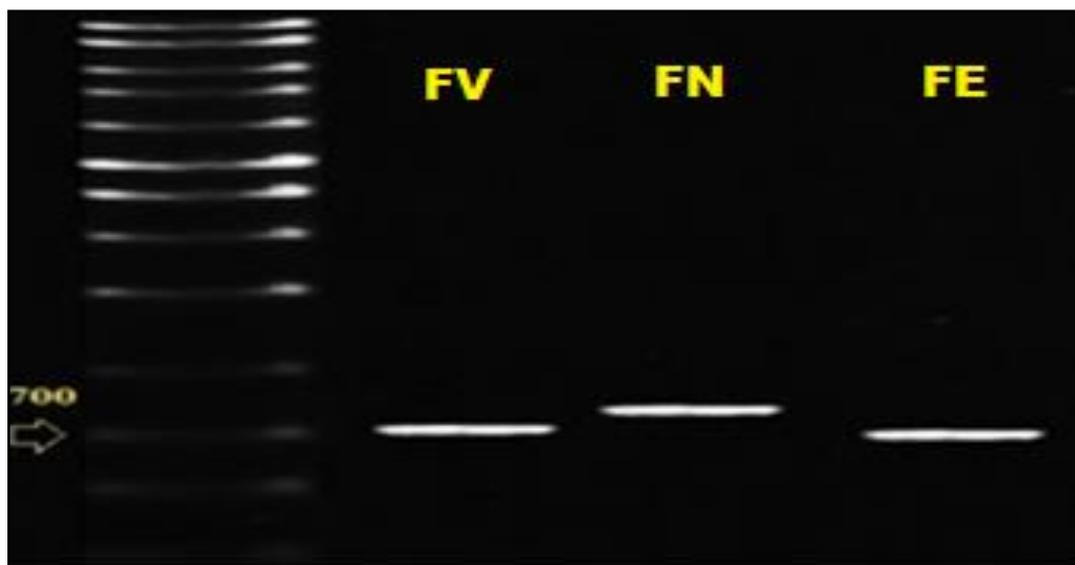


Figura 9. Marcadores moleculares de las especies de *Fusarium* identificadas. FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*.

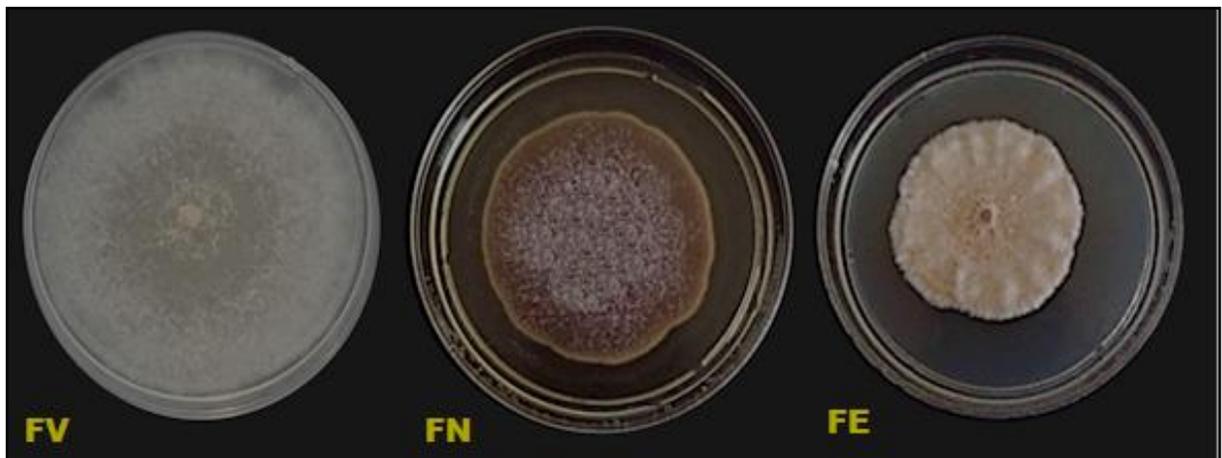


Figura 10. Especies de *Fusarium* identificadas, FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*.

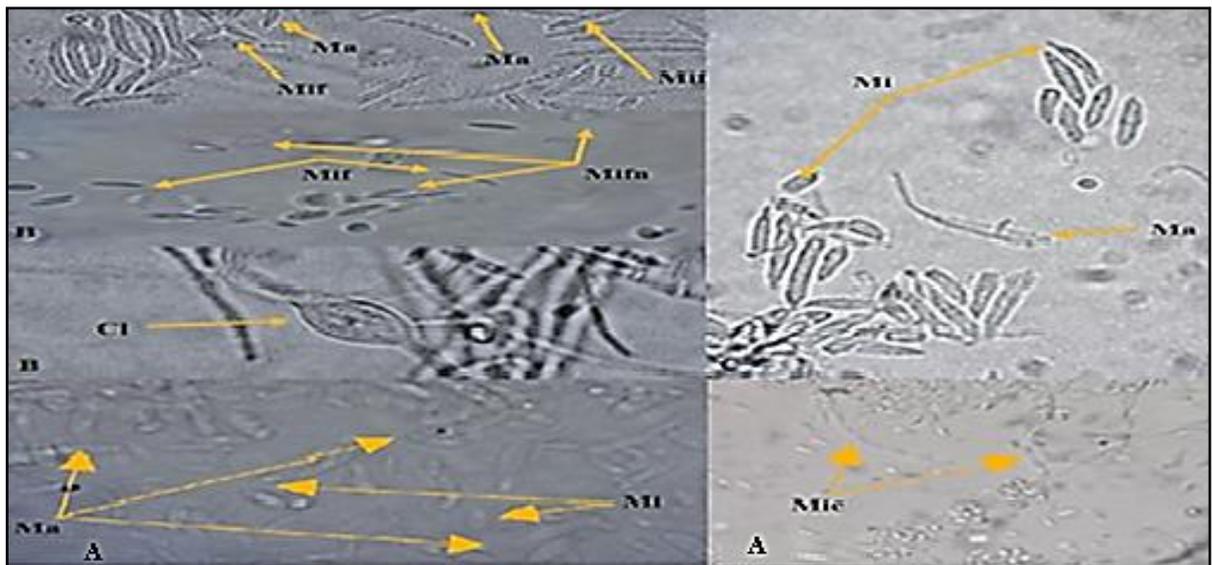


Figura 11. Características microscópicas de cada especie. A= *F. verticillioides*, Ma= Macroconidios, Mi= Microconidios, Mic= Microconidios en cadena; B= *F. napiforme*, Ma= Macroconidios, Mif= Microconidios fusiformes, Mifn= Microconidios fusiformes y napiformes, Cl= Clamidospora; C= *F. equiseti*, Ma= Macroconidios, Mi= Microconidios.

Cuadro 2. Datos de las medias de los análisis morfo-moleculares por tipo de especie

Patógeno		<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Fusarium napiforme</i>	<i>Fusarium equiseti</i>
Macroconidios (µm)	Largo	44.88	53.38	79.56
	± SD	10.83	8.53	20.82
	Ancho	6.26	5.88	6.80
	± SD	1.36	1.08	1.11
Microconidios (µm)	Largo	13.77	8.90	45.80
	± SD	1.78	1.26	12.13
	Ancho	4.12	3.11	4.76
	± SD	0.76	1.40	0.78
Cl		No	Si	No
Pb		700	800	690
Max puntaje		562	915	920
Total puntaje		562	915	1100
% Identidad		91.00	99.80	100.00
Clave en NCBI		MN088601.1	MH862670.1	KR819405.1

± SD= Desviación estándar; Cl= Clamidosporas; Pb= Pares de bases.

La determinación de estas especies fue similar en gran parte a la utilizada por varios autores (Cuadro 3) quienes identificaron morfo-molecularmente a *Fusarium* spp., de aislamientos procedentes de maíz, con características macro y microscópicas semejantes en gran parte a las reportadas en nuestra investigación.

Cuadro 3. Referencia de caracteres morf-metricos similares en gran parte a los identificados en nuestra investigación

Clave	Patógeno	RMOR	RMIC
FV	<i>F. verticillioides</i>		Wang <i>et al.</i> (2021)
			Mohd <i>et al.</i> (2017)
			Sun <i>et al.</i> (2020)
			Olowe <i>et al.</i> (2020)
			Morales-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)
			Velarde <i>et al.</i> (2018)
			Koch <i>et al.</i> (2020)
			Schoeman <i>et al.</i> (2018)
FN	<i>F. napiforme</i>		Olowe <i>et al.</i> (2020)
			Morales-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)
			Basler (2016)
FE	<i>F. equiseti</i>		Wang <i>et al.</i> (2021)
			Velarde <i>et al.</i> (2018)

FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*; RMOR= Referencias morfológicas; RMIC=Referencias morfométricas.

El género *Fusarium* tiene una alta capacidad de colonizar múltiples plantas hospederas (Forero *et al.*, 2018) y en maíz causan enfermedades que inducen la pudrición de tallos, raíces y granos (Leyva-Madrigal *et al.*, 2014), distintos estudios han demostrado que *F. verticillioides* es el principal agente asociado a pudriciones de tallo y mazorca en todo el mundo (Díaz *et al.*, 2012; López *et al.*, 2014; Santori *et al.*, 2015; Chavarri *et al.*, 2017), causando pérdidas de 30 a 50% de la producción (Pérez-Rodríguez, 2014), sin embargo, no tiene un hospedero específico ya que se puede encontrar en alrededor de 1000 especies de plantas. Por otro lado *F. napiforme* también causa daños en granos de maíz asintomáticos y otras gramíneas (Morales-Rodríguez *et al.*, 2007) y se tienen reportes que ocasiona micosis en humanos (De Souza *et al.*, 2014), leucoencefalomalacia equina, además de efectos hepatocarcinogénicos y cáncer esofágico (Amza, 2018) y con respecto a *F. equiseti*, se ha evaluado su patogenicidad

en maíz causando pudriciones en raíz, tallo y mazorca provocando una pérdida de rendimiento del 30% (Li *et al.*, 2014; Okello y Mathew, 2019), además se sabe que estas especies identificadas tienen la capacidad de producir micotoxinas como ácido fusárico, fumonisinas, fusarina, moniliformina, naftazarica, beauvericina, diacetoxiscirpenol, nivalenol, zearalenona y tricotecenos (Munkvold, 2016) capaces de provocar enfermedades en humanos y animales (Desjardins y Proctor, 2001), a su vez, afectan la calidad de la semilla, la germinación, la viabilidad, el vigor de la plántula, el crecimiento de la raíz y el coleoptilo (Ismaiel y Papenbrock, 2015).

Prueba de sanidad en semillas (PSS)

Germinación (GER) e inhibición (INH)

Existe diferencia significativa (DS) con respecto al porcentaje de GER ($p= 0.0003$), presentando un CV de 22.83%. De modo que la población uno y dos mostraron la mayor y menor GER, con 62.50 y 55.83%, respectivamente. El porcentaje de GER fue menor en las semillas inoculadas con *F. napiforme*, en comparación con el resto (Cuadro 4). Algunas especies de *Fusarium* pueden invadir la semilla, disminuyendo la germinación, debido a la muerte del embrión (Moussa *et al.*, 2013; Tekle *et al.*, 2013; Hassani *et al.*, 2019; Natarajan *et al.*, 2019; Román *et al.*, 2020; Chang *et al.*, 2020), sin embargo, otras especies pueden influir positivamente en éste aspecto y en el vigor de semillas, ya que pueden promover el crecimiento, debido a la producción de giberelinas e inducir mecanismos de defensa (Troncoso, 2013; Salazar, 2018; Tandaypan, 2018; Vrabka *et al.* 2019). Nuestros resultados fueron semejantes en gran parte a los descritos por Amza (2018) y Olowe *et al.* (2020) quienes inocularon semillas de maíz con *F. napiforme* y éstas presentaron una disminución de la misma, a su vez *F. equiseti* promovió la germinación de semillas, similar a lo reportado por Jiang *et al.* (2021), por otro lado Stagnati *et al.* (2020) evaluó el efecto de *F. verticillioides* inoculando 146 líneas de maíz, obteniendo que 59 de ellas tuvieron una tasa de germinación mayor, mientras que en las otras 87, la germinación se vio afectada negativamente por el hongo. Nischiuchi (2013) mencionó que *F. verticillioides* y otras

especies tienen la capacidad de sintetizar giberelinas, contribuyendo al crecimiento vegetativo de diferentes plantas (Bhalla *et al.*, 2010; Cen *et al.*, 2020). De la misma manera se puede observar que existe diferencia significativa en relación al porcentaje de INH ($p=0.0003$), con un CV de 33.09%. La población que mostró mayor INH fue la dos, con un 6.67% más que la uno, a comparación del control que presentó la menor INH (Cuadro 4). La especie *F. napiforme* fue la más patogénica e impidió que las semillas germinarán. Resultados similares a los de Olowe *et al.* (2020), quienes trabajaron con esta misma especie; además, se presentó un retraso de la germinación de manera general, ya que, al momento de evaluar, las poblaciones de maíz morado peruano (PMP) no mostraron una germinación uniforme, y de acuerdo a Gutiérrez-Hernández *et al.* (2007) una germinación uniforme en maíz se da entre cinco a siete DDS, teniendo las condiciones adecuadas y sin ser afectada por patógenos; resultados similares a los de Capo (2020), donde reportó efectos negativos sobre la germinación de semillas de maíz inoculadas con *Fusarium* spp., causando un retraso relativo de la misma.

Cuadro 4. Porcentaje de germinación e inhibición de semillas de poblaciones de maíz peruano en estudio

Poblaciones (A)				Poblaciones (A)			
P	N	%GER	Ag	P	N	%INH	Ag
1	12	62.50 ± 24.17	A	2	12	44.17 ± 25.03	A
3	12	59.17 ± 17.30	A	3	12	40.83 ± 17.30	A
2	12	55.83 ± 25.03	A	1	12	37.50 ± 24.17	A
Tratamientos (B)				Tratamientos (B)			
T	N	%GER	Ag	T	N	%INH	Ag
C	9	87.78 ± 57.78	A	FN	9	58.89 ± 14.53	A
FE	9	57.78 ± 14.81	B	FV	9	50.00 ± 8.66	A
FV	9	50.00 ± 8.66	B	FE	9	42.22 ± 14.81	A
FN	9	41.11 ± 14.53	B	C	9	12.22 ± 14.81	B

P= Población de maíz peruano; N= Número de muestras; %GER= Porcentaje de Germinación; %INH= Porcentaje de Inhibición; Ag= Agrupación estadística según Tukey en 0.05 (grupos con letras diferentes son estadísticamente significativos);

TRAT=Tratamientos, FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Longitud de plántula (LPL)

La población uno presentó la mayor LPL con una media de 2.74 cm, obteniendo 28.1% más de crecimiento que la población tres (1.97 cm). Por otra parte, se observó que las plántulas inoculadas con *F. verticillioides* tuvieron una menor LPL sobre las poblaciones uno y tres, en comparación al control; resultados similares a los reportados por Moussa *et al.* (2013), da Silva *et al.* (2016), Leyva-Madrugal *et al.* (2017), Stagnati *et al.* (2020) y Einloft *et al.* (2021), quienes mencionan que *F. verticillioides* disminuye la LPL de maíz evaluado. En la población dos fue *F. napiforme* la que afectó ésta variable, al igual que en la investigación realizada por Olowe *et al.* (2020). Al respecto, *F. equiseti* en comparación con el resto de las cepas presentó la mayor LPL, similar a lo reportado por Jiang *et al.* (2021), esto probablemente debido a que algunas especies de *Fusarium* producen ácido giberélico, como fitohormonas presentes en diversos procesos del desarrollo vegetal implicados en la germinación, elongación de tallos, floración, crecimiento de frutos entre otros (Rangaswamy, 2012; Bilal *et al.*, 2018; Fernández-Herrera *et al.*, 2018; Tandaypan, 2018).

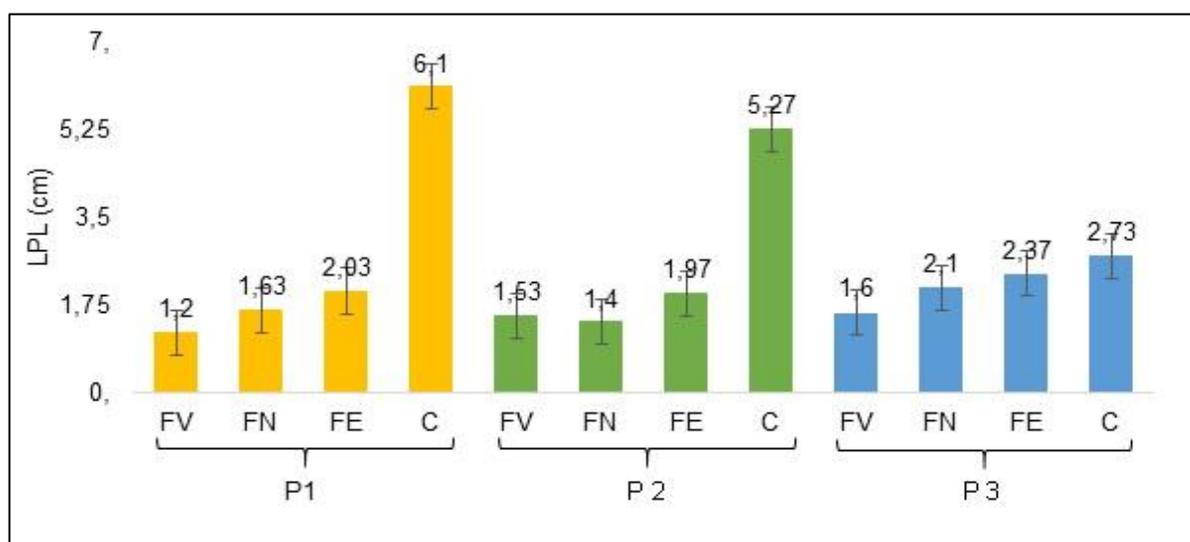


Figura 12. Longitud de plántula en la PSS de maíz peruano en evaluación. P= Población de maíz peruano; LPL= Longitud de plántula; FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Peso fresco de plántulas (PFP)

Ésta variable osciló entre 7.27 a 11.85 g, además, no hubo DS ($p= 0.4126$), encontrándose promedios de 8.24, 8.03 y 8.58 g en las poblaciones uno, dos y tres respectivamente. Sin embargo, la población que más destacó en esta variable, fue la número tres. Por otra parte, en los TRAT se puede notar que, *F. verticillioides* obtuvo el menor PFP en la población uno, de igual manera, *F. napiforme* en la población dos y *F. equiseti* en la tres, con promedios de 7.67, 7.43 y 7.27 g respectivamente. De este modo podemos decir que las tres especies inoculadas disminuyeron el PFP en comparación con los controles donde se observó mayor peso (Fig. 13); se ha demostrado que *Fusarium* spp., es el patógeno más común que causa daños, ocasionando pérdidas de peso fresco en plantas de frijol (Souza *et al.*, 2012), maíz (Moussa *et al.*, 2013) y ajo (Velásquez-Valle *et al.*, 2017).

Los resultados obtenidos en la presente investigación son similares a los reportados por Wilke *et al.* (2007), da Silva *et al.* (2016), Leyva-Madrigal *et al.* (2017), Chang *et al.* (2020), y Stagnati *et al.* (2020), quienes inocularon semillas de maíz con *F. verticillioides*, las cuales se sembraron y semanas posteriores se recuperó la plántula para poder pesarla, obteniendo menos peso fresco que su control, a su vez, Koch *et al.* (2020) obtuvieron que ésta misma especie redujo el peso seco de plantas de maíz en aproximadamente un 50-60%. Por otro lado, se tienen reportes que *F. napiforme* (Olowe *et al.*, 2020) y *F. equiseti* (Chávez-Díaz *et al.* 2021) han disminuido el PFP de la mayoría de las plantas de maíz inoculadas como también se observa en las PMP en estudio.

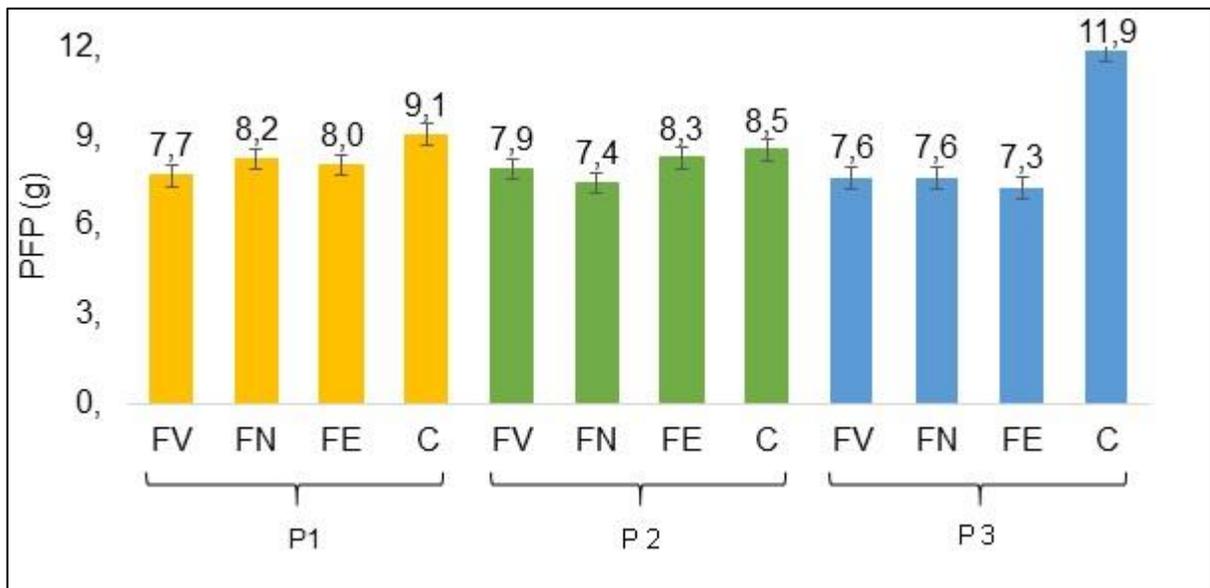


Figura 13. Peso fresco de plántulas en la PSS de maíz peruano en evaluación. P= Población de maíz peruano; PFP= Peso fresco de plántulas; FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Incidencia y Severidad en Prueba de Sanidad de Semillas (IPSS) (SPSS)

Con base en el análisis estadístico realizado, se presentó diferencia significativa sobre la IPSS ($p=0.0001$), con un CV de 6.07%. La incidencia de *Fusarium* spp., fue mayor en la población tres y menor en la dos, además, las tres especies inoculadas presentaron un 100% de incidencia afectando a la plántula, mientras que el control presentó 74.44% (Cuadro 5), esto se puede atribuir a que las semillas ya pueden venir infectadas desde campo con diferentes especies de *Fusarium* presentes en los granos, que son inductoras de pudrición de mazorcas y tallos (Stumpf *et al.*, 2013; Lanza *et al.*, 2014; Chang *et al.*, 2016; Uribe-Cortes *et al.*, 2020) al igual que especies que producen infecciones asintomáticas en la semilla (Ridout *et al.*, 2019; Wigmann *et al.*, 2019), es por esto que en nuestra investigación se realizó la PSS para poder determinar la presencia o ausencia de organismos que produzcan enfermedades, en este caso hongos del género *Fusarium* (CIMMYT, 2010; FAO y AfricaSeeds, 2019), ya que, distintas investigaciones han demostrado que *Fusarium* spp., es el patógeno con mayor incidencia en semillas y plántulas de maíz (Díaz *et al.*, 2013; Matos *et al.*, 2013; Fantazzini *et al.*, 2016; Schoeman *et al.*, 2018), sin embargo, también se le puede atribuir a contaminación, ya que, solo en el control se presentó esta especie de

Fusarium diferente a las inoculadas, es decir, en los demás tratamientos no se presentó, esto posiblemente debido a que el laboratorio es un lugar de investigación donde se trabaja con éste género.

En la variable SPSS existe diferencia significativa ($p= 0.0004$), con un CV de 23.13%. La población tres y uno presentaron la mayor y menor severidad, con un 52.48 y 43.24% respectivamente. En los TRAT la especie *F. napiforme* resultó ser la más patogénica presentando 58.02% de severidad a comparación del control con 33.07% (Cuadro 5), similar a los resultados obtenidos por Olowe *et al.* (2020); al momento de evaluar se observaron síntomas, mostrando pequeñas lesiones oscuras en la base del tallo y puntos de crecimiento radicular, refiriéndose al porcentaje de daño o severidad, al igual que lo reportado por Campos (2013), Kuhnem *et al.* (2015), Parikh *et al.* (2018), Zhou *et al.* (2018) y Wang *et al.* (2020). De acuerdo a los resultados obtenidos, *Fusarium* puede estar presente, pero mostrar distintos grados de severidad, esto dependerá de que tan patogénica resulte ser la especie para la planta (Delgado-Ortiz *et al.*, 2016).

Cuadro 5. Porcentaje de incidencia y severidad de semillas de tres poblaciones de maíz peruano en estudio

Poblaciones (A)				Poblaciones (A)			
P	N	%IPSS	Ag	P	N	%SPSS	Ag
3	12	98.33 ± 5.77	A	3	12	52.48 ± 17.82	A
1	12	91.66 ± 15.28	B	2	12	47.41 ± 25.03	A
2	12	90.83 ± 17.82	B	1	12	43.24 ± 11.91	A
Tratamientos (B)				Tratamientos (B)			
TRAT	N	%IPSS	Ag	TRAT	N	%SPSS	Ag
FV	9	100.00 ± 0.00	A	FN	9	58.02 ± 15.97	A
FN	9	100.00 ± 0.00	A	FE	9	50.00 ± 12.10	A
FE	9	100.00 ± 0.00	A	FV	9	49.05 ± 7.67	A
C	9	74.44 ± 17.40	B	C	9	33.07 ± 22.55	B

P= Población de maíz peruano; N= Número de muestras; %IPSS = Porcentaje de Incidencia en Prueba de Sanidad de Semillas; %SPSS = Porcentaje de Severidad en

Prueba de Sanidad de Semillas; Ag= Agrupación estadística según Tukey en 0.05 (grupos con letras diferentes son estadísticamente significativos); TRAT=Tratamientos, FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

De acuerdo a la PSS, se pudieron recuperar las tres cepas inoculadas de *Fusarium*, además, de que en los controles sin inocular se mostró un grado de incidencia natural de *Fusarium* spp., esto debido a que la semilla de campo es común que presente contaminación por distintos patógenos y este aspecto puede afectar el manejo del cultivo. En un estudio realizado por Briones *et al.* (2015) en donde evalúa la respuesta a la infección natural por *Fusarium* spp., en maíz nativo de México, se encontró que por lo menos una población evaluada resultó con menor daño en pudrición, concluyendo que las poblaciones de maíz de origen local tienden a presentar menor porcentaje de pudrición y mayor rendimiento. La especie de *Fusarium* que presentó mayor patogenicidad en las semillas fue *F. napiforme*, con 100 y 58.02% de incidencia y severidad respectivamente, afectando a otras variables como es GER, PFP y LPL, ya que mostraron los menores valores, sin embargo, podemos asumir que las tres especies son patogénicas para el maíz, sobresaliendo la población uno de maíz peruano.

Prueba de patogenicidad en invernadero (PPI)

Emergencia de plántulas (EPL)

De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencia significativa en el porcentaje de EPL ($p=0.6944$) con un CV de 9.69%. Las poblaciones tres y uno presentaron el menor y mayor porcentaje de emergencia con 93.33 y 96.66%, respectivamente. Por otro lado, las plantas inoculadas con *F. verticillioides*, presentaron la menor EPL, es decir, resultó ser la cepa más patogénica, y el control como se esperaba presentó el mayor porcentaje de emergencia (Cuadro 6), Matos *et al.* (2013), Becker *et al.* (2014), Nguyen *et al.* (2018) y Ryabova *et al.* (2021) mencionaron que *F. verticillioides* es la especie más agresiva en maíz, además, puede infectar tanto en condiciones secas como húmedas, pero la enfermedad tiende a ser más grave en condiciones secas (Poole *et al.*, 2013). En la presente investigación los maíces se mantuvieron 90 días más en

condiciones secas que de lo normal (180 días), es decir, que se evaluó hasta los 270 DDS, condición que probablemente le favoreció para causar mayor enfermedad. Nuestros datos son similares a los reportados por Stagnati *et al.* (2020) quienes inocularon 146 líneas de maíz con *F. verticillioides*, la semilla con dicha especie exhibió menor tasa de germinación, vigor y peso.

Cuadro 6. Porcentaje de emergencia de las plantas de las poblaciones de maíz peruano en estudio

Poblaciones (A)			
P	N	%EPL	Ag
1	12	96.66 ± 77.85	A
2	12	95.00 ± 90.45	A
3	12	93.33 ± 98.47	A
Tratamientos (B)			
T	N	%EPL	Ag
C	9	97.77 ± 6.67	A
FE	9	95.55 ± 8.82	A
FN	9	95.55 ± 8.82	A
FV	9	91.11 ± 10.54	A

P=Población de maíz peruano; N= Número de muestras; %EPL= Porcentaje de emergencia de plántulas; Ag= Agrupación estadística según Tukey en 0.05 (grupos con letras diferentes son estadísticamente significativos); T=Tratamientos, FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Longitud de tallo (LTA)

Conforme a las mediciones tomadas durante cuatro meses, con respecto a LTA, se puede observar que la población uno fue superior, obteniendo más longitud, con un promedio de 128.47 cm, en cambio la población que obtuvo menor LTA fue la número tres, con 40.62 cm menos que la primera. En cuanto a los TRAT se puede analizar que las plantas inoculadas con *F. verticillioides* en la población uno y con *F. equiseti* en la

población tres mostraron menor LTA con 108.51 y 67.7 cm, respectivamente, en comparación de sus controles que obtuvieron mayor crecimiento (Fig. 14), esto quiere decir que dichas especies fueron las que más afectaron el desarrollo vegetativo de las poblaciones de maíz y de acuerdo al INIA (2020) la altura promedio adecuada de una planta de maíz morado peruano cultivado en campo es de alrededor de 200 cm con un rendimiento de 2 a 4 t/ha. Dichos resultados son similares en gran parte a los reportados por Pfordt *et al.* (2020), donde se evaluaron 190 segmentos de tallo de maíz, y se obtuvo que *F. equiseti* es la especie que se presenta con mayor frecuencia causando una reducción de su crecimiento. En cuanto a *F. verticillioides* hay diversos estudios que han demostrado que es el patógeno aislado más frecuente que se encuentra en el maíz; afectando su crecimiento y contaminando con micotoxinas (Moussa *et al.*, 2013; Leyva-Madrigal *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2020; Zorzete *et al.*, 2020; Castro-del Ángel *et al.*, 2021), por otro lado, Koch *et al.* (2020) y Olowe *et al.* (2015), observaron que las inoculaciones con *F. verticillioides* tuvieron un efecto en el soporte de las plantas, y una reducción de la altura de las mismas, como lo hizo ésta especie en las PMP en evaluación.

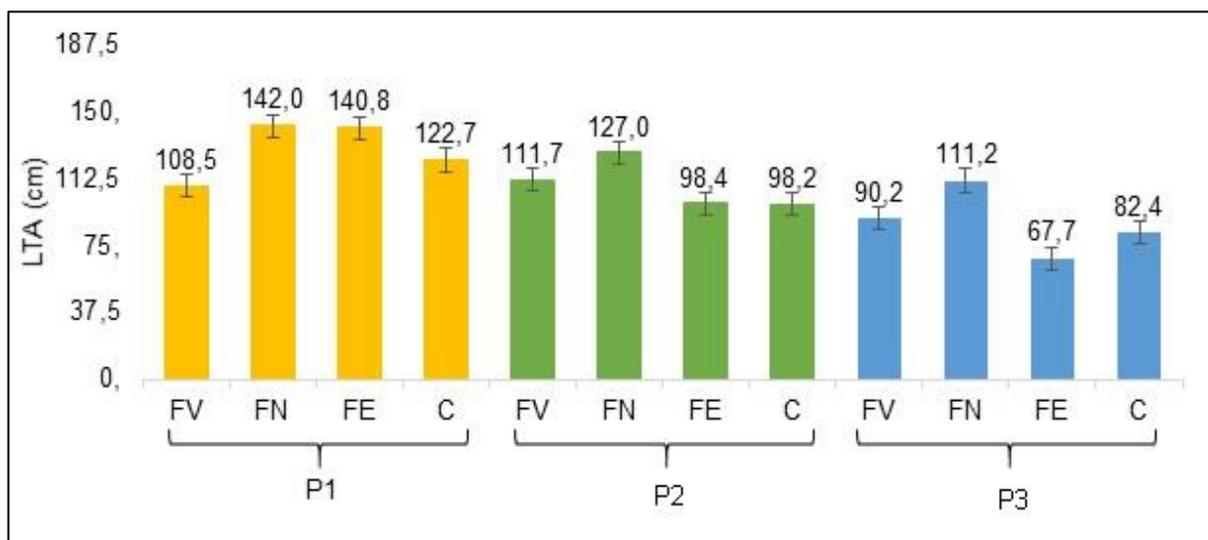


Figura 14. Longitud de tallo de plantas de maíz peruano evaluado durante cuatro meses. P= Población de maíz peruano; LTA= Longitud de tallo; FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Diámetro de tallo (DTA)

Durante cuatro meses de evaluación, se pudo observar que la población uno destacó sobre las demás, con un promedio de DTA de 0.86 cm, en comparación a la tres (la cual obtuvo menos) con 0.57 cm. Por otra parte, las especies que más afectaron el grosor de los tallos fueron *F. verticillioides* en las poblaciones uno y dos y *F. equiseti* en la población tres, mostrando un menor DTA que sus controles (Fig. 15). Dichos resultados son similares en gran parte a los obtenidos por Bastidas *et al.* (2015) y Olowe *et al.* (2015), quienes inocularon plántulas de maíz con estos patógenos (*F. verticillioides* y *F. equiseti*), comparando nuevas variedades con cultivares comerciales, demostrando que en éstos se obtuvo menor rendimiento y un pobre desarrollo vegetativo afectando el diámetro y la longitud de tallo.

Diversos estudios reportan que *Fusarium* spp., ocasiona una reducción de crecimiento y desarrollo de tallos, además de pudriciones y marchites en hospederos de gran importancia como en maíz (Olowe *et al.*, 2018), especies forestales (Muñoz-Adalia *et al.*, 2018), agave *Agave tequilana* FACWeber (Asparagaceae) (SENASICA, 2021), caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) (Martínez-Fernández *et al.*, 2015; Patel *et al.*, 2020), tomate *Solanum Lycopersicum* L. (Solanaceae) (Silva *et al.*, 2020) y pepino *Cucumis sativus* L. (Cucurbitaceae) (Li *et al.*, 2019).

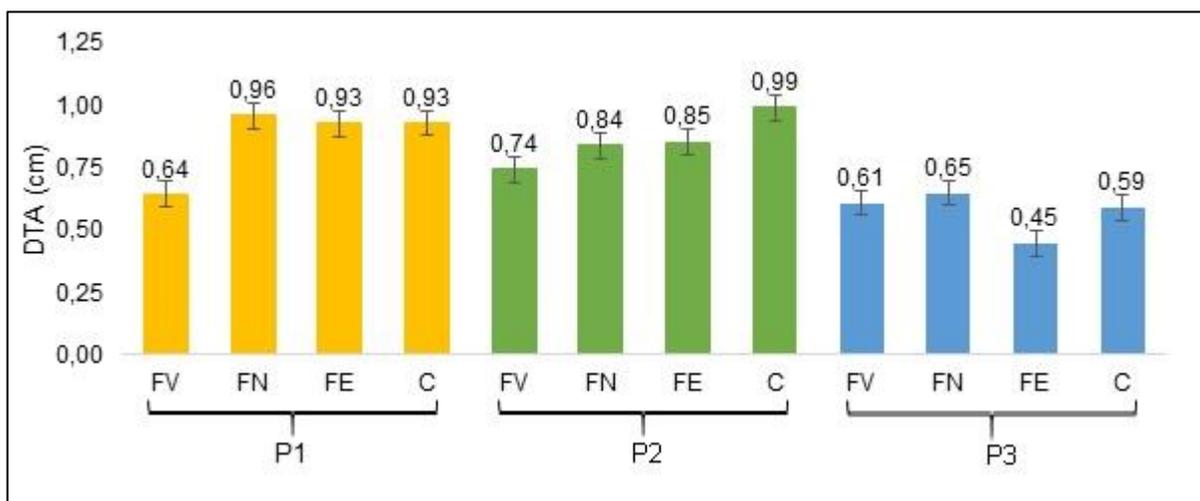


Figura 15. Diámetro de tallo de plantas de maíz peruano evaluado durante cuatro meses. P= Población de maíz peruano; DTA= Diámetro de tallo; FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Plantas muertas (PMU)

Durante el ciclo del cultivo se presentó la muerte de algunas plantas; la población con mayor porcentaje de PMU fue la tres con 30%; mientras que la población uno solo presentó 15% de mortandad. La especie que causó mayor pérdida de plantas fue *F. verticillioides* con 26.6%, siendo la más patogénica; en cuanto a los controles, estos obtuvieron un 25% de PMU (Fig. 16), éste porcentaje se puede atribuir a la incidencia natural de *Fusarium* spp. Díaz *et al.* (2013), Marburger *et al.* (2015), Zhang *et al.* (2016), Shan *et al.* (2017) y Yu *et al.* (2017) mencionan que éste patógeno es habitante natural del suelo y su infección inicia en la radícula primaria mediante su entrada por la epidermis, ocasionando marchites severa y con el paso del tiempo la muerte de plantas, así también Fu *et al.* (2015) reportaron que las especies que se utilizaron en este estudio se encuentran en las semillas de maíz provocando una incidencia de manera natural. Los resultados obtenidos son similares a los de Dastjerdi y Karlovsky (2015) en donde probaron dos cepas de *F. verticillioides*, el hongo creció de manera sistémica desde las raíces hasta los dos primeros entrenudos/hojas de maíz, sorgo y arroz para al final causar la muerte de algunas plantas, a su vez Ponce-García *et al.* (2018) mencionaron que el número de plantas muertas puede aumentar debido a la contaminación biótica y abiótica de *Fusarium* spp.

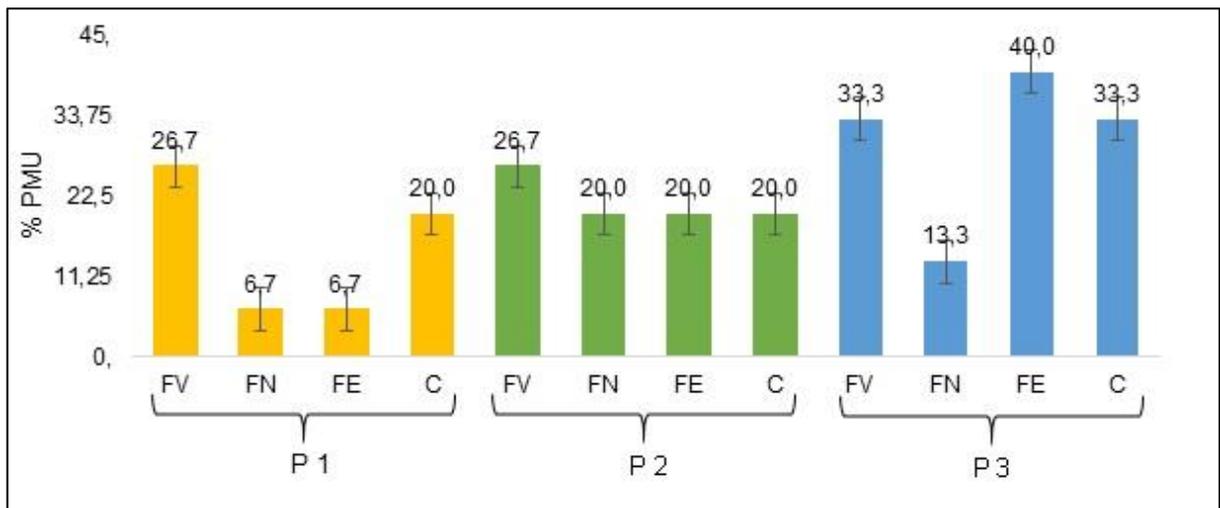


Figura 16. Porcentaje de plantas muertas de maíz peruano en evaluación. P= Población de maíz peruano; %PMU= Porcentaje de plantas muertas; FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Incidencia de pudrición en tallo (IPT)

El análisis estadístico en esta variable demuestra que no existe diferencia significativa ($p=0.4720$), con un CV de 36.16%. Las poblaciones uno y tres mostraron la mayor y menor incidencia, con 66.66 y 48.33% respectivamente. En cuanto a los TRAT, las plantas inoculadas con *F. equiseti* y *F. napiforme* obtuvieron una IPT considerable (62.22%), con un 11.11% más que el control (Cuadro 7). El porcentaje que se presenta en el control se puede adjudicar a la incidencia natural de *Fusarium* spp., éste hongo puede infectar cualquier parte de la planta de maíz desde el principio hasta el final de la etapa de crecimiento ya que es el principal patógeno con incidencia en éste cultivo, ocasionando pudrición de tallos y a su vez crecimiento reducido (Shin *et al.*, 2014; Ghini, *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016; Shan *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019; Pfordt *et al.*, 2020; Showkath *et al.*, 2020). Dichos resultados son similares a los reportados por Dharanendra *et al.* (2020) quienes realizaron estudios en campos de maíz de la India, registrando incidencias naturales de pudrición de tallo causada por *F. equiseti* principal patógeno asociado a esta enfermedad; en la presente investigación se puede observar que esta cepa es una de las que más afectó los tallos de las PMP.

Cuadro 7. Porcentaje de incidencia de pudrición en tallos de tres poblaciones de maíz peruano en estudio

Poblaciones (A)			
P	N	%IPT	Ag
1	12	66.66 ± 21.46	A
2	12	61.66 ± 19.92	A
3	12	48.33 ± 19.92	A
Tratamientos (B)			
T	N	%IPT	Ag
FE	9	62.22 ± 27.28	A
FN	9	62.22 ± 21.08	A
FV	9	60.00 ± 22.36	A
C	9	51.11 ± 14.53	A

P=Población de maíz peruano; N= Número de muestras; %IPT= Porcentaje de incidencia de pudrición en tallo; Ag= Agrupación estadística según Tukey en 0.05 (grupos con letras diferentes son estadísticamente significativos); T=Tratamientos, FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

Incidencia y Severidad de pudrición en mazorca (IPM) (SPM)

Con base en los resultados obtenidos en el análisis estadístico, hay diferencia significativa en relación a IPM ($p= 0.0021$), con un CV de 43.37%. La población uno fue la que mostró mayor incidencia que la tres con 46.66 y 28.33% respectivamente; en cuanto a las plantas inoculadas con *F. equiseti* y *F. verticillioides* resultaron tener la mayor y menor IPM con un 51.11 y 22.22% respectivamente.

La pudrición de la mazorca es una de las enfermedades más incidentes, y el principal patógeno es *Fusarium* spp. (Stumpf *et al.*, 2013; Dragich y Nelson, 2014; Li *et al.*, 2019; Craven *et al.*, 2020), sus hifas infectan las plantas desde el radical hasta el tallo y se extienden hasta la mazorca y a su vez los granos provocan una segunda infección (Gai *et al.*, 2018); los resultados obtenidos son similares a los reportados por algunos autores donde inocularon a plantas de maíz (Parikh *et al.*, 2018) y soja *Glicine max* (L.) Merr. (Fabaceae) (Naeem *et al.*, 2019) con *F. equiseti* y estas obtuvieron un porcentaje de incidencia y severidad superior a su control, siendo ésta especie la más agresiva para los granos evaluados.

Qin *et al.*, (2020) mencionaron que la incidencia de mazorcas podridas puede diferir, debido a que la gravedad de la enfermedad aumenta con el tiempo y en nuestra investigación las evaluaciones de incidencia se realizaron 270 DDS, periodo que pudo beneficiar al patógeno para poder causar pudrición.

Por otro lado, el análisis estadístico demuestra que existe diferencia significativa en la variable SPM ($p= 0.0137$), con un CV de 49.90%. La población más susceptible a la pudrición de mazorca fue la numero tres con un 51.48% de severidad en cambio la población uno mostró mayor resistencia con tan solo un 41.78% de daño. En cuanto a los TRAT el control obtuvo la mayor SPM con un 69.13%, lo que podemos asumir en éste resultado es que pudo haber contaminación de *Fusarium* por distintos factores

bióticos y abióticos y de acuerdo a Doohan *et al.* (2003) y Cao *et al.* (2014) los principales factores que pueden contribuir a la infección de éste patógeno son las condiciones climáticas, el daño causado por insectos, las características de las plantas, el agua de riego y suelo agrícola contaminado, manipulación de plantas inoculadas, entre otros factores; además de que también pudo influir que dentro del invernadero se encontraban otros proyectos con los cuales se estaba trabajando con *Fusarium* spp. Después del control la especie *F. equiseti* y *F. napiforme* mostraron la mayor y menor SPM con 57.82 y 23.39%, respectivamente (Cuadro 8). *F. equiseti* resultó ser también la especie más patogénica en estudios realizados por Dharanendra *et al.* (2020) quienes aislaron a éste patógeno de mazorcas de algunos cultivares de la India, cabe mencionar que la pudrición de la mazorca por *Fusarium* spp., se caracteriza por la decoloración y un número reducido de granos, teniendo como consecuencia disminución de rendimientos y calidad de las semillas (Becker *et al.*, 2014; Ortiz-Bustos *et al.*, 2015; Kuhnem *et al.*, 2015).

Cuadro 8. Porcentaje de incidencia y severidad de pudrición en mazorca de tres poblaciones de maíz peruano en estudio

Poblaciones (A)				Poblaciones (A)			
P	N	%IPM	Ag	P	N	%SPM	Ag
1	12	46.66 ± 21.46	A	3	12	51.82 ± 29.61	A
2	12	28.33 ± 24.80	B	2	12	42.84 ± 38.00	A
3	12	28.33 ± 13.37	B	1	12	41.78 ± 20.08	A
Tratamientos (B)				Tratamientos (B)			
T	N	%IPM	Ag	T	N	%SPM	Ag
FE	9	51.11 ± 20.28	A	C	9	69.13 ± 23.38	A
C	9	37.77 ± 12.02	A B	FE	9	57.82 ± 21.45	A B
FN	9	26.66 ± 28.28	B	FV	9	31.59 ± 27.06	B C
FV	9	22.22 ± 12.02	B	FN	9	23.29 ± 27.57	C

P=Población de maíz peruano; N= Número de muestras; %IPM= Porcentaje de incidencia de pudrición en mazorca; %SPM= Porcentaje de severidad de pudrición en mazorca; Ag= Agrupación estadística según Tukey en 0.05 (grupos con letras diferentes son estadísticamente significativos); T=Tratamientos, FV= *F. verticillioides*, FN= *F. napiforme*, FE= *F. equiseti*, C= Control.

En la presente evaluación, el control presentó síntomas asociados a la pudrición de mazorca por *Fusarium* spp., coincidiendo con Rivas-Valencia (2011) quienes evaluaron la severidad de pudrición de mazorca y el rendimiento de 21 híbridos comerciales, identificando a *Fusarium* spp., de manera natural en el control, que presentó síntomas asociados a la pudrición de mazorca, en dicha evaluación llegaron a la conclusión de que los híbridos que mostraron los mayores rendimientos no son los que presentaron las severidades menores y viceversa, lo cual indicó que la variabilidad de especies de *Fusarium* encontradas, es un factor a considerarse en el mejoramiento genético de híbridos.

De acuerdo a la PPI realizada, las cepas que se recuperaron fueron *F. napiforme* y *F. equiseti* mostrando un acelerando crecimiento, en comparación de *F. verticillioides*. En cuanto a los controles se manifestó la enfermedad de pudrición de manera natural ocasionada por *Fusarium* spp., esto debido a las distintas rutas de entrada y colonización que tiene el patógeno.

Por otra parte, la cepa inoculada que presentó mayor patogenicidad fue *F. equiseti* con 51.11 y 57.82% de incidencia y severidad, respectivamente, además las tres especies de *Fusarium* afectaron las variables evaluadas, mostrando valores menores a comparación de su control; la PMP que presentó mayor resistencia fue la uno en comparación a la tres, que fue la más susceptible.

Los resultados obtenidos son de gran importancia para el manejo de cultivo en campo, utilizando a esta población que tuvo menos incidencia y severidad de pudrición de tallo y mazorca, sin embargo, las PMP dependen no solo de su buen comportamiento en relación al rendimiento y a la resistencia de estas enfermedades, sino, además, al desempeño que muestre en los diferentes ambientes donde sean probadas.

Showkath *et al.* (2020) han demostrado que la resistencia de la planta al patógeno es un enfoque más económico y ecológico para reducir las pérdidas de producción causadas por *Fusarium* spp., desarrollando híbridos resistentes, en ese estudio se encontró que de 339 líneas de maíz, nueve fueron moderadamente resistentes y 188 exhibieron una reacción moderadamente susceptible a las inoculaciones hechas con *F. verticillioides*, en este mismo sentido, González *et al.* (2012), Zila *et al.* (2013), Rose

et al. (2017), Zhou *et al.* (2018), Román *et al.* (2020) mencionan que, para el manejo de la enfermedad, en los distintos hospederos que se presenta, es necesario emplear variedades resistentes. Además, debido al uso e incremento constante de plaguicidas para el manejo de enfermedades, efectos negativos en las personas y medio ambiente, existe la necesidad de la búsqueda de genotipos resistentes a enfermedades.

CONCLUSIONES

La población uno de maíz morado peruano presenta cierto grado de resistencia a la pudrición en maíz por *Fusarium* spp. con un buen comportamiento en las variables agronómicas evaluadas.

Se identificaron las especies *Fusarium verticillioides*, *Fusarium napiforme* y *Fusarium equiseti*.

F. equiseti fue la especie que mostró mayor incidencia y severidad de pudrición en mazorca y tallo, es decir, ésta especie presento mayor patogenicidad en las poblaciones de maíz.

LITERATURA CITADA

- Abrunhosa, L.; Morales, H.; Soares, C.; Calado, T.; Vila-Chã, A. S.; Pereira, M.; Venancio. (2012).** Micotoxinas detectadas en productos alimenticios en Portugal. *Revista Bio Ciencias*, 2(1), 5-31.
- AgroVoz. (2010).** *Como proteger al maíz del Fusarium: Agricultura*. La Voz. Recuperado el 17 agosto 2020, de URL www.agrovoz.lavoz.com.ar.
- Aguilera, O.M.; Reza, V.M.; Chew, M.R.; Meza, V.J. (2011).** Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 8(2), 16-22.
- Amza, J. (2018).** Seed borne fungi food spoilage, negative impact and their management: a review. *Food Science and Quality Management*, 81, 70-79.
- ANDES. (2019).** *Manual de plagas y enfermedades del maíz*. Recuperado el 02 septiembre 2020, de URL: <http://andes.center/wp-content/uploads/2019/10/Manual-Plagas-y-efermedades-del-Maiz.pdf>.
- Arbeláez, T. G. (2000).** Algunos aspectos de los hongos del genero *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. UNC. *Agronomía colombiana*, 17, 11-22.
- AS, (2017).** *Principales plagas del cultivo de maíz*. Agro Síntesis. Recuperado el 15 abril de 2020, de URL: www.agrosintesis.com.
- ASERCA. (2018).** *¿Conoces el origen del maíz? Gobierno de México*. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. Recuperado el 28 agosto 2020, de URL: www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es.
- ASERCA. (2018).** *Maíz grano cultivo representativo de México. Gobierno de México*. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. Recuperado el 31 octubre 2020, de URL: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>.

- Asturias, M. A. (2004).** *Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre*. HIVOS. Recuperado el 07 agosto 2020, de URL: http://www.estudiosecologistas.org/documentos/publicaciones/otros/maiz_alimentosagrado.pdf.
- Basler, R. (2016).** Diversity of *Fusarium* species isolated from UK forage maize and the population structure of *Fusarium graminearum* from maize and wheat. *Peer Journal*, 4: e2143.
- Bastidas, Y.; Chassaigne, A.; Alezones, J.; Hernández, A. (2015).** Comportamiento agronómico y fitopatológico de variedades de maíz (*Zea mays* L.) en los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Bioagro*, 27(1).
- Becker, E-M.; Herrfurth, C.; Irmisch, S.; Köllner, G.T.; Feussner, I.; Karlovsky, P.; Splivallo, R. (2014).** Infection of corn ears by *Fusarium* spp. induces the emission of volatile sesquiterpenes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(22), 5226-5236.
- Bembibre, C. (2011).** *Importancia del Maíz*. Recuperado el 05 mayo 2020, de URL: <https://www.importancia.org/?s=Ma%C3%ADz>.
- Betanzos, M.E.; Ramírez, F.A.; Coutiño, E.B.; Espinoza, P.N.; Sierra, M.M.; Zambada, M.A.; Grajales, S.M. (2009).** Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. *Agricultura Técnica en México*, 35(4).
- Bhalla, K.; Singh, S.B.; Agarwal, R. (2010).** Quantitative determination of gibberellins by high performance liquid chromatography of various gibberellins producing *Fusarium* strains. *Environ Monit Assess*, 167, 515–520.
- Bilal, S.; Shahzad, R.; Khan, A.L.; Kang, S.M.; Imran, Q.M.; Al-Harrasi, A.; Yun, B.W.; Lee, I.J. (2018).** Endophytic microbial consortia of phytohormones-producing fungus *Paecilomyces formosus* LHL10 and bacteria *Sphingomonas* spp. LK11 to *Glycine max* L. regulates physio-hormonal changes to attenuate aluminum and zinc stresses. *Frontiers in plant science*, 9, 1273.

- Briones, R.D.; Castillo, G.F.; Chávez, S.J.; Aguilar, R.V.; García, A.C.; Ramírez, H.A. (2015).** Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 73-85.
- Camacho, L.M. (2012).** *Identificación y variabilidad genética de cepas de Fusarium spp. aisladas de clavel (Dianthus caryophyllus) en Baja California, México.* Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Campos, S.V. (2013).** *Patogenicidad de Fusarium proliferatum y la utilización de fungicidas en el tratamiento de semillas con control preventivo en la fase inicial de desarrollo del arroz.* Tesis de Licenciatura, UCR-Facultad de Ciencias Agroalimentarias.
- CANNA. (2020).** *Fusarium - plagas y enfermedades.* Recuperado el 02 noviembre 2020, de URL: <https://www.canna.es/fusarium-plagas-enfermedades>.
- Cao, A.; Santiago, R.; Ramos, A.J.; Souto, X.C.; Aguín, O.; Malvar, R.A.; Butrón, A. (2014).** Critical environmental and genotypic factors for *Fusarium verticillioides* infection fungal growth and fumonisin contamination in maize grown in northwestern Spain. *International Journal of Food Microbiology*, 177, 63–71.
- Capo, L.; Zappino, A.; Reyneri, A.; Blandino, M. (2020).** Role of the fungicide seed dressing in controlling seed-borne *Fusarium* spp. infection and in enhancing the early development and grain yield of maize. *Agronomy* 10(6), 784.
- Carmona, M.; Scandiani, M. (2010).** Las pudriciones de tallo y raíces del maíz. Pudriciones por *Fusarium*. AAPRESID. *Plagas y enfermedades*, 131-138.
- Carrillo, T.C. (2009).** El origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica. UNAM. *Ciencias*, 92(3), 4 -13.
- Castro-del Ángel, E.; Sánchez-Arizpe, A.; Galindo-Cepeda, M.E.; Vázquez-Badillo, M.E. (2021).** Efecto de especies de *Trichoderma* sobre la incidencia de

F. verticillioides en cuatro genotipos de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24: #XX.

- Cen, Y-K.; Lin, J-G.; Wang, Y-L.; Wang, J-Y.; Liu, Z-Q.; Zheng, Y-G. (2020).** The gibberellin producer *Fusarium fujikuroi*: methods and technologies in the current toolkit. *Front. Bioeng. Biotechnol*, 8, 232.
- Chang, S.; Porto C-L, M.; Ferreira de Oliveira, B.; Souza-Motta, C.; Lima, N.; Santos, C.; Tinti de Oliveira, N. (2016).** Polyphasic approach including MALDI-TOF MS/MS analysis for identification and characterization of *Fusarium verticillioides* in brazilian corn kernels. *Toxins*, 8, 54.
- Chang, X.; Li, H.; Naeem, M.; Wu, X.; Yong, T.; Song, C.; Liu, T.; Chen, W.; Yang, W. (2020).** Diversity of the seedborne fungi and pathogenicity of *Fusarium* species associated with intercropped soybean. *Pathogens*, 9, 531.
- Chavarri, M.; Barroyeta, J.; Ochoa, Y.; Rumbos, N.; Alezones, J. (2017).** Detección de *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en granos de maíz blanco provenientes de los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Nova Scientia*, 9, (19), 171-184.
- Chávez-Díaz, I.F.; Ríos-Galicia, B.; Blanco-Camarillo, M.; Cruz-Cárdenas, C.I.; Sandoval-Cancino, G.; Rojas-Anaya, E.; Gómez-Godínez, L.J.; Arteaga-Garibay, R.I.; Zelaya-Molina, L.X. (2021).** Native corn rhizospheric fungi with biocontrol potential against four different complexes of *Fusarium* species. *Biocontrol Science and Technology*, 31(7), 754-772.
- CIMMYT. (2004).** *Enfermedades de maíz: una guía para su identificación en el campo*. Cuarta edición. México, D.F. CIMMYT.
- CIMMYT. (2010).** *Taller de Sanidad de Semillas*. Recuperado el 02 julio 2020, de URL: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/3766/94743.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CONABIO. (2020).** *Razas de maíz de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado el 14 junio 2021, de URL: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.

- Corteva. (2021).** *Pudrición del tallo de maíz por Fusarium*. Recuperado el 14 junio 2021, de URL: <https://www.corteva.es/content/dam/dpagco/corteva/eu/es/es/files/otros-documentos/Pudricion-del-tallo-de-maiz-por-Fusarium.pdf>.
- Cortez-Rocha, M.O.; Ramírez-Astudillo, W.R.; Sánchez-Martínez, R.I.; Rosas-Burgos, E.C.; Wong-Corral, F.J.; Borboa-Flores, J.; Tequida-Meneses, M. (2003).** Fumonisin and fungal species in corn from Sonora, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 70, 668-673.
- Craven, M.; Morey, L.; Abrahams, A.; Njom, H.A.; van Rensburg, J.B. (2020).** Efecto de la gravedad del tizón de la hoja del maíz del norte sobre la incidencia de la pudrición de la mazorca por *Fusarium* en el maíz. *S. Afr. j. sci*, 116(11), 11-12.
- Cruz, D.M.; Gómez, V.M.; Ortiz, P.M.; Entzana, T.A.; Suarez, H.C.; Santillán, M.V. (2012).** *Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 09 octubre 2020, de URL: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf.
- da Silva, M.P.; Tylka, G.L.; Munkvold, G.P. (2016).** Seed treatment effect on maize seedlings coinfecting with *Fusarium* spp., and *Pratylenchus penetrans*. *Plant Disease*, 100(2), 431-437.
- Dastjerdi, R.; Karlovsky, P. (2015).** Systemic infection of maize, sorghum, rice, and beet seedlings with fumonisins-producing and nonproducing *Fusarium verticillioides* strains. *The plant pathology journal*, 31(4), 334–342.
- Daugovish, O.; Steven, A.; Mochizuki, J. (2008).** Integration of oxyfluorfen into strawberry (*Fragaria ananassa*) Weed Management Programs. *Weed Technology*, 22, 685-690.
- De la Torre-Hernández, M.E.; Sánchez-Rangel, D.; Galeana-Sánchez, E.; Plasencia-De la Parra, J. (2014).** Fumonisin- Síntesis y función en la

interacción. *Fusarium verticillioides*- Maíz. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 77-91.

De León, C. (2003). Enfermedades importantes del maíz en Colombia. CIMMYT. *Fitopatología Colombiana*, 27(2), 37-44.

De Rossi, R.; Guerra, F.; Plaza, M.C.; Vuletic, E.; Brucher, E.; Guerra, G. (2016). *Enfermedades del maíz en las últimas cinco campañas*. UCC. INTA. Recuperado el 09 septiembre 2020, de URL: https://www.researchgate.net/publication/310794438_ENFERMEDADES_DEL_MAIZ_EN_LAS_ULTIMAS_CINCO_CAMPANAS.

De Souza, M.; Matsuzawa, T.; Lyra, L.; Busso-Lopes, A. F.; Gono, T.; Zaninelle-Schreiber A.; Kamei, K.; Moretti, M.L. Trabasso, P. (2014). *Fusarium napiforme* systemic infection: case report with molecular characterization and antifungal susceptibility tests. *Springer Plus*, 30(3), 492.

Delgado-Ortiz, J.C.; Ochoa-Fuentes, Y.M.; Cerna-Chávez, E.; Beltrán-Beache, M.; Rodríguez-Guerra, R.; Aguirre-Uribe, L.A.; Vázquez-Martínez, O. (2016). Patogenicidad de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición basal del ajo en el centro norte de México. *Rev Argent Microbiol*, 48(3), 222-228.

Delmaiz. (2020). *Maíz morado: Propiedades y beneficios para la salud*. Recuperado el 23 octubre 2020, de URL: <http://delmaiz.info/morado/>. Enciclopedia Ilustrada.

Desjardins, A.E.; Proctor, R.H. (2001). Biochemistry and genetics of *Fusarium* toxins. In: Summerell BA, Leslie JF, Backhouse D, Bryden WL, Burgess LW, editors. *Fusarium* Paul E. Nelson Memorial Symposium. *St. Paul MN: APS Press*, 9, 29–49.

Dharanendra, S.S.; Mahadevakumar, S.; Hemareddy, H.B.; Amruthesh, K.N.; Mamatha, S.; Sridhara G.; Kunjeti, R.; Swapnil.; Vasantha K.T.; Lakshmidevi, N. (2020). First report of *Fusarium equiseti*—the incitant of post flowering stalkrot of maize (*Zea mays* L.) in India. *Crop Protection*, 129, 105035.

- Díaz, A.M.; Leandro, L. F.; Munkvold, G. P. (2013).** Aggressiveness of *Fusarium* species and impact of root infection on growth and yield of soybeans. *Phytopathology*, 103, 822-832.
- Díaz, A.M.; Munkvold, G.P.; Ellis, M.L.; Leandro, S.L. (2013).** Distribution and frequency of *Fusarium* species associated with soybean roots in Iowa. *Plant Disease*, 97(12), 1557-1562.
- Díaz, C.G.; Rodríguez, R.; Aguaysol, C.; Juárez, J.; Saleme, P.; Ploper, L.D. (2012).** Relación entre incidencia de *Fusarium verticillioides* y variables de calidad de grano bajo condiciones de almacenamiento de maíz en Tucumán, Argentina. *Revta. Agron. N. O. Argent*, 32(1-2), 47-53.
- Dino-lite. (2020).** *DinoCapture 2.0: software de imágenes de microscopio.* Recuperado el 15 agosto 2020, de URL: <<https://www.dinolite.us/en/dinocapture/>>.
- Doohan, F.M.; Brennan, J.; Cooke, B.M. (2003).** Influence of climatic factor on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 755-768.
- Dragich, M.; Nelson, S. (2014).** *Gibberella* and *Fusarium* ear rots of maize in Hawaii. *Plant Disease*, PD-102.
- DSTDP. (2014).** *Pudrición de mazorca. Departamento de Servicios Técnicos de DuPont Pioneer.* Recuperado el 08 junio 2021, de URL: https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Mexico_Intl/Agronomia/Articulos_PDF/CN_5B_PUDRICION_MAZORCA.pdf.
- Einloft, T.C.; Hartke, S.; de Oliveira, P.B.; Saraiva, S.P.; Dionello, G.R. (2021).** Selection of rhizobacteria for biocontrol of *Fusarium verticillioides* on non-rhizospheric soil and maize seedlings roots. *Eur J Plant Pathol*, 160, 503–518.
- Fantazzini, T.B.; Guimarães, R.M.; Clemente, A. da C.S.; Carvalho, E.R.; Machado, J. da C. (2016).** *Fusarium verticillioides* inoculum potential and its relation with the physiological stored corn seeds quality. *Bioscience Journal*, 32(5).

- FAO. (1993).** *El maíz en la nutrición humana*. Recuperado el 31 octubre 2020, de URL: <http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>.
- FAO. (2020).** *Plagas y enfermedades de las plantas*. Food and Agriculture Organization. Recuperado el 02 noviembre 2020, de URL: <http://www.fao.org/emergencias/tipos-de-peligros-y-de-emergencias/plagas-y-enfermedades-de-las-plantas/es/>.
- FAO. (2021).** *¿Qué es Fusarium Raza 4 tropical (R4T)? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 08 junio 2021, de URL: <http://www.fao.org/tr4gn/conceptos-basicos/es/>.
- FAO. (2021).** *Información sobre operaciones de poscosecha. Cereales y granos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado el 05 junio 2021, de URL: [http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/?page=1&ipp=7&no_cache=1&tx_dynalist_pi1\[par\]=YToxOntzOjE6lkwiO3M6MToiMil7fQ==](http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/?page=1&ipp=7&no_cache=1&tx_dynalist_pi1[par]=YToxOntzOjE6lkwiO3M6MToiMil7fQ==).
- FAO.; AfricaSeeds. (2019).** *Materiales para capacitación en semillas - Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas*. Recuperado el 03 julio 2020, de URL: <http://www.fao.org/3/ca1492es/CA1492ES.pdf>.
- FAOSTAT. (2021).** *Producción de maíz*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado el 05 junio 2020, de URL: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.
- Fernández-Herrera, E; Martínez-Rentería, M.E.; Moreno-Salazar, S.F.; Jiménez-Peña, N.; Ramírez-Bustos, I.I. (2018).** Bacterias de la rizosfera de garbanzo con capacidad antagónica a hongos fitopatógenos y de promoción del crecimiento de la planta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21, 557-568.
- Figuroa-Rivera, M.; Rodríguez-Guerra, R.; Guerrero-Aguilar, B.; González-Chavira, M.; Pons-Hernández, J.; Jiménez-Bremont, J.; Ramírez-Pimentel, J.; Andrino-Enríquez, E.; Mendoza-Elos. (2010).** Caracterización de especies

de *Fusarium* asociadas a la pudrición de raíz de maíz en Guanajuato, México. *Rev. Mex. Fitopatol*, 28(2).

Forero, R.C.; Alvarado, F.A.; Ceballos, R.A.; González, C.L.; Linares, L.M.; Castañeda, S.R.; Pulido, V.A.; Góngora, M.M.; Cortés, V.J.; Rodríguez, B.M. (2018). Evaluación de la capacidad patogénica de *Fusarium* spp., en modelos vegetal y murino. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(1), 90-96.

Fu, M.; Li, R.; Guo, C.; Pang, M.; Liu, Y.; Dong, J. (2015). Natural incidence of *Fusarium* species and fumonisins B₁ and B₂ associated with maize kernels from nine provinces in China in 2012. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32(4), 503-511.

Gai, X.; Dong, H.; Wang, S.; Liu, B.; Zhang, Z.; Li, X.; Gao, Z. (2018). Infection cycle of maize stalk rot and ear rot caused by *Fusarium verticillioides*. *PLoS one*, 13(7).

Gálvez, R.L.; Christopher, A.; Sarkar, D.; Shetty, K.; Chirinos, R.; Campos, D. (2017). Phenolic composition and evaluation of the antimicrobial activity of free and bound phenolic fractions of peruvian purple corn accession (*Zea mays* L.). *Journal of Food Science*, 82(12), 2968-2976.

García-Aguirre, G.; Martínez-Flores, R. (2010). Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechado y desgranado en el campo en la región de Ciudad Serdán, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(1).

Garzón, A.G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. *Acta biol*, 13(3), 27-36.

Gaspardo, B.; Del Zotto, S.; Torelli, E.; Cividino, S.R.; Firrao, G.; Dell Riccia, G.; Stefanon, B. (2012). A rapid method for detection of fumonisins B₁ and B₂ in corn meal using fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy implemented with integrating sphere. *Food Chemistry*, 135(3), 1608-1612.

Ghini, R., Fortes, PNL, Navas-Cortés, JA, Silva, CA y Bettioli, W. (2016). Combined effects of soil biotic and abiotic factors, influenced by sewage sludge incorporation, on the incidence of corn stalk rot. *PLOS ONE*, 11(5).

- Gómez, L.E. (2008).** *Caracterización de cepas toxígenas del genero Fusarium mediante técnicas de biología molecular.* Tesis de licenciatura. UPV.
- González, A.R. (2021).** *Usos del maíz.* Instituto de Ecología (INECOL). Recuperado el 06 junio 2021, de URL: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1020-usos-del-maiz>.
- González, H.A.; Vázquez, G.L.; Sahagún, C.J.; Rodríguez, P.J.; Pérez, L.D. (2007).** Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. INIFAP. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), 33-42.
- González, I.; Arias, Y.; Peteira, B. (2012).** Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*-tomate. *Rev. Protección*, 27(1).
- González-Cortés, N.; Silos-Espino, H.; Estrada, C.J.; Chávez-Muñoz, J.; Tejero, J.L. (2016).** Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669-680.
- Gordon, T.R.; Martyn, R.D. (1997).** The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. *Annu Rev. Phytopathol*, 35(1), 111-128.
- Guillén-Sánchez, J.; Mori-Arismendi, S.; Paucar-Menacho, L.M (2014).** Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. *Subnigroviolaeo*. *Scientia Agropecuaria*, 5(4).
- Gutiérrez-Hernández, G.F.; Virgen-Vargas, J.; Arellano-Vázquez, J.L. (2007).** Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2), 163-170.
- Hassani, F.; Zare, L.; Khaledi, N. (2019).** Evaluation of germination and vigor indices associated with *Fusarium*-infected seeds in pre-basic seeds wheat fields. *Journal of Plant Protection Research*, 59(1).
- Hernández-Delgado, S.; Reyes-López, M.A.; García-Olivares, J.G.; Mayek-Pérez, N.; Reyes-Méndez, C.A. (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.

HV. (2021). *Podredumbre de raíz y base del tallo: Herbario Virtual*. FAUBA. Recuperado el 14 junio 2021, de URL: http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=175.

IICA. (2013). *El cultivo de maíz: Guía técnica*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-CENTA. Recuperado el 17 abril 2020, de URL: www.repppca.iica.int.

ILSI. (2006). *Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal*. Recuperado el 06 junio 2020, de URL: <http://www.maizar.org.ar/documentos/ilsis%20maizar.pdf>.

INIA. (2020). *Características del maíz morado peruano*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Perú. Recuperado el 13 agosto 2021, de URL: www.inia.gob.pe.

Ismail, A.A.; Papenbrock, J. (2015). Mycotoxins: fungal production and phytotoxicity mechanisms. *Agriculture*, 5(3): 492-537

Izquierdo, N. G.; Cirilo, A. G. (2013). *Usos del maíz: Efectos del ambiente y del manejo sobre la composición del grano*. Universidad Nacional de Mar del Plata. INTA. Recuperado el 20 julio 2020, de URL: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47599/Documento_completo.pdf?sequence=1.

Jiang, H.; Wu, N.; Jin, S.; Ahmed, T.; Wang, H.; Li, B.; Wu, X.; Bao, Y.; Liu, F.; Zhang, J-Z. (2021). Identification of rice seed-derived *Fusarium* spp., and development of LAMP assay against *Fusarium fujikuroi*. *Pathogens*, 10(1).

Kato, T. A.; Mapes, S. C.; Mera, L. M.; Serratos, J. A.; Bye, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado el 20 julio 2020, de URL: https://www.academia.edu/29619915/Origen_y_diversificaci%C3%B3n_del_m

a%C3%ADz_una_revisi%C3%B3n_anal%C3%ADtica_T_A_Kato_Yamakake_et_al_presen_de_J_Sarukh%C3%A1n_Kermez.

- Kenneth, R.; Ramírez-Coché. J.A.; Castro, O.; Blanco-Meneses, M. (2018).** Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* F. sp. *Apii* asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *UCR. Agronomía Costarricense*, 42 (1), 115-126.
- Khamphan, P.; Lomthaisong, K.; Harakotr, B.; Ketthaisong, D.; Scott, M.; Lertrat, K.; Suriharn, B. (2018).** Genotypic variation in anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant activity in cob and husk of purple field corn. *Agronomy*, 8(11), 271.
- Khodaei, D.; Javanmardi, F.; Khaneghah, A.M. (2020).** The global overview of the occurrence of mycotoxins in cereals: a three-year survey. *Current Opinion in Food Science*, 39, 36-42.
- Koch, E.; Zink, P.; Pfeiffer, T.; von Galen, A.; Linkies, A.; Drechsel, B, T. (2020).** Artificial inoculation methods for testing microorganisms as control agents of seed- and soil-borne *Fusarium*-seedling blight of maize. *J Plant Dis Prot*, 127, 883–893
- Koppert Biological Systems. (2020).** *Fusarium oxysporum. Marchitez vascular.* Koppert Publishing. Recuperado el 12 agosto 2020, de URL: <https://www.koppert.mx>.
- Kuhnem, R.P.; Del Ponte, M.E.; Dong, Y.; Bergstrom, C.G. (2015).** *Fusarium graminearum* isolates from wheat and maize in New York show similar range of aggressiveness and toxigenicity in cross-species pathogenicity tests. *Phytopathology*, 105(4), 441-448.
- Lanubile, A.; Maschietto, V.; Borrelli, M.V.; Stagnati, L.; Logrieco, F.A.; Marocco, A. (2017).** Molecular basis or resistance to *Fusarium* ear rot in maize. *Frontiers in Plant Science*, 8.

- Lanza, E.F.; Zambolim, L.; Veras da Costa, R; Vieira, Q.V.; Viana, C.L.; da Silva, D.; Gomes, C.A.; Fontes, F.J. (2014).** Prevalence of fumonisin-producing *Fusarium* species in Brazilian corn grains. *Crop Protection*, 65, 232-237.
- Leslie, J.F.; Summerell, B.A. (2006).** *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell publishing Professional.
- Leyva, M.S.; Vega, P. H.; Villaseñor, M. H.; Tlapal, B. B.; Vargas, H.M.; Camacho, T. M.; Tovar, P.J. (2017).** Caracterización de especies de *Fusarium* causantes de pudrición de raíz del trigo en el Bajío, México. UACH. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, 33(2), 142-151.
- Leyva-Madrigal, K.Y.; Sandoval-Castro, E.; Calderón-Vázquez, C.L.; Larralde-Corona, C.P.; Maldonado-Mendoza, I.E. (2017).** Pathogenic and genetic variability of *Fusarium verticillioides* from maize in northern Mexico, Canadian. *Journal of Plant Pathology*, 39(4), 486-496,
- Leyva-Madrigal, K.Y.; Larralde-Corona, C.P.; Calderón-Vázquez, CL.; Maldonado-Mendoza, I.E. (2014).** Distribución del genoma y validación de nuevos marcadores microsatélites de *Fusarium verticillioides* y su transferibilidad a otras especies de *Fusarium*. *J. Microbiol. Métodos*. 101, 18-23.
- Li, L.; Qu, Q.; Guo, Z.; Jia, H.; Liu, N.; Dong, L. (2019).** The relationship analysis on corn stalk rot and ear rot according to *Fusarium* species and fumonisin contamination in kernels. *Toxins*, 11(6), 320.
- Li, M.; Ma, G.; Lian, H.; Su, X.; Tian, Y.; Huang, W.; Jiang, X. (2019).** The effects of *Trichoderma* on preventing cucumber *Fusarium* wilt and regulating cucumber physiology. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 607–617.
- Li, P.P.; Cao, Z.Y.; Wang, K.; Zhai, H.; Jia, H.; Liu, N.; Li, S.H.; Hao, Z.M.; Gu, S.Q.; Dong, J.G. (2014).** First report of *Fusarium equiseti* causing a sheath rot of corn in China. *Plant Health Progress*, 98(7), 998.

- Li, Y.G.; Jiang, D.; Xu, L.K.; Zhang, S.Q.; Ji, P.S.; Pan, H.Y.; Jiang, B.W.; Shen, Z.B. (2019).** Evaluation of diversity and resistance of maize varieties to *Fusarium* spp. causing ear rot in maize under conditions of natural infection. *Czech J. Genet. Plant Breed*, 55, 131–137.
- López, V.B.; Armenta, B.A.; Apodaca, S.M.; Ruelas, J.R.; Palacios, M.C.; Valenzuela, E.F. (2014).** Reducción de la fertilización sintética con composta y optimización del riego sobre la pudrición del tallo (*Fusarium* spp.) del maíz. *Scientia Agropecuaria*, 5, 121-133.
- Lori, G.; Monaco, C.; Wolcan, C.; Alippi, H.; Rizzo, I.; Vedoya, G.; Chiale, C. (1997).** Pathogenic and toxigenic behavior of *Fusarium graminearum* populations in Argentina. *Cereal Research Communications*, 25(3), 367-368.
- Marburger, D.A.; Venkateshwaran, M.; Conley, P.S.; Esker, D.P.; Lauer, J.G.; Ané, J-M. (2015).** Crop rotation and management effect on *Fusarium* spp. Populations. *Crop Science*, 55(1), 365-376.
- Marín, G.P. (2010).** *Análisis de factores ecofisiológicos que influyen en la expresión de genes relacionados con la biosíntesis de toxinas en especies de Fusarium.* Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid.
- Martínez-Fernández, E.; Martínez-Jaimes, P.; Guillén, S.D.; Peña-Chora, G.; Hernández-Hernández, V.M. (2015).** Diversidad de *Fusarium* en las raíces de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el estado de Morelos, México. *Revista mexicana de micología*, 42, 33-43.
- Matos, M.C.S.; Barrocas, E.N.; Machado, C.J.; Cardoso A.F. (2013).** Health and physiological quality of corn seeds treated with fungicides and assessed during storage. *Journal of Seed Science*, 35(1), 10-16,
- Mendoza, E.M.; Andrio, E.E.; López, B.A.; Rodríguez, G.R.; Latournerie, M.L.; Rodríguez, H.S. (2006).** Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. *Agronomía Mesoamericana*, 17(1): 19-24.

- Mendoza, E.M.; López, A.; Oyervides, A.; Martínez, G.; De León, C.; Moreno, E. (2003).** Herencia genética y citoplasmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 267-271.
- Mendoza, M.G.; Ricalde, V.R. (2016).** *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano*. UAM. Recuperado el 24 agosto 2020, de URL: <https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/Bovinos.pdf>.
- Mesterházy, Á.; Lemmens, M.; Reid, L.M. (2012).** Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. *Plant Breeding*, 131, 1-19.
- Mohd, Z.N.A.I.; Hamzah, F.A.; Kusai, N.A.; Zambri, N.S.; Salleh, S. (2017).** Characterization and pathogenicity of *Fusarium proliferatum* and *Fusarium verticillioides*, causal agents of *Fusarium* ear rot of corn. *Turkish Journal of Biology*, 41, 220-230.
- Morales-Rodríguez, I.; Yáñez-Morales, M.; Silva-Rojas, H.V.; García-de-Los-Santos, G.; Guzmán-de-Peña, D.A. (2007).** Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. *Micopatología*, 163(1), 31–39.
- Moussa, T.A.A.; Almaghrabi, O.A.; Abdel-Moneim, T.S. (2013).** Biological control of the wheat root rot caused by *Fusarium graminearum* using some PGPR strains in Saudi Arabia. *Annals of Applied Biology*, 163(1), 72-81.
- Munkvold, G.P. (2016).** *Fusarium* species and their associated mycotoxins. *Mycotoxigenic fungi*, 51, 106.
- Muñoz-Adalia, E.; Cañizares, M.; Fernández, M.; Diez, J.; García-Pedrajas, M. (2018).** The *Fusarium circinatum* gene Fcrho1, encoding a putative Rho1 DTPase, is involved in vegetative growth but dispensable for pathogenic development. *Bosques*, 9(11), 684.

- Murray, M.G.; Thompson, W.F. (1980).** Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*, 8, 4321–4325.
- Naeem, M.; Li, H.; Yan, L.; Raza, M.A.; Gong, G.; Chen, H.; Yang, C.; Zhang, M.; Shang, J.; Liu, T.; Chen, W.; Fahim Abbas, M.; Irshad, G.; Ibrahim Khaskheli, M.; Yang, W.; Chang, X. (2019).** Characterization and pathogenicity of *Fusarium* species associated with soybean pods in maize/soybean strip intercropping. *Pathogens*, 8, 245.
- Natarajan, K.; Balasubramanian, V.; Rajesh, K.V. (2019).** Investigation of antifungal activity of surfactin against mycotoxigenic phytopathogenic fungus *Fusarium moniliforme* and its impact in seed germination and mycotoxicosis. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 155, 101-107.
- Nguyen, P-A.; Strub, C.; Durand, N.; Alter, P.; Fontana, A.; Schoorr-Galindo, S. (2018).** Biocontrol of *Fusarium verticillioides* using organic amendments and their actinomycete isolates. *Biological Control*, 118, 55-66.
- Nischiuchi, T. (2013).** *Plant responses to Fusarium metabolites. Fusarium Genomics, Molecular and Cellular Biology.* Caister Academic Press.
- Okello, P.N.; Mathew, F.M. (2019).** Cross pathogenicity studies show south dakota isolates of *Fusarium acuminatum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, *F. solani*, and *F. subglutinans* from either soybean or corn are pathogenic to both crops. *Plant Health Progress*, 20, 44-49.
- Olowe, M.O.; Asemoloye, D.M.; Olawuyi, J.O. (2020).** Newly identified *Fusarium* strains (olowLH1 and olowLH2) causing ear rot of maize and their control using *Glomus clarum* and *G. deserticola*. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 155(3), 517-523.
- Olowe, O.; Olawuyi, O.; Odebode, A. (2015).** Response of maize genotypes to *Fusarium verticillioides* strains from two agro ecological zones in southwest Nigeria. *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol*, 27(2), 77-86.

- Olowe, O.M.; Olawuyi, O.J.; Sobowale, A.A.; Odebode, A.C. (2018).** Role of arbuscular mycorrhizal fungi as biocontrol agents against *Fusarium verticillioides* causing ear rot of *Zea Mays* L. (Maize). *Biología vegetal actual*, 15, 30–37.
- Ortiz-Bustos, C.M.; García-Carneros, A.B.; Molinero-Ruiz, L. (2015).** The late wilt of corn (*Zea mays* L.) caused by *Cephalosporium maydis* and other fungi associated at the Iberian Peninsula. *Summa Phytopathologica*, 41(2), 107-114.
- Ozono. (2017).** *Fusarium: Qué es y cuáles son sus síntomas*. Cosemar Ozono. Recuperado el 02 noviembre 2020, de URL: <https://www.cosemarozono.com/blog/fusarium-cuales-sintomas/>.
- Paliwal, R. L. (2001).** *El maíz en los trópicos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado el 20 agosto 2020, de URL: <http://www.fao.org/3x7650s/x7650s10.htm#TopOfPage>.
- Páliz, S.V.; Mendoza, M.J. (2014).** *Plagas del maíz (Zea mays)*. Quevedo, EC: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue.
- Parikh, L.; Kodati, S.; Eskelson, M.J.; Adesemoye, A.O. (2018).** Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. in row crops in Nebraska. *Crop Protection*, 108, 120-127.
- Patel, P.; Shah, R.; Krishnamurthy, R.; Amaresan, N. (2020).** *Fusarium solani* a new pathogen that causes stem rot of sugarcane in Suth Gujarat, India. *Natl. Acad. Sci. Lett*, 43, 291–294.
- Penelo, L. (2019).** *Maíz: Propiedades, beneficios y valor nutricional*. La Vanguardia. Recuperado el 06 junio 2021, de URL: lavanguardia.com/comer/20180906/451618009383/maiz-valor-nutricional-propiedades-beneficios.html.
- Pérez, T.R.; Carmona, D.J.; Cebada, R.J.; Munive, H.J. (2012).** Patogenicidad bacteriana en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 1(1).

- Pérez-Rodríguez J. (2014).** *Sensibilidad a fungicidas de las especies de Fusarium responsables de la pudrición de la mazorca del maíz.* Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Pfordt, A.; Ramos-Romero, L.; Schiwiek, S.; Karlovsky, P.; von Tiedemann, A. (2020).** Impact of environmental conditions and agronomic practices on the prevalence of *Fusarium* species associated with ear- and stalk rot in maize. *Pathogens*, 9(3), 236.
- Pinedo, R.; Collado, L.; Arias, L., Shagarodsky, T. (2009).** *Importancia del maíz, frijol, pallar, y chile en agroecosistemas tradicionales del trópico húmedo de Cuba, México y Perú.* Bioersity International.
- Pioneer. (2021).** *Ficha técnica manejo de pudrición de tallos en maíz.* Recuperado el 14 junio 2021, de URL: https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina_Intl/AGRONOMIA/boletines/MANEJO_PUDRICION_DE_TALLOS.pdf.
- Ponce-García, N.; Serna-Saldivar, S.O.; Garcia-Lara, S. (2018).** Fumonisin and their analogues in contaminated corn and its processed foods – a review. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 35(11), 2183-2203.
- Poole, G.J.; Smiley, R.W.; Walker, C.; Huggins, D.; Rupp, R.; Abatzoglou, J.; Garland-Campbell, K.; Paulitz, T.C. (2013).** Effect of climate on the distribution of *Fusarium* spp. causing crown rot of wheat in the Pacific Northwest of the United States. *Phytopathology*, 103(11), 1130-1140.
- Qin, P.W.; Xu, J.; Jiang, Y.; Hu, L.; van der Lee, T.; Waalwijk, C.; Zhang, W.M.; Xu, X.D. (2020).** Survey for toxigenic *Fusarium* species on maize kernels in China. *World Mycotoxin Journal*, 13, (2), 213-224.
- Qu, B.; Li H.P.; Zhang, J.B.; Xu, Y.B.; Huang, T.; Wu, A.B.; Zhao, C.S.; Carter, J.; Nicholson, P.; Liao, Y.C. (2008).** Geographic distribution and genetic diversity of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* on wheat spikes throughout China. *Plant Pathology*, 57, 15-24.

- Rangaswamy, V. (2012).** Improved production of gibberellic acid by *Fusarium moniliforme*. *Journal of Microbiology Research*, 2(3), 51-55.
- Ridout, M.E.; Godfrey, B.; Newcombe, G. (2019).** Effects of antagonists on mycotoxins of seedborne *Fusarium* spp., in sweet corn. *Toxins*, 11, 438.
- Rivas-Valencia, P.; Virgen-Vargas, J.; Rojas, M.I.; Cano, S.A.; Ayala, E.V. (2011).** Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(6).
- Román, S.G.; Quiroz-Chávez, J.; Villalobos, M.; Urias-Gutierrez, V.; Nava-Pérez, E.; Ruiz-May, E.; Kumar, S.R.; Sharma, L.; Quiroz-Figueroa, F.R. (2020).** A global screening assay to select for maize phenotypes with a high tolerance or resistance to *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg. rots. *Agronomy*, 10(12), 1990.
- Rose, L.J.; Okoth, S.; Beukes, I.; Ouko, A.; Mouton, M.; Flett, C.B.; Makumbi, D.; Viljoen, A. (2017).** Determining resistance to *Fusarium verticillioides* and fumonisin accumulation in African maize inbred lines resistant to *Aspergillus flavus* and aflatoxins. *Euphytica*, 213, 93.
- Ruíz, M.J. (2018).** *Principales enfermedades del cultivo del maíz*. Unisem. Recuperado el 01 junio 2021, de URL: <https://semillastodoterreno.com/2018/09/principales-enfermedades-del-cultivo-de-maiz>.
- Ryabova, N.; Tupolskikh, T.; Serdyuk, V.; Gordeeva, N. (2021).** Analysis of infection with fungi of the genus *Fusarium* seed and vegetative organs of crops. *E3S Web Conf*, 273(01019), 11.
- SADER. (2020).** *Maíz el cultivo de México*. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado el 25 agosto 2020, de URL: www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico?idiom=es.
- SAGARPA, (2013).** *Ficha Técnica No.2 Mal de Panamá Fusarium oxysporum f. sp. cubense raza 4 Schlecht*. Dirección General de Sanidad Vegetal. SENASICA. México. Recuperado el 10 septiembre 2020, de URL:

<http://sinavef.senasica.gob.mx/CNRF/AreaDiagnostico/DocumentosReferencia/Documentos/ProtocolosFichas/Protocolos/HongosFitopatogenos/1.%20Protocolo%20Fusarium%20oxysporum%20f.sp.%20cubense%20V.1%20Pub.pdf>.

- Salah, H.; Al-Hatmi, A.M.S.; Theelen, B.; Abukamar, M.; Hashim, S.; van Diepeningen, A.; Taj-Aldeen, S.J. (2015).** Phylogenetic diversity of human pathogenic *Fusarium* and emergence of uncommon virulent species. *Journal of Infection*, 71(6), 658-666.
- Salazar, C.S. (2018).** *Aislamiento e identificación de cepas fúngicas de Stanhopea tigrina productoras de giberelinas con efecto benéfico para la orquídea*. Tesis de Doctorado. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Salinas, M.Y.; Pérez, A.J.; Vázquez, C.G.; Aragón, C.F.; Velázquez, C.G. (2012).** Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Revista Agrociencia*, 46(7), 693-706.
- Sánchez, O. I. (2014).** El maíz (*Zea mays*). Universidad Complutense. *Serie Botánica*, 7(2),151-171.
- Santori, M.V.; Nesci, A.V.; Etcheverry, M.G. (2015).** Infección de *Fusarium verticillioides* y contenido de fumonisinas en granos de maíz de plantas con inflorescencias femeninas cubiertas y no cubiertas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 47(1), 251-261.
- Schoch, C.L.; Ciuffo, S.; Domrachev, M.; Hotton, C.L.; Kannan, S.; Khovanskaya.; Leipe, D.; Mcveigh, R.; O'Neill, K.; Robbertse, B.; Sharma, S.; Soussov, V.; Sullivan, J.P.; Sun, L.; Turner, S.; Karsch-Mizrachi, I. (2020).** NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *The Journal of Biological Databases and Curation*. Database. Oxford.
- Schoeman, A.; Flett, B.C.; van Rensburg, J.B.; Ncube, E.; Viljoen, A. (2018).** Pathogenicity and toxigenicity of *Fusarium verticillioides* isolates collected from maize roots, stems and ears in South Africa. *Eur J Plant Pathol*, 152, 677-689.

- Schoijet, G.M. (2005).** Población y producción de alimentos. Tendencias recientes - UNAM. *Problemas del Desarrollo*, 36(141).
- Seifert, K. (1996).** *Fuskey Fusarium Interactive Key*. Agriculture and Agri-Food Canadá.
- Seminis. (2017).** *Que es y como ataca el Fusarium*. Recuperado el 08 mayo 2020, de URL: www.seminis.mx.
- SENASICA. (2020).** *Ficha técnica Fusarium spp.: Podredumbre de raíces*. Dirección General de Sanidad Vegetal. Recuperado el 14 junio 2021, de URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633031/Fusarium_spp__ma_z__2020.pdf.
- SENASICA. (2021).** *Ficha técnica Fusarium verticillioides marchitez del agave*. Dirección General de Sanidad Vegetal. Recuperado el 16 julio 2021, de URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/244027/Ficha_T_cnica_Fusarium_verticillioides_en_agave_Versi_n_FINAL.pdf.
- Serrano-Coll, H.A.; Cardona-Castro, N. (2015).** Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. *Rev CES Med*, 29(1), 143-152.
- Shan, L.Y.; Cui, W.Y.; Zhang, D.D.; Zhang, J.; Ma, N.N.; Bao, Y.M.; Dai, X.F.; Guo, W. (2017).** First report of *Fusarium brachygibbosum* causing maize stalk rot in China. *Plant Disease*, 101(5).
- Shin, J. H.; Han, J. H.; Lee, J. K.; Kim, K. S. (2014).** Characterization of the maize stalk rot pathogens *Fusarium subglutinans* and *F. temperatum* and the effect of fungicides on their mycelial growth and colony formation. *The plant pathology journal*, 30(4), 397–406.
- Showkath, B.M.; Lohithaswa, H.C.; Mallikarjuna, N.; Pandravada, A.; Balasundara, D.C. (2020).** Genetic characterization of maize doubled haploid lines for *Fusarium* stalk rot caused by *Fusarium verticillioides*. *J Genet*, 99, 83.

- SIAP. (2020).** *Panorama Agroalimentario de maíz grano.* Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 20 mayo 2020, de URL: <https://www.gob.mx/siap>.
- Sillon, M. (2021).** *Principales enfermedades fúngicas del cultivo de maíz. Reconocimiento y recomendaciones de manejo.* UNL. Recuperado el 08 junio 2021, de URL: <http://horizonteadigital.com/investigacion/ha54/Principales%20enfermedades%20fungicas%20maiz.pdf>.
- Silva, L.G.; de Andrade, C.A.; Bettioli, W. (2020).** Biochar amendment increases soil microbial biomass and plant growth and suppresses *Fusarium* wilt in tomato. *Trop. Plant Pathol*, 45, 73-83.
- Souza, E.D.T.; Silveira, P.M.; Café Filho, A.C.; Lobo J.M. (2012).** *Fusarium* wilt incidence and common bean yield according to the preceding crop and the soil tillage system. *Pesqui. Agropecu. Bras*, 47, 1031-1037.
- Stagnati, L.; Rahjoo, V.; Samayoa, L.F.; Holland, J.B.; Borrelli, V.M.; Busconi, M.; Lanubile, A.; Marocco, A. (2020).** A genome-wide association study to understand the effect of *Fusarium verticillioides* infection on seedlings of a maize diversity panel. *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 10(5), 1685–1696.
- Stumpf, R.; dos Santos, J.; Gomes, L.B.; Silva, C.N.; Tessmann, D.J.; Ferreira, F.D.; Machinski, M.; Del Ponte, E.M. (2013).** *Fusarium* species and fumonisins associated with maize kernels produced in Rio Grande do Sul State for the 2008/09 and 2009/10 growing seasons. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(1), 89-95.
- Sun, L.; Wang, S.; Zhang, W.; Chi, F.; Hao, X.; Bian, J.; Li, Y. (2020).** First report of sheath rot of corn caused by *Fusarium verticillioides* in Northeast China. *Journal of Plant Pathology*, 102, 1301-1302.
- Tandaypan, M.M. (2018).** *Efecto de Fusarium moniliforme (Sheld.) = F. verticillioides (Sacc.) en el crecimiento de radícula y plúmula en arveja (Pisum sativum L.),*

frijol (*Phaseolus vilgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.).
Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca.

Tapia, C.; Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. Instituto de ciencias biomédicas. Universidad de Chile. *Rev Chilena Infectol*, 31(1), 85-86.

Tekle, S., Skinnnes, H.; Bjørnstad, A. (2013). The germination problem of oat seed lots affected by *Fusarium* head blight. *Eur J Plant Pathol*, 135, 147-158.

Troncoso, V.C. (2013). *Caracterización de la biosíntesis de giberelinas en hongos del genero fusarium pertenecientes al complejo taxonómico Gibberella fujikuroi*. Tesis de Doctorado, Universidad de Chile.

Uribe-Cortes, T.B.; Silva-Rojas, H.V.; Mendoza-Onofre, L.E.; Velázquez-Cruz, C.; Rebollar-Alviter, A. (2020). Identification of *Fusarium* species isolated from symptomatic and asymptomatic maize seeds based on the TEF-1a gene. *Rev. Fitotec. Mex*, 43(1).

USDA. (2019). *Panorama Agroalimentario del Maíz*. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Recuperado el 01 abril 2020, de URL: <https://www.inforural.com.mx/panorama-agroalimentario-del-maiz/>.

Varón D.F.; Sarria, V.A. (2007). *Enfermedades del maíz y su manejo*. Instituto Colombiano Agropecuario. FENALCE.

Velarde, F.S.; Valdez, R.N.; Zamora, G.F.; López, M.R.; Melgoza, V.C.; Garzón, T.J. (2018). Identificación molecular de *Fusarium* spp., aislados de maíz en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8).

Velásquez-Valle, R.; Macías-Valdez, L.M.; Reveles-Hernández, M. (2017). Patógenos comunes de la semilla de ajo en Aguascalientes y Zacatecas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric*, 8(8).

Veneros-Terrones, R.; Cerna-Rebaza, L.; Chico-Ruiz, J. (2017). Efecto de la temperatura en el crecimiento de *Fusarium oxysporum* y *Alternaria solani*. *Sagasteguiana*, 5(1), 1-6.

- Villa, M.A.; Pérez, L.R.; Morales, M.H.; Basurto, S.M.; Soto, P.J.; Martínez, E.E. (2014).** Situación actual en el control de *Fusarium* spp., y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194-2015.
- Villaverde. J. (2018).** *Plagas y enfermedades: Ciclo de vida y de infección de Fusarium*. Recuperado el 12 agosto 2020, de URL: <https://plantamus.com>.
- Vrabka, J.; Niehaus, E.M, Münsterkötter, M.; Proctor, R.H.; Brown, D.W.; Novák, O.; Penčík, A.; Tarkovská, D.; Hromadová, K.; Hradilová, M.; Oklešťková, J.; Oren-Young, L.; Idan, Y.; Sharon, A.; Maymon, M.; Elazar, M.; Freeman, S.; Güldener, U.; Tudzynski, B.; Galuszka, P.; Bergougnoux V. (2019).** Production and role of hormones during interaction of *Fusarium* species with maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Front. Plant Sci*, 9, 1936.
- Wang, S.; Sun, L.; Zhang, W.; Chi, F.; Hao, X.; Bian, J.; Li, Y. (2020).** *Bacillus velezensis* BM21, a potential and efficient biocontrol agent in control of corn stalk rot caused by *Fusarium graminearum*. *Egypt J Biol Pest Control* 30, 9.
- Wang, W.; Wang, B.; Sun, X.; Qi, X.; Zhao, C.; Chang, X.; Khaskheli, M.I.; Gong, G. (2021).** Symptoms and pathogens diversity of corn *Fusarium* sheath rot in Sichuan Province, China. *Sci Rep* 11, 2835.
- Watanabe, M.; Yonezawa, T.; Lee, K.; Kumagai, S.; Sugita-Konishi, Y.; Goto, K.; Hara-Kudo, Y. (2011).** Evaluation of genetic markers for identifying isolates of the species of the genus *Fusarium*. *J Sci Food Agric*, 91(13), 2500-2504.
- Wigmann É.F.; Behr, J.; Vogel, R.F.; Niessen, L. (2019).** MALDI-TOF MS fingerprinting for identification and differentiation of species within the *Fusarium fujikuroi* species complex. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 5323-5337.
- Wilke, A.L.; Bronson, C.R.; Tomas, A.; Munkvold, G.P. (2007).** Seed transmission of *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three different temperature regimes. *Plant Dis*, 91, 1109-1115.

- Yu, C.; Saravanakumar, K.; Xia, H.; Gao, J.; Fu, K.; Sun, J.; Dou, K.; Chen, J. (2017).** Occurrence and virulence of *Fusarium* spp. associated with stalk rot of maize in North-East China. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 98, 1-8.
- Zhang Y.; He J.; Jia L-J.; Yuan T-L.; Zhang D.; Guo Y.; Wang, Y.; Tang, W-H. (2016).** Cellular tracking and gene profiling of *Fusarium graminearum* during maize stalk rot disease development elucidates its strategies in confronting phosphorus limitation in the host apoplast. *PLoS Pathog*, 12(3), e1005485.
- Zhou, S.; Bae, J.S.; Bergstrom, G.C.; Jander, G. (2018).** *Fusarium graminearum*-induced shoot elongation and root reduction in maize seedlings correlate with later seedling blight severity. *Plant Direct*, 2(7).
- Zila, C.T.; Samayoa, L.F.; Santiago, R. (2013).** An association study of the entire genome reveals genes associated with resistance to ear rot by *Fusarium* in a panel of diversity of corn kernels. *Genetics*, 3(11), 2095-2104.
- Zorzete, P.; Castro, R.S.; Pozzi, C.R.; Israel, A.L.M.; Fonseca, H.; Yanaguibashi, G.; Correa, B. (2007).** Relative populations and toxin production by *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides* in artificially inoculated corn at various stages of development under field conditions. *Journal of the science of food and agricultura*, 88(1), 48-55.

ANEXOS

Análisis estadístico de las variables de evaluación

Prueba de Sanidad de Semillas (PSS)

Germinación (GER)

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	12858.33	989.10	5.42	0.0003**
Error	22	4016.66	182.57		
Total	35	16875.00			

$r^2 = 0.76$; CV= 22.83; Raíz MSE= 13.51; Media (G) = 59.16

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	116.66	58.33	0.32	0.7298*
Pob	2	266.66	133.33	0.73	0.4931*
Trats	3	11075.00	3691.66	20.22	< .0001**
Pob*Trats	6	1400.00	233.33	1.28	0.3076*

Inhibición (INH)

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	12858.33	989.10	5.42	0.0003**
Error	22	4016.66	182.57		
Total	35	16875.00			

$r^2 = 0.76$; CV= 33.09; Raíz MSE= 13.51; Media (I) = 40.83

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	116.66	58.33	0.32	0.7298*
Pob	2	266.66	133.33	0.73	0.4931*
Trats	3	11075.00	3691.66	20.22	< .0001**
Pob*Trats	6	1400.00	233.33	1.28	0.3076*

Incidencia (IPSS)

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	6119.44	470.72	14.56	< .0001**
Error	22	711.11	32.32		
Total	35	6830.55			

$r^2 = 0.89$; CV= 6.07; Raíz MSE= 5.68; Media (IPSS) = 93.61

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	88.88	44.44	1.38	0.2737 *
Pob	2	405.55	202.77	6.27	0.0070 **
Trats	3	4408.33	1469.44	45.46	< .0001 **
Pob*Trats	6	1216.66	202.77	6.27	0.0006 **

Severidad (SPSS)

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	8052.91	619.45	5.08	0.0004**
Error	22	2680.14	121.82		
Total	35	10733.05			

$r^2 = 0.75$; CV= 23.13; Raíz MSE= 11.03; Media (SPSS) = 47.71.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	9	1385.45	692.72	5.69	0.0102**
Pob	2	513.83	256.91	2.11	0.1452*
Trats	3	2983.42	994.47	8.16	0.0008**
Pob*Trats	6	3170.19	528.36	4.34	0.0049**

Prueba de patogenicidad en invernadero

Emergencia (EPL)

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	833.33	64.10	0.76	0.6944*
Error	22	1866.66	84.84		
Total	35	2700.00			

$r^2 = 0.30$; CV= 9.69; Raíz MSE= 9.21; Media (EP) = 95.00.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	266.66	133.33	1.57	0.2302*
Pob	2	66.66	33.33	0.39	0.6798*
Trats	3	211.11	70.37	0.83	0.4919*
Pob*Trats	6	288.88	48.14	0.57	0.7517*

Incidencia de pudrición de tallos (IPT)

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	5977.77	459.82	1.01	0.4720*
Error	22	9977.77	453.53		
Total	35	15955.55			

$r^2 = 0.37$; CV= 36.16; Raíz MSE= 21.29; Media (IPT) = 58.88.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	422.22	211.11	0.47	0.6339*
Pob	2	2155.55	1077.77	2.38	0.1163*
Trats	3	755.55	251.85	0.56	0.6500*
Pob*Trats	6	2644.44	440.74	0.97	0.4671*

Incidencia de la pudrición de la mazorca (IPM).

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	11577.77	890.59	3.99	0.0021**
Error	22	4911.11	223.23		
Total	35	16488.88			

$r^2 = 0.70$; CV= 43.37; Raíz MSE= 14.94; Media (IPM) = 34.44.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	1488.88	744.44	3.33	0.0543*
Pob	2	2688.88	1344.44	6.02	0.0082**
Trats	3	4488.88	1496.29	6.70	0.0022**
Pob*Trats	6	2911.11	485.18	2.17	0.0851*

Severidad de la pudrición de mazorca (SPM).

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Modelo	13	19360.32	1489.25	2.89	0.0137**
Error	22	11335.18	515.23		
Total	35	30695.50			

$r^2 = 0.63$; CV= 49.90; Raíz MSE= 22.69; Media (SPM) = 45.48.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	511.69	255.84	0.50	0.6153*
Pob	2	729.61	364.80	0.71	0.5035*
Trats	3	12529.12	4176.37	8.11	0.0008**
Pob*Trats	6	5589.88	931.64	1.81	0.1439*